

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

Carrera de Ingeniería Ambiental

TÍTULO:

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA OPERACIONAL DE LA
PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA DE LA
PARROQUIA FÁTIMA**

**Tesis de Grado Previo a la obtención del Título en Ingeniería
Ambiental**

AUTOR:

ARACELY ELIZABETH TAPIA ROJAS

TUTOR:

DrC. JESÚS LUIS OROZCO

Puyo, Julio 2009

PUYO-ECUADOR

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo Aracely Elizabeth Tapia Rojas, declaro que soy la única autora de ésta tesis y que autorizo a la Universidad Estatal Amazónica y a mi tutor a hacer el uso que de ella estimen pertinente.

Atentamente.-

Aracely Elizabeth Tapia Rojas

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta gran etapa de mi vida, primeramente agradezco a dios por darme la vida, las fuerzas, la sabiduría, a mis padres que gracias a su esfuerzo por todo lo que han hecho y me han apoyado para seguir adelante gracias a ellos he cumplido una meta mas en mi vida. A mis hermanos, en especial a Carmen que siempre me ha ayudado y me ha apoyado gracias por ser una madre mas para mí.

A la Universidad Estatal Amazónica que me abrió las puertas a todos y cada uno de los profesores que me formaron como persona y profesional en especial a mi tutor que en la recta final de mi carrera me ha brindado todo su apoyo y colaboración.

Extiendo toda mi gratitud y agradecimiento a mis compañeros y amigos con quienes he compartido estos 5 años de vida universitaria.

Un agradecimiento especial a Ingrid, Javier, Antonio y Vanessa quienes siempre me han brindado su apoyo y me han dado ánimos para seguir adelante luchando por cumplir mis metas.

Finalmente quiero agradecer a Mauricio quien ha estado a mi lado en esta etapa final de mi carrera por su apoyo incondicional.

A todos muchas gracias.

DEDICATORIA

A quienes me dieron la vida, me vieron crecer día a día, lloraron mis penas y compartieron mis alegrías, me enseñaron a crecer como persona, a compartir en la buenas y en la malas, a los seres más maravillosos que dios me ha regalado y a los que más amo; a mis padres Ercilia Rojas y Jesús Tapia les dedico este nuevo logro en mi vida.

También dedico al ser que ha sido mi inspiración y mi apoyo a Mauricio Pañafiel.

RESUMEN

La presente investigación aborda la evaluación de la calidad de agua que se consume en la comunidad de Fátima. En la misma se lleva a cabo en primer lugar una caracterización y diagnóstico ambiental para detectar los principales problemas que tenía la comunidad de Fátima y la planta proveedora de agua a la misma; mediante encuestas, observaciones y entrevistas. Para la evaluación de la planta se determinaron los flujos de agua, adecuabilidad de las operaciones existentes. Además se realizó un análisis físico, químico y bacteriológico a muestras de agua a la entrada y salida de la planta, para analizar la turbidez, DBO, DQO, coliformes totales y fecales y determinar la calidad de agua. Del proceso de evaluación se obtuvo como resultado que para determinados parámetros como es el caso de los coliformes fecales no existe una adecuada remoción de los mismos y que el diseño de determinadas etapas como el caso específico del sedimentador no se adecuan a las necesidades del proceso. También se demostró que el proceso de limpieza y mantenimiento de la planta no es el más adecuado.

PALABRAS CLAVE

1. Potabilización de agua potable
2. Evaluación de plantas de agua potable
3. Agua potable

ABSTRACT

The present investigation contains the evaluation of the water quality which consume in the Fátima community. In the same carry out in the first place a characterized and environment diagnosis for detect the principal problems which the Fátima community had and the supplier plant of water of itself, through survery, observation and interview. For the evaluation of the plant determined the water flows and if the operations in the plant do make in correct form. Besides make a physical analysis, chemical and bacteriológical at sings of water at the entrance and exit of the plant for analyse the cloudy, DBO, DQO, coliformes total and fecales and determine the quality the water. Of the process of evaluation obtain as result which for determined parameters as is the case of the coliformes not existing an adequate stir of the same and which the desing in determined phases as the specific case of the sedimentador not adapt at the necessities of the process. Also demonstrate which the process of cleaning an maintenance of the plant is not correct or adecuate.

KEYWORDS

1. Purification of drinking water
2. Assessment of drinking water plants
3. Drinking water

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: Análisis bibliográfico	4
1.1.-Importancia del agua para la vida.....	4
1.2.- Condiciones sanitarias del agua para consumo.	7
1.3.- Principales contaminantes del agua.	8
1.3.1.- Microorganismos Patógenos.....	8
1.3.2.- Desechos Orgánicos	8
1.3.3.- Sustancias Químicas Inorgánicas.	8
1.3.4.- Nutrientes Vegetales Inorgánicos.	9
1.3.5.- Compuestos Orgánicos.....	9
1.3.6.- Sedimentos Y Materiales Suspendidos.....	9
1.3.7.- Sustancias Radiactivas	9
1.3.8.- Contaminación Térmica.	9
1.4.- Normas de consumo.....	10
1.5.- Influencia de la calidad de agua en la salud.....	21
1.5.1.- Enfermedades de transmisión hídrica.....	22
1.6.- Alternativas de desinfección del agua potable.....	23
1.6.1.- Cloración	23
1.6.2.- Carbón activado	23
1.6.3.- Ozono.....	24
1.6.4.- Radiación ultra violeta	25
1.7.- Sistemas de tratamiento de agua potable.	17
1.7.1.- Tratamiento físico.....	18

1.7.2.- Tratamiento químico.....	19
1.7.3.- Afino con carbón activo.....	29
1.7.4.- Desinfección.....	29
1.8.- Selección de la tecnología de tratamiento de agua.....	30
1.9.- Sistemas de tratamiento de agua potable para comunidades rurales.....	31
1.9.1 Desinfección solar, una alternativa para pequeñas comunidades rurales.....	31
1.9.2.- Agua potable para pequeñas comunidades rurales a través de un sistema de colección ya almacenamiento de lluvia y planta potabilizadora.....	32
1.9.3.- Filtros de bloque de carbón sólido.....	32
1.10.- Evaluación de los sistemas de tratamiento de agua potable.....	33
1.10.1.- Inspección preliminar.....	33
1.10.2.- Evaluación de los procesos.....	24
CAPITULO 2: MATERIALES Y METODOS	28
2.1 Caracterización de la zona objeto de estudio.....	29
2.1.1 Descripción de la comunidad de Fátima	29
2.1.2 Descripción planta de agua potable	31
2.2.-Proceder empleado para el diagnóstico de la problemática actual en la comunidad de Fátima sobre el consumo de agua potable.....	39
2.3.- Metodica seguida para la evaluación de la planta de agua potable existente.....	40
2.4.-Metodología seguida en la estimación de los flujos de operación.....	40
2.5.-Metodología seguida para la toma de las muestras para los análisis de laboratorio	41
2.6.-Determinación de la cantidad de sedimento que contiene la arena de los filtros lentos.....	42
2.7.-Determinación de la velocidad de filtración	42
2.8.-Determinación de las concentraciones óptimas de sulfato de aluminio	42

2.9.- Proponer un plan de acciones a partir de los resultados obtenidos	43
CAPÍTULO 3: Análisis y discusión de los resultados	53
3.1.- Resultados del diagnóstico del uso del agua potable por la población de la comunidad de Fátima.....	54
3.2.- Resultados del diagnóstico de los principales problemas que se presentan en la planta de tratamiento de agua potable.....	55
3.2.1.- No se logra una remoción adecuada de elementos indeseables presentes en el agua.....	45
3.2.2.- No se clora el agua antes de ser distribuida a la comunidad de Fátima.....	48
3.2.3.- Mantenimiento inadecuado de la planta de tratamiento de agua potable.....	49
3.2.4. No tienen condiciones de seguridad.	60
3.2.5. Uso irracional del recurso agua.....	50
3.2.6 Inadecuabilidad de las operaciones que se realizan.....	52
3.3.-Propuesta de un plan de acciones que permitan mejorar las condiciones de potabilización de la planta.....	65
3.3.1.- Regulación del flujo de agua a tratar.....	55
3.3.2.- Redimensionamiento de la etapa de sedimentación.....	56
3.3.3. Adición de sulfato de Aluminio para mejorar el proceso de floculación – sedimentación.	58
3.3.4. Mantenimiento y reposición de la arena deficitaria en los filtros lentos.....	70
3.3.5.- Cloración del agua tratada en la planta.....	72
3.3.6.- Programa de vigilancia y control de la calidad del proceso	62
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA.....	66
ANEXOS.....	70

INTRODUCCIÓN

En los comienzos de la vida, el agua ha sido definida imperfectamente, como un caldo que ayudó a mejorar la convivencia. Hoy, salvo en raros casos, el agua como se encuentra en la naturaleza, no puede ser utilizada directamente para el consumo humano ni para usos industriales, dado que no es lo suficientemente pura ni química ni biológicamente.

El agua potable es indispensable para la vida del hombre, pero escasea en la medida que la población aumenta y porque lamentablemente es desperdiciada por personas ignorantes y carentes del sentido de responsabilidad y solidaridad humana. Después del aire, el agua es el elemento más indispensable para la existencia del hombre. Por eso es preocupante que su obtención y conservación se esté convirtiendo en un problema crucial.

Antes de la epidemia del cólera, casi todos los países de América Latina y el Caribe concentraban su atención en la calidad de agua disponible para uso humano, sin embargo según estudios realizados, menos de 25% de los sistemas comunitarios de abastecimiento de agua de América Latina y el Caribe desinfectan de manera fiable y continua.

En los últimos años el interés se ha centrado en la calidad del agua potable ya que es tal la gravedad de las posibles consecuencias de la contaminación microbiana que su control y vigilancia deberá ser siempre de primordial importancia.

El suministro de agua segura ha desempeñado un papel fundamental en la disminución de la incidencia de muchas enfermedades infecciosas transmitidas por el agua o relacionadas con ella. En la relación entre el agua y la salud se plantea tres problemas esenciales. El primero es la dificultad de los países pobres en agua y su efecto sobre las actividades humanas; el segundo es el mantenimiento de la calidad del agua ante la demandad creciente; el tercero es la relación entre la salud y agua, especialmente en lo referente a enfermedades relacionadas con una cantidad insuficiente de agua o de poca calidad.

En varios países de América Latina y el Caribe, las enfermedades diarreicas agudas figuran entre las 10 causas principales de defunción y son responsables de miles de muertos por año, sin incluir otras similares.

El Ecuador es uno de los países con mayores reservas de agua en la región. Sin embargo, su mal manejo e inequitativa distribución generan serios conflictos ambientales, sociales y económicos. En el sector rural, la conflictividad por el agua es enorme debido a la baja disponibilidad. El 85% del agua utilizada en el Ecuador se destina al riego. La contaminación del agua es otro factor que influye tanto en la disponibilidad del recurso para el consumo humano; así como en la subsistencia de especies de plantas y animales que dependen de éste.

La gestión del agua es un tema complejo en el que intervienen diferentes actores. Para el campesino el agua da vida a sus cultivos; para el habitante de la ciudad, es un servicio básico; para las culturas indígenas el agua es generadora de vida; para la naturaleza, es el elemento que da vida a un ecosistema. La cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado en los hogares no supera el 40%. Las diferencias de cobertura entre la zona urbana y la zona rural son desproporcionadas. (Moreno, 2005).

El servicio de agua es intermitente en la mitad de los centros urbanos. La presión de agua está muy por debajo de la norma, especialmente en barrios marginales. En un 30% de los centros urbanos falta un tratamiento de agua potable de aguas superficiales. 92% de las aguas servidas se descargan sin ningún tratamiento.

Hecho que trae como consecuencia la presencia de enfermedades. De las 37 más comunes entre la población de América Latina, 21 están relacionadas con la falta de agua y con agua contaminada

La Provincia de Pastaza, se encuentra rodeado por diferentes efluentes que garantizan la disponibilidad de agua, pero que en la actualidad la mayoría de ellos se encuentran contaminados por diversos factores; razón por la que el agua antes de ser distribuida a la población necesita de un tratamiento. La parroquia Fátima cuenta con una planta de tratamiento de agua potable; pero en los últimos años según el subcentro de Salud Fátima se han reportado índices de enfermedades producidas por el uso del agua, por lo que en

la presente investigación se plantea la problemática de la deficiente calidad de agua que se consume en ésta parroquia. Por este motivo se plantea el siguiente problema científico.

PROBLEMA

- Deficiente calidad de agua potable que se consume en la comunidad de Fátima.

HIPÓTESIS

- Si se diseña e implementa un plan de acciones dirigido a elevar la eficiencia operacional de la Planta Potabilizadora de la Parroquia Fátima, entonces se podrá mejorar la calidad de agua de consumo para sus moradores.

OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

- Eficiencia operacional de la Planta Potabilizadora

OBJETIVOS

GENERAL

- Proponer un plan de acciones dirigido a elevar la eficiencia operacional de la Planta Potabilizadora de la Parroquia Fátima para mejorar la calidad del agua a consumir por sus moradores.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar la panorámica mundial de la potabilidad del agua.
2. Realizar una caracterización microbiológica y físico-química del agua potable, así como de las diferentes etapas del proceso.
3. Proponer un plan de acciones a partir de los resultados obtenidos que permitan elevar la calidad del agua que es servida a la población del área estudiada.

CAPITULO I: Análisis bibliográfico

En este capítulo se abordarán aspectos sobre la importancia del agua para la vida, condiciones sanitarias del agua, principales contaminantes del agua potable y normas para su consumo, influencia de la calidad de agua sobre la salud y enfermedades de transmisión hídrica, alternativas de desinfección, sistemas de tratamiento de agua potable generales y para comunidades rurales. Se tomó información de diferentes bibliografías tales como libros de Internet y sitios web, de las cuales se ha hecho un análisis y síntesis.

1.1.- El agua y su importancia para la vida.

Según Donaires, (2000) es una de las sustancias más difundidas y abundantes en el planeta Tierra. Es parte integrante de la mayoría de los seres vivos tanto animales como vegetales, y está presente en cantidad de minerales.

Para Troya et. Al, (2008) el agua es también fuente de diversidad natural. La presencia del agua acumulándose grandes o pequeñas masas, a ecosistemas únicos con multitud de organismos que viven en ella, sea en el mar o en la tierra firme. El agua no solo es un motor clave para muchos ecosistemas sino la sustancia que sostiene la vida misma.

El 75% de nuestro cuerpo al nacer es agua. También lo es el 70% de la Tierra. De hecho, no hay nada más abundante en nuestro planeta. Además, el agua es un constituyente necesario de las células de todos los tejidos animales y vegetales y no puede existir la vida ni siquiera durante un periodo limitado en ausencia de agua porque en ella se desarrollan todas las reacciones bioquímicas de los seres vivos. (Muñoz, 2006).

Según Molina, (2007) el agua es un recurso hídrico que está considerado como un bien esencial en el crecimiento económico y desarrollo social de las naciones. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, (2002) un sector importante para la economía de muchos países como lo es la agricultura, utiliza alrededor del 70% del total de agua extraída, mientras que el sector industrial utiliza el 20% y el 10 % restante es para consumo doméstico.

Los recursos naturales se han vuelto escasos con la creciente población mundial y su disposición en varias regiones habitadas es la preocupación de muchas organizaciones gubernamentales. (Molina, 2007).

El agua pura, alguna vez considerada un recurso ilimitado, se está convirtiendo en un artículo escaso y muy valioso. A pesar de que muchos países cuentan aun con el abastecimiento necesario, el continuo agotamiento de pozos y manantiales, el uso indiscriminado y la contaminación reducen día a día su suministro.

Hoy, salvo en raros casos, el agua como se encuentra en la naturaleza, no puede ser utilizada directamente para el consumo humano ni para usos industriales, ya que no es suficientemente pura.

El hecho de que su curso ocurre por la superficie de la tierra e inclusive a través del aire, el agua se contamina y se carga de materias en suspensión o en solución como por ejemplo partículas de arcillas, residuos de vegetación, organismos vivos, sales diversas, cloruros, sulfatos, carbonatos, materia orgánica, ácidos húmicos, residuos de fabricación, gases, etc. (Lomazzi, s/a).

La evaluación de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas; sin embargo hoy en día, la importancia tanto de la cantidad como de la calidad del agua está fuera de toda duda (Gómez, 2004).

La importancia que ha cobrado la calidad del agua ha permitido evidenciar que entre los factores o agentes que causan la contaminación de ella están: agentes patógenos, desechos que requieren oxígeno, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, nutrientes vegetales que ocasionan crecimiento excesivo de plantas acuáticas, sedimentos o material suspendido, sustancias radioactivas y el calor. La contaminación del agua es el grado de impurificación, que puede originar efectos adversos a la salud de un número representativo de personas durante períodos previsibles de tiempo.

Se considera que el agua está contaminada, cuando ya no puede utilizarse para el uso que se le iba a dar, en su estado natural o cuando se ven alteradas sus propiedades

químicas, físicas, biológicas y/o su composición. En líneas generales, el agua está contaminada cuando pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas (Morea, 2005)

Para evitar las consecuencias del uso del agua contaminada se han ideado mecanismos de control temprano de la contaminación. Existen normas que establecen los rangos permisibles de contaminación, que buscan asegurar que el agua que se utiliza no sea dañina. Cada país cuenta con instituciones que se encargan de dicho control.

Dentro de estos mecanismos está el tratamiento de las aguas para su consumo, lo que se denomina el agua potable.

Según Romero, (2008) se denomina agua potable al agua "bebible" en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. El término se aplica al agua que ha sido tratada para su consumo humano según unas normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

El suministro de agua potable es un problema que ha ocupado al hombre desde la antigüedad. En algunas zonas se construían y construyen cisternas que recogen las aguas pluviales. Estos depósitos suelen ser subterráneos para que el agua se mantenga fresca y sin luz, lo que favorecería el desarrollo de algas.

En Europa se calcula con un gasto medio por habitante de entre 150 y 200 litros de agua potable al día aunque se consumen como bebida tan sólo entre 2 y 3 litros. En muchos países el agua potable es un bien cada vez más escaso y se teme que puedan generarse conflictos bélicos por la posesión de sus fuentes.

De acuerdo con datos suministrados por el Banco Mundial, el 45% de la población mundial carece de un acceso directo a los servicios de agua potable. En los países desarrollados los niños consumen de 30 a 50 veces más agua que en los países llamados en vías de desarrollo (Romero, 2008).

1.2.- Condiciones sanitarias del agua para consumo.

Para Arango, (2003) el agua tiene características físicas, químicas y microbiológicas, que se ven afectadas por sustancias disueltas o suspendidas en ella, por lo que es necesario tratarla para que sea adecuada para su uso.

El agua que contiene ciertas sustancias químicas puede ser perjudicial para ciertos usos industriales o idóneos para otros. El agua también es reservorio de microorganismos patógenos causantes de enfermedades y en tal situación no es apta para el consumo humano.

El control de los parámetros físico-químicos y microbiológicos es muy importante tanto en los sistemas de potabilización como de depuración del agua. Sin embargo, en los lugares donde el agua es consumida por el hombre o es reutilizada, el factor de riesgo más importante está asociado con la exposición a agentes biológicos que incluyen bacterias patógenas, helmintos, protozoos y virus (Asano y Levine, 1998).

Los requisitos de calidad de agua se establecen dependiendo de los usos que se le den a la misma. Esta calidad se ajusta según los estándares físicos, químicos, y biológicos que fija el usuario.

El agua es apta para el consumo humano cuando esté desinfectada y no contenga ningún microorganismo, parásito o sustancia en una concentración que pueda suponer un peligro para la salud humana (Powered y Generated, 2008).

La calidad del agua, es un estado de esta, caracterizado por su composición físico-química y biológica. Este estado deberá permitir su empleo sin causar daño, para lo cual según Environment Agency, (2003) deberá reunir dos características:

1. Estar exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores.
2. Estar exenta de sustancias que le comuniquen sensaciones sensoriales desagradables para el consumo (color, turbiedad, olor, sabor).

1.3.- Principales contaminantes del agua.

Para Echarri, (1998) hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de diferentes maneras. Una posibilidad bastante usada es agruparlos en los siguientes ocho grupos:

1.3.1.- Microorganismos Patógenos.

Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tífus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños. (Rheinheimer, 1987).

Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La OMS, (2004) recomienda que en el agua para beber haya 0 colonias de coliformes por 100 ml de agua.

1.3.2.- Desechos Orgánicos.

Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto en agua (OD), o la DBO (Demanda Biológica de oxígeno) y la DQO (Demanda Química de Oxígeno) (Echarri, 1998).

1.3.3.- Sustancias Químicas Inorgánicas.

En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua. (Torres, s/a y Echarri, 1998).

1.3.4.- Nutrientes Vegetales Inorgánicos.

Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable. (Torres, s/a y Echarri, 1998).

1.3.5.- Compuestos Orgánicos.

Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, herbicidas, etc., acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos (Echarri, 1998).

1.3.6.- Sedimentos Y Materiales Suspendidos.

Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos. (Torres, s/a y Echarri, 1998).

1.3.7.- Sustancias Radiactivas.

Son sustancias procedentes de residuos producidos por la minería y el refinado de uranio y el torio, las centrales nucleares y el uso industrial, médico y científico de materiales radiactivos. Los isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua (Torres, s/a y Echarri, 1998).

1.3.8.- Contaminación Térmica.

El problema térmico, es decir, el aumento de la temperatura de las aguas en los ambientes costeros, está asociado principalmente a la actividad de Centrales

Termoeléctricas. Todas las centrales, cualquiera sea el combustible que utilice (petróleo, gas, material radiactivo) funcionan con un mismo esquema: un sistema de agua cerrado, es calentado hasta pasar del estado líquido a vapor, y es esa energía de expansión la que se aprovecha para mover una turbina y a su vez generar electricidad. El agua caliente liberada eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos (Penchaszadeh, 2000 y Echarri, 1998).

1.4.- Normas de consumo.

Los países tienen legislaciones relacionadas con las aguas de consumo humano que sirven para determinar las responsabilidades de los distintos sectores involucrados en la producción y distribución del agua de bebida, en su monitoreo y control.

Los países cuentan, asimismo, con reglamentaciones que definen qué se entiende por agua potable; es decir, los patrones que se deben seguir para que el agua sea inocua para la salud humana. Entre esas reglamentaciones hay una muy específica, que se denomina Norma de Calidad del Agua de Bebida.

Allí se establece qué sustancias pueden estar presentes en el agua y las concentraciones máximas permisibles que no significan riesgo para la salud.

No existe país que no considere como herramienta principal para la confección y actualización periódica de sus normas nacionales las Guías de la OMS para la Calidad del Agua Potable. (OMS, 2004)

a) Calidad bacteriológica del agua potable

Según la OMS, (2004) en la tabla 1 se muestran los parámetros bacteriológicos del agua potable.

Tabla 1.1: Calidad bacteriológica del agua potable

Organismos	Valor guía
Toda el agua de bebida	
E. coli o bacterias coliformes termorresistentes ^{b,c}	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 mL.
Agua tratada que llega al sistema de distribución	
E. coli o bacterias coliformes Termorresistentes ^b	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 mL.
Total de bacterias coliformes	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 mL.
Agua tratada que se halla en el sistema de distribución	
E. coli o bacterias coliformes Termorresistentes	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 mL.
Total de bacterias coliformes	^b No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 mL. En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberán estar ausentes en 95% de las muestras tomadas durante cualquier período de 12 meses.

Fuente: OMS, 2004. *Parámetros de calidad de agua para el consumo humano*

a.- Si se detectan E. coli o bacterias coliformes en general, deben adaptarse inmediatamente medidas para investigar la situación. En el caso de las bacterias coliformes en general, se debe, como mínimo, repetir el muestreo; si las bacterias se detectan también en la nueva muestra, se deben realizar inmediatamente nuevas investigaciones para determinar la causa.

b.- Aunque E. coli es el indicador más preciso de contaminación fecal, el recuento de las bacterias coliformes termorresistentes es una opción aceptable. Si es necesario, se deben realizar las debidas pruebas confirmatorias. El total de bacterias coliformes no es un indicador aceptable de la calidad sanitaria del abastecimiento de agua en las zonas rurales, sobre todo en las zonas tropicales, donde casi todas las aguas no tratadas contienen numerosas bacterias que carecen de importancia para la salud.

c.- Se reconoce que, en la gran mayoría de los sistemas de abastecimiento de las zonas rurales de los países en desarrollo, hay una contaminación fecal generalizada. En esas

circunstancias, el organismo nacional de vigilancia debe establecer objetivos de mediano plazo para mejorar gradualmente el abastecimiento, tal como se recomienda en el volumen 3 de las Guías para la calidad del agua potable (OMS, 2004).

Las directrices de la OMS, (1993) para la calidad del agua potable, son el punto de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua potable (ver anexo 1).

Según NTE INEN, (1996), los parámetros de calidad de agua para el consumo humano son los que se muestran en el anexo 2, según la norma ecuatoriana.

1.5.- Influencia de la calidad de agua en la salud.

El consumo, la calidad y disponibilidad del agua son factores directamente asociados a la salud de las personas, por lo que el control sanitario del agua de consumo humano es un objetivo prioritario de la salud pública. (Logroño, 2008).

El vital líquido supone un problema de salud cuando los sistemas de saneamiento fallan o no existen en absoluto, un problema muy frecuente en muchas comunidades. Las condiciones sanitarias deficientes pueden contribuir a la propagación de la enfermedad a través del agua potable contaminada. Los desechos sin tratar se acumulan y contaminan sistemas de ríos, lagos y otras fuentes de agua. La falta de instalaciones de saneamiento, y la capacitación en su uso y mantenimiento, puede además proporcionar oportunidades de reproducción en cuerpos de agua estancados para el desarrollo de insectos que ayudan a propagar la enfermedad (Jaramillo, 2006).

Aproximadamente un 40 por ciento de la población mundial, carecen de los medios apropiados para eliminar sus propios desechos fecales. Las enfermedades generadas por este problema, incluido el cólera, la tifoidea, la esquistosomiasis, la hepatitis infecciosa y la polio, causan el cuatro por ciento de todas las muertes en el mundo y casi un seis por ciento de las personas discapacitadas o con salud quebrantada. Los pobres, especialmente los jóvenes, son los más afectados.

La situación sanitaria puede ser grave en áreas urbanas populosas, donde las aguas de desecho se acumulan rápidamente y las enfermedades infecciosas pueden propagarse rápidamente entre la población. Sin embargo, los residentes urbanos probablemente

tengan más acceso a instalaciones sanitarias básicas que sus contrapartes en zonas rurales.

1.5.1.- Enfermedades de transmisión hídrica

El número de muertes anuales, directamente relacionadas con el consumo de agua no potable, en el mundo se eleva a tres millones según la OMS, (1998).

Según Sánchez, (1997) casi la mitad de la población de los países en desarrollo padece enfermedades transmitidas por el agua. Este grupo comprende enfermedades gastroentéricas tales como la giardiasis, la hepatitis A y los rotavirus, así como las enfermedades epidémicas clásicas que se transmiten por el agua: Cólera, Disentería y Fiebre Tifoidea. Entre las enfermedades transmitidas por el agua, el grupo de las enfermedades diarreicas es la causa principal de mortalidad y morbilidad infantil en los países en desarrollo según la OPS, (1996). Se calcula que del total de defunciones mundiales vinculadas con la diarrea, más del 90% ocurren en niños de menos de cinco años de edad y son causadas por enfermedades que no son el Cólera. (OPS, 1996)

Tabla 1.2: Enfermedades transmitidas por el agua

Enfermedades	Organismos Causantes	Ruta de Transmisión
Cólera	Vibrio chlorae, incluido el biotipo El Tor	hombre-heces-agua y alimentos-hombre
Tifoidea, paratifoidea	Salmonella typhi Salmonella paratyphi: A,B,C,	hombre-heces-agua y alimentos-hombre
Disentería Bacilar	Shigella	hombre-heces (<u>moscas</u>) alimentos-(<u>agua</u>)-hombre
Disentería Amibiana	Entamoeba histolytica	hombre-heces-(<u>moscas</u>) alimentos-(<u>agua</u>)-hombre
Hepatitis Infecciosa	Virus de la hepatitis A	hombre-heces-(<u>agua</u>)-alimentos-hombre
Enfermedades Diarreicas	Shigella, salmonella, Escherichia coli, parásitos, virus	hombre-heces-(<u>moscas</u>) alimentos-hombre

Fuente: OMS. La desinfección del agua. Oficina Regional Europea, 1996

Existen también otras enfermedades en las que el agua, aunque no sea la vía principal de transmisión en gran escala, localmente puede tener un significado especial. Este es el caso de la ascariasis y la criptosporidiosis, y en circunstancias favorables la buena calidad del agua puede ser incluso un factor contribuyente al control de la leptospirosis, la cisticercosis, la esquistosomiasis y la hidatidosis. Debido a la importancia del agua como

vía de transmisión de estas enfermedades, la desinfección de esta para consumo humano constituye una de las medidas más efectivas para controlar la incidencia (Witt y Reiff, 1993).

1.6.- Alternativas de desinfección del agua potable.

El objetivo que se persigue con la desinfección, es eliminar los organismos patógenos que pueda llevar el agua, garantizando así sanitariamente su consumo.

Se pueden utilizar diversos agentes desinfectantes, su elección dependerá de diversos factores: tiempo de contacto, calidad del agua, e instalaciones y recursos disponibles. El desinfectante más generalizado para potabilizar el agua, es el cloro y sus derivados.

1.6.1.- Cloración

Es el nombre que se da al procedimiento para desinfectar el agua más comúnmente usado, utilizando el cloro o algunos de sus derivados como los hipocloritos de sodio o de calcio. En los abastecimientos de agua potable se emplea el gas cloro mientras que para abastecimientos medianos o pequeños se utilizan hipocloritos. Es el proceso más económico y sencillo de esterilización. La acción del cloro es de poca profundidad y las partículas en suspensión la dificultan.

Si en la cloración sobrepasa el mínimo de cloro, se habla de cloración crítica, dañina para la salud y causante de enfermedades tales como cáncer.

1.6.2.- Carbón activado

Según Rodríguez y Molina, (2004) la purificación de agua es la aplicación más importante del carbón activado. Actúa con tanta eficiencia que la adsorción con carbón activado es reconocida como la mejor tecnología de control para el tratamiento de agua. Además, es previsible que el consumo de carbón crezca en la medida que las ciudades demanden más agua, porque aumenta la densidad de población y el estándar de vida. Se utiliza tanto carbón activado granular como en polvo.

En el tratamiento de agua el carbón activado actúa solamente como adsorbente, y tiene el papel de mejorar el sabor y olor del agua, eliminar contaminantes como pesticidas, y reduce la materia orgánica natural y así limita al máximo la formación de subproductos de desinfección y/o oxidación como trihalometanos. En definitiva, el carbón activado ha de

eliminar sustancias de concentración, composición y tamaño variable y cambiante. Puesto que el análisis detallado de cada una de las sustancias presentes en el agua resulta difícil y poco práctico, es común describir las características del agua a través de algunos parámetros físicos, químicos y bioquímicos que suministran información preliminar del grado de contaminación o la presencia de cierto grupo de sustancias.

Según Barraque, et. Al. (1979), el carbón activo solo no es suficiente para eliminar todo tipo de contaminación (algunos cuerpos lo atraviesan sin ser adsorbidos). La elección entre el carbón en polvo y el carbón en grano, así como la del tipo que debe utilizarse está relacionada con la naturaleza de la microcontaminación, con las exigencias que se fijen en el agua tratada, y con las posibilidades de regeneración del carbón.

1.6.3.- Ozono

El ozono, tiene un mayor poder oxidante que el cloro. Frente a éste, presenta las ventajas de no producir olores ni sabores que pueden originarse en los subproductos clorados, y además, resulta más eficaz en su acción desinfectante, debido a su mayor poder oxidante.

Su producción a partir de oxígeno, requiere una tecnología más costosa de instalar, explotar, y mantener que la de dosificación de cloro, de ahí que no esté tan implantado como agente desinfectante.

El ozono es dos veces más poderoso que el cloro. El ozono (O₃) se produce mediante una descarga de corriente eléctrica a través del aire. El oxígeno en el aire forma O₃ el cual es altamente reactivo e inestable. El ozono no involucra contaminación iónica porque se degrada en O₂. El ozono debe dosificarse en el agua de manera regular debido a que tiene una vida media muy corta (aproximadamente 20 minutos a temperatura ambiente) en solución.

El ozono tiene la ventaja que es un desinfectante rápido y activo contra bacterias y virus, porque destruye la proteína celular principalmente por inactivación de los sistemas enzimáticos críticos, enzimas esenciales para la vida microbológica.

Su desventaja es que los efectos no permanecen después del tratamiento, o sea que no tiene efecto residual como el cloro. Es un tratamiento caro, pero parece demostrar la eliminación de mutagénicos en las aguas. Se cree que puede formar ozonoides indeseables en las aguas (Hernández, 2001).

1.6.4.- Radiación ultra violeta

La radiación ultravioleta (UV) es una alternativa de desinfección al uso de cloro y ozono en muchas aplicaciones de agua potable y aguas residuales.

El método de radiación UV presenta la ventaja que si es utilizado en condiciones adecuadas, no da origen a compuestos químicos en las aguas y no modifica su calidad. Sin embargo, el método también presenta desventajas ya que no tiene efecto residual desinfectante en las aguas, y los costos de implementación y mantenimiento suelen ser un poco altos. Además, la desinfección de las aguas depende de la turbidez y el color de las mismas.

La desinfección por ultravioleta usa la luz como fuente encerrada en un estuche protector, montado de manera que, cuando pasa el flujo de agua a través del estuche, los rayos ultravioleta son emitidos y absorbidos dentro el compartimento (Excel Water Technologies, 2005).

Los microorganismos son inactivados por luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos afectados por una longitud de onda con picos de 200 a 260 nm, esto depende de la resistencia intrínseca de los organismos, la dosis aplicada y la DQO. (Sonntang y Schuchmann, 1992).

Según estudios realizados por la EPA, (1986) se ha determinado que los niveles observados en la formación de formaldehídos por la desinfección por radiación UV, es insignificante. Oppenheimer, (1996) comparó la formación de subproductos en la desinfección de agua reciclada usando una dosis UV de 300mWs/cm², observándose ausencia de trihalometanos en la desinfección con UV, y no incremento de mutágenos en el agua.

1.7.- Sistemas de tratamiento de agua potable.

El objetivo de la potabilización es garantizar al consumidor que el tipo de agua captada, alcance la calidad indicada en la legislación para un determinado uso.

Debido a esto es que es de suma importancia realizar un tratamiento de potabilización al agua antes del consumo humano para evitar que sea una fuente de contaminación.

Las aguas superficiales susceptibles de ser destinadas al consumo humano quedan clasificadas, según el grado de tratamiento que deben incluir para su potabilización, así lo plantea Romero, (2008) en los 3 grupos siguientes:

- TIPO A1: Tratamiento físico simple y desinfección
- TIPO A2: Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección
- TIPO A3: Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección.

Para AWWA, (2007) los procesos unitarios que corresponde a cada grado de tratamiento serán los siguientes:

Tabla 1.3: Grado de tratamiento

GRADO DE TRATAMIENTO	COMPOSICION DEL TRATAMIENTO	DESCRIPCION
TIPO 1	Tratamiento físico simple - Desinfección	Filtración rápida - Desinfección
TIPO 2	Tratamiento físico normal - Tratamiento químico - Desinfección	Precloración - Coagulación/floculación - Decantación - Filtración - Desinfección
TIPO 3	Tratamiento físico y Químico intensos - Afino - Desinfección	Cloración Coagulación/floculación - Decantación - Filtración - Afino con carbón activado - Desinfección

Fuente: Pre-Treatment Field Guide: American Water Works Association. 2007.

Debido a que hay tres tipos de grado de tratamiento para el agua potable, se procederá a explicar sobre el Tipo 3, ya que de cierta forma en él se incluyen los procedimientos de tipo 1 y 2.

1.7.1.- Tratamiento físico

a) Decantación: En el proceso de decantación, las partículas cuya densidad es mayor que el agua sedimentan en el fondo del decantador por acción de la gravedad. Estas partículas se eliminan periódicamente del fondo del tanque de decantación.

El agua clarificada, que queda en la superficie del decantador, es redirigida hacia un filtro. La velocidad de caída de las partículas es proporcional a su diámetro y masa volumétrica. Durante la fase de pretratamiento, y con objeto de acelerar y mejorar el proceso de decantación, se añaden unos productos que propician la aglomeración y dan mayor peso a las partículas en suspensión. Entre estos productos, podemos destacar el carbón activado en polvo, el cloruro férrico o los policloruros de aluminio y un polímero sintetizado que favorece la aglomeración de los floculos. (Veolia Environnement, 2006).

b) Filtración: Una vez que se ha decantado el agua para terminar el proceso de clarificación, se hace pasar por una etapa de filtración, la cual consiste en hacer pasar el agua que todavía contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del líquido pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante. (Veolia Environnement, 2006).

De este modo, las partículas que no han sedimentado en el decantador son retenidas en los filtros. El medio filtrante más utilizado es la arena, sobre un lecho de grava como soporte.

Aunque también existen otros tipos de lechos como membranas filtrantes que pueden ser de plástico o de metal.

Para evitar atascamientos en esta etapa, es importante que la retención de las partículas se haga en el interior del lecho filtrante, y no en la superficie del lecho, por este motivo, será muy importante hacer una elección adecuada del tamaño del grano del lecho filtrante.

Los filtros más utilizados en potabilización de agua son los filtros rápidos en los que el agua ha sido pasada previamente por un proceso de coagulación-floculación.

1.7.2.- Tratamiento químico.

a) Cloración: La adición de cloro en el punto inicial tiene dos funciones: desinfección y oxidación. Estas dos propiedades contribuyen a la eliminación de: hierro, manganeso, sulfuros, amoníaco y otras sustancias reductoras. También reducirán sabores existentes antes de la cloración y la función más importante es la reducción del crecimiento de algas y otros microorganismos presentes en el agua. Esto se consigue añadiendo cloro hasta conseguir cloro residual libre en el agua normalmente se busca 0.5 ppm de cloro libre. El cloro se puede adicionar en forma de cloro líquido, solución de hipoclorito de sodio o tabletas de hipoclorito de calcio. (Calderón, 2002)

Según (Calderón, 2002) la desventaja de la utilización del cloro es que en presencia de materia orgánica se producen trihalometanos clorados, y en los últimos años se ha producido una acumulación de datos que evidencian que la exposición a trihalometanos se asocia con un mayor riesgo de cáncer, sobre todo de vejiga y a trastornos de la reproducción.

b) Coagulación-Floculación

Para la eliminación de sustancias que vienen en el agua en forma coloidal, la decantación por gravedad, no resulta del todo efectiva, por lo que se requiere el aporte de unos reactivos que faciliten esta acción (Calderón, 2002).

✓ Coagulación

El coagulante, se utiliza para desestabilizar la carga exterior de las partículas coloidales, evitando la repulsión entre ellas, y favoreciendo las reacciones entre las mismas. Esto dará lugar a la formación de coágulos de mayor densidad, lo que acelera su decantación. Los agentes coagulantes comúnmente utilizados, son las sales de hierro, y aluminio, que comercialmente se presentan en las formas: sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, polímeros de alúmina, cloruro férrico, y sulfato férrico (Calderón, 2002).

✓ **Floculación**

Los floculantes, o también llamados coadyuvantes, son productos que tienen la facultad de captar los coágulos formando entre ellos un entramado más voluminoso, pesado, y denso. De esta forma se aumenta la velocidad de sedimentación de los floculos formados (Calderón, 2002).

Se pueden clasificar de distinta forma, según su naturaleza; en minerales u orgánicos, según su carga; en aniónicos, catiónicos o neutros, según su origen; en naturales o sintéticos (polielectrolitos).

En la actualidad los polielectrolitos son los más utilizados debido a su menor impacto ambiental y a la calidad del floculo que producen. Para poder determinar la cantidad de producto a agregar al agua se tiene que hacer un ensayo conocido como "Jar Test" o Test de Jarras con el agua a tratar. Este test mide básicamente el efecto de las diferentes combinaciones de dosis de coagulante y PH.

1.7.3.- Afino con carbón activo.

Una vez que el agua ha sido clarificada, pasa a la adsorción sobre carbón activo, que permitirá la disminución de la materia orgánica, color, olor y sabor presente, por separación, al quedar retenidas en la superficie del adsorbente. El adsorbente utilizado es carbón activo en forma granular que se sitúa formando un lecho fijo en una columna de tratamiento, a través del cual pasa el agua.

El Carbón Activo puede fabricarse a partir de todo tipo de material carbonoso, o bien, a partir de cualquier carbón mineral no grafitico. Pero, hay que recordar que cada materia prima brinda características y calidades distintas.

Una de las principales razones de la aplicación del Carbón Activo es la de cloración o eliminación de cloro libre del agua. También se puede utilizar para controlar olor y sabor, el crecimiento biológico o eliminar amoníaco. (Romero, 2008).

1.7.4.- Desinfección.

La etapa final del proceso de tratamiento de aguas potables siempre es la desinfección. En algunos casos en las plantas muy sencillas, ésta es la única etapa del proceso. Hay

tres tipos básicos de desinfección: Tratamientos físicos, tratamientos químicos y radiación (Romero, 2008).

a) Tratamientos físicos: Son los menos utilizados, Dentro de este tipo de tratamientos se puede incluir la aplicación de calor pero además de ser costoso, deja mal sabor ya que elimina el oxígeno disuelto y las sales presentes en el agua. Otro de los procesos que se utilizan es el dejar pasar el tiempo, para que los gérmenes fecales disminuyan su concentración al ser el agua retenida en ambiente hostil.

b) Tratamientos químicos: Los agentes químicos desinfectantes más utilizados son el cloro, carbón activado y el ozono.

1.8.- Selección de la tecnología de tratamiento de agua.

La selección de la tecnología de producción y administración de un sistema de agua potable debería realizarse considerando los recursos, el grado de desarrollo socioeconómico y los patrones de cultura existentes. La experiencia en América Latina demuestra que el mayor problema no es la deficiencia tecnológica sino más bien la selección de la tecnología apropiada, la operación y el mantenimiento.

Los factores básicos que caracterizan la selección de la tecnología apropiada para tratamiento de agua en los países en desarrollo y que deben ser considerados son los siguientes:

- a) Grado de complejidad:** La mayoría de los procesos unitarios utilizados en el tratamiento de agua pueden realizarse en reactores con diferente grado de complejidad y eficiencia. Afortunadamente, los más complejos no siempre resultan ser los más eficientes.
- b) La tecnología no opera por sí misma:** Plantas automatizadas necesitan personal de un alto nivel tecnológico para operar, mantener y reparar los controles y equipos. La selección tecnológica debe considerar la capacidad y los recursos de las instituciones e individuos.
- c) Impacto indirecto en el área:** Debe considerarse una cadena de factores que se relacionan entre sí, tales como calidad de agua de las fuentes, grado de tratamiento, utilización de materiales y personal local, mejoras económicas

indirectas, mejoramiento técnico de personal local, influencias indirectas en la economía y su repercusión directa e indirecta en la salud (Galvis y Vargas, 1998).

1.9.- Sistemas de tratamiento de agua potable para comunidades rurales.

Los principales problemas en cuanto a la adecuada prestación de los servicios de agua potable y saneamiento se concentran en los pequeños municipios y el sector rural.

La sostenibilidad de los proyectos rurales de agua potable y saneamiento y de los beneficios que estos proyectos aportan a las comunidades es un tema que preocupa desde hace mucho tiempo a las personas que trabajan en el sector. Existe mucha evidencia, en forma de anécdotas relatadas por los miembros del personal, los gerentes de programas y las personas que trabajan en el sector en todo el mundo, que refleja esta inquietud; existen demasiados sistemas de agua potable que son mantenidos en forma deficiente o que no funcionan apropiadamente, e instalaciones de saneamiento que no se utilizan. (Evans, 1992).

En el sector de agua potable, los conceptos convencionales de sostenibilidad se han centrado principalmente en los aspectos técnicos y financieros y, más recientemente, en la capacidad de largo plazo de las estructuras de gestión comunitaria. Se ha hecho menos énfasis en la necesidad de mantener los beneficios de salud y ambientales. (Lockwood. 2002).

Así por ejemplo, como lo señala Valencia, (1998) a las entidades financieras y muchas instituciones técnicas sólo les interesa la infraestructura física y la eficiencia con la que se ejecutan los recursos, independientemente de si resuelven el problema que enfrentan los potenciales usuarios de los sistemas.

1.9.1 Desinfección solar, una alternativa para pequeñas comunidades rurales.

Un proceso muy sencillo y de bajo costo de desinfección solar consiste en sencillamente llenar envases plásticos transparentes con agua fuente. Después se colocan los envases sobre una superficie reflectante de la luz solar como las láminas de aluminio o de hierro corrugado, posiblemente sobre un techo. Estos envases se exponen a la luz solar directa desde una hora hasta dos días, dependiendo de las condiciones. Los rayos solares eliminan a los microorganismos en el agua mediante la irradiación con rayos ultravioleta A (UV-A) y además elevando la temperatura del agua a 50 grados Celsius o mayor.

Sin embargo, la desinfección solar, no es un tratamiento para los problemas de calidad química del agua como la presencia de arsénico, metales pesados, pesticidas, etc. Además, requiere el uso de agua relativamente transparente, porque los materiales en suspensión y el color natural en el agua bloquean los rayos UV. No se recomienda el uso de envases de más de uno o dos litros de capacidad, lo cual limita la cantidad de agua que se puede tratar. Y tampoco se recomienda para el uso durante días de lluvia continua. Sin embargo, este proceso tiene el potencial de reducir grandemente las incidencias de diarrea y disentería, y para minimizar el terrible impacto en la salud que éstas causan en todo el mundo. (GHEF, 2008)

1.9.2.- Agua potable para pequeñas comunidades rurales a través de un sistema de colección ya almacenamiento de lluvia y planta potabilizadora.

- **Descripción del sistema de colección y almacenamiento de lluvia–planta potabilizadora**

El sistema de recolección de agua de lluvia elegido representa, probablemente, un escenario de los más frecuentes en América Latina. El agua de escurrimiento es almacenado en recipientes de tierra o en cisternas. Dicha agua es, entonces, utilizada fundamentalmente para consumo humano y animal. (Velasco y Molina, 1991)

- **Planta de tratamiento y sistema de desinfección**

El sistema de tratamiento empleado en esta planta tiene como base las operaciones y/o procesos unitarios de coagulación-floculación, sedimentación, filtración y desinfección, los cuales deberán realizarse en dispositivos de bajo costo y fácilmente operables. (Velasco y Molina, 1991)

1.9.3.- Filtros de bloque de carbón sólido.

La adsorción es un proceso por el cual moléculas de impurezas se adhieren a la superficie del carbón activado. La adherencia es gobernada por una atracción electroquímica. El carbón activado es preparado a partir de diversos materiales, tales como, carbón, madera, cáscaras de nueces, turba y petróleo. El carbón se transforma en "activado" cuando es calentado a altas temperaturas (800 a 1000°C) en la ausencia de oxígeno. El resultado es la creación de millones de poros microscópicos en la superficie del carbón. Esta enorme cantidad de área superficial proporciona grandes oportunidades para que tenga lugar el proceso de adsorción. El carbón activado tiene una fuerte

atracción adsorptiva para otras moléculas (orgánicas) basadas en el carbono, y es excelente en retener firmemente moléculas más pesadas tales como compuestos orgánicos aromáticos (aquellos que pueden ser oídos).

El proceso de adsorción trabaja como un imán para mantener las impurezas en la superficie del carbón activado. Esto es una acción diferente de aquella que actúa como una esponja en el proceso de absorción, en el cual un gas o líquido es succionado hasta el centro del cuerpo poroso y allí mantenido.

El carbón activado también es conocido por su extraordinaria habilidad en eliminar el cloro y su gusto y olor relacionados por la reducción química para una forma no detectable por los sentidos (por ej.: cloruros).

Los filtros de carbón activado remueven los compuestos orgánicos volátiles (VOC), los pesticidas y herbicidas, los compuestos con tricalometano, radon, los solventes y otros productos hechos por el hombre y que encontramos en las aguas. (Delgadillo y Ramírez, 2007)

1.10.- Evaluación de los sistemas de tratamiento de agua potable.

Según Pérez et. Al., (1996) en la evaluación de una planta de tratamiento se pueden precisar dos etapas de trabajo de campo: inspección preliminar, evaluación de los procesos:

1.10.1.- Inspección preliminar.

La finalidad de esta inspección es la de determinar si la planta reúne las condiciones mínimas de operatividad para ser evaluada.

En esta etapa se tomará en cuenta lo siguiente:

- Condiciones que imposibilitan la evaluación puntual de la planta
- Condiciones que justifican la rehabilitación de la planta antes de implantar una evaluación continua.

1.10.2.- Evaluación de los procesos.

Determinar las características y eficiencia de los procesos y de las unidades en que éstos se verifican. Dentro de esta etapa está la evaluación puntual y la evaluación continua.

1.10.2.1.-Evaluación puntual o inicial.

Este tipo de evaluación se llevará a cabo por lo menos dos veces durante el ciclo de variación de la calidad del agua, una en cada época en que las variaciones climáticas establezcan condiciones extremas de calidad de agua.

El parámetro que se medirán en estas ocasiones y el orden en que se aconseja efectuar las determinaciones es el siguiente:

a.- Medir el caudal de ingreso a la planta. Si el caudal con el que está funcionando no presenta condiciones normales modificarlo en base a los siguientes criterios:

- Determinando las necesidades de la población,
- De acuerdo al caudal de diseño,
- Determinando la capacidad de funcionamiento de la planta de acuerdo a sus dimensiones.

Una vez iniciada la evaluación no debe efectuarse ninguna alteración en el funcionamiento de la planta que modifique las condiciones iniciales.

b.- Determinar eficiencias comparativas y remocionales de los sedimentadores y filtros, simultáneamente tomar muestras:

- De agua cruda para el análisis fisicoquímico y bacteriológico,
- Del reservorio para determinar: turbiedad y/o color, y coliformes fecales, y
- Tomar temperatura en todas las unidades.

c.- Efectuar la prueba de trazadores en el sedimentador y mientras tanto, determinar en los filtros:

d.- Profundidad del lecho filtrante.

e.- Pérdida de carga.

f.- Velocidad de filtración.

g.- Contenido de sedimento.

1.10.2.2.- Evaluación continua o rutinaria.

Esta evaluación se efectuará por lo menos dos veces al año en las mismas épocas en que se realicen las evaluaciones puntuales, y tiene como finalidad determinar la duración del periodo de maduración.

Se iniciará con la limpieza del filtro y se efectuarán las siguientes determinaciones:

- a.- Remoción de turbiedad y/o color. Cada cuatro horas la primera semana
- b.- Remoción de coliformes fecales. Una prueba diaria la primera semana, y una semanal a continuación.
- c.- Pérdida de carga. Efectuar una medición cada vez que se extrae una muestra.
- d.- Temperatura. Efectuar una medición cada vez que se extrae una muestra.

1.10.2.3.- Procedimiento de evaluación.

Se indican a continuación los procedimientos para ejecutar los ensayos indicados en cada una de las etapas de evaluación.

a) Eficiencia remocional

- Propósito. Determinar la modificación del contenido de turbiedad y/o color y coliformes fecales durante el proceso.
- Procedimiento:

Tomar muestras de agua en las cajas de ingreso y salida de las unidades.

Determinar contenido de turbiedad, color y coliformes fecales en cada muestra

Determinar el porcentaje de variación (reducción o incremento) de cada uno de los elementos analizados.

b) Eficiencia comparativa

- Propósito. Establecer comparación entre las eficiencias obtenidas
- Materiales. Un recipiente de plástico de 50 litros de capacidad, un tomador de muestras y unos 40 vasitos o frascos para tomar muestras.
- Procedimiento.

c) Características de las zonas de entrada y salida

d) Caracterización de la zona de depósito de lodos

e) Velocidad de filtración y caudal de operación

- Propósito: determinar la velocidad y caudal con que está operando el filtro

f) Pérdida de carga

g) Temperatura

- Propósito: determinar la temperatura a la que está desarrollándose el proceso

h) Análisis granulométrico

- Propósito: determinar tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad del lecho filtrante y correlacionarle con la eficiencia obtenida

i) Altura del lecho filtrante

- Propósito: determinar la altura de arena, con la que está operando el filtro al momento de la evaluación.

j) Contenido del sedimento

k) Presencia de carbonatos, hierro y manganeso

- Propósito: determinar por observación del lecho filtrante el contenido de estos elementos en el agua

CAPITULO 2: Materiales y métodos

En el presente capítulo se aborda toda la metodología empleada en la realización de la presente investigación. De forma simplificada en la figura 2.1 se refleja el proceder metodológico llevado a cabo en esta tesis.

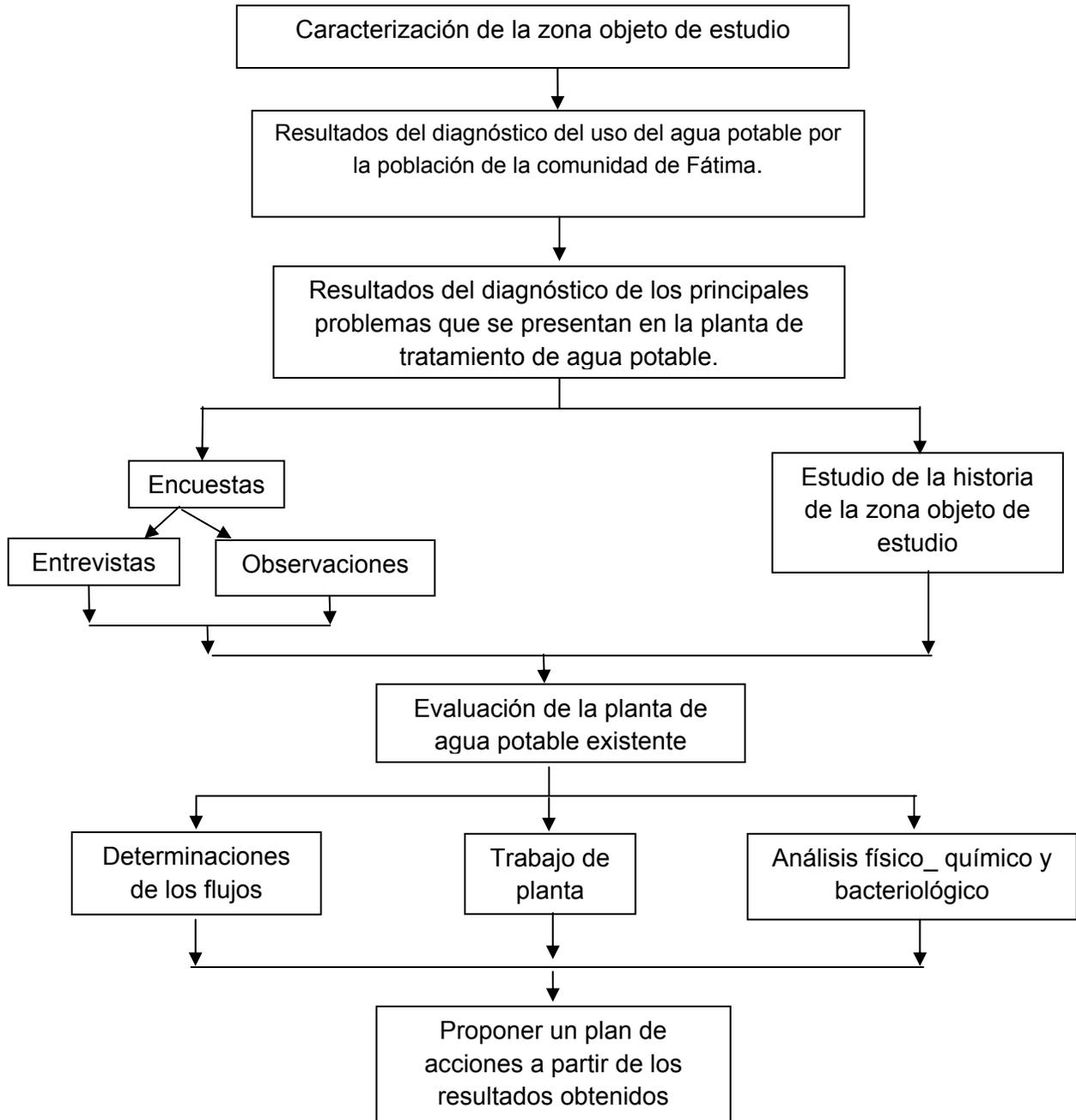


Figura: 2.1 Proceder metodológico desarrollado en la tesis.

2.1 Caracterización de la zona objeto de estudio.

La caracterización de la zona objeto de estudio se inició con una visita a la comunidad de Fátima y a la planta de tratamiento de agua potable, se determinó su ubicación, los problemas que ésta presenta, así como las principales dificultades que tiene la comunidad relacionadas con la temática.

2.1.1 Descripción de la comunidad de Fátima

Creación:

El caserío la Florida, como se llamaba anteriormente, logra su parroquialización con el nombre de Fátima el 14 de junio de 1961, con la publicación del registro oficial N° 238. El nombre de Fátima es en honor a la virgen de Fátima, por sugerencia de los misioneros josefinos (Ledesma, 2004).

Ubicación:

La Parroquia Fátima se encuentra al noreste de la provincia de Pastaza, y a 7km de distancia de la capital provincial, Puyo.

Límites:

Al norte con la parroquia Teniente Higo Ortiz.

Al sur con las parroquias Puyo y la Diez de Agosto.

Al este con la parroquia Diez de Agosto.

Al oeste con la parroquia Mera, del Cantón Mera.

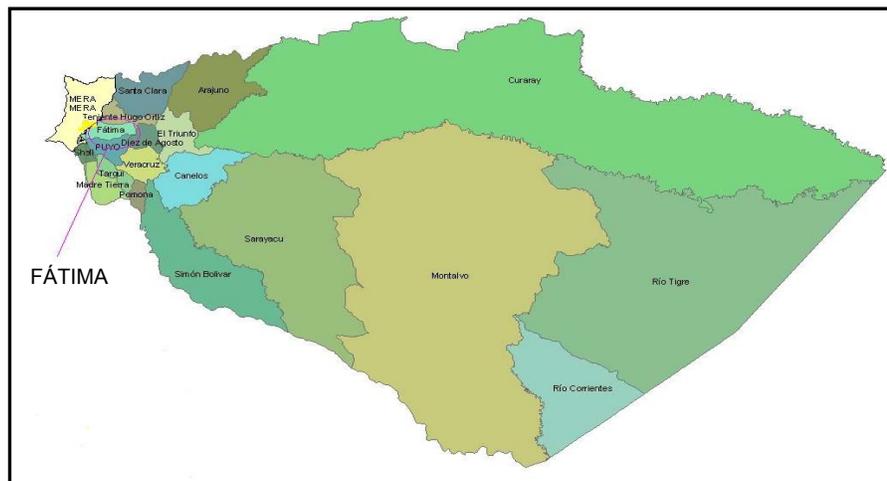


Figura 2.2: Mapa de las parroquias del cantón Pastaza

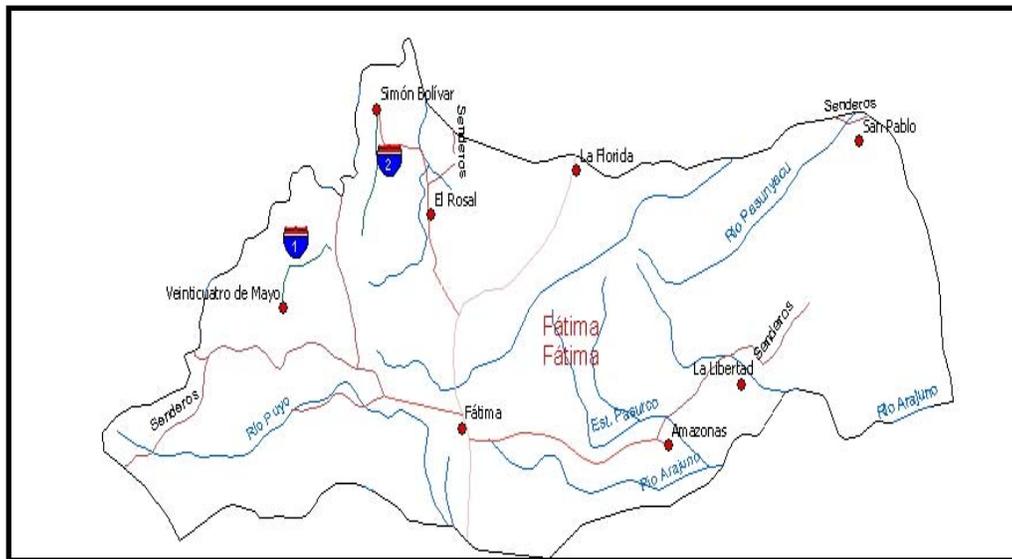


Figura 2.3: Mapa de la parroquia Fátima

Extensión

Tiene una extensión de 92 Km².

Caseríos

Entre los más importantes se tiene: La Florida, Bellavista, Libertad, Murialdo, Simón Bolívar, El Rosal, Las Américas, Nueve de Octubre.

Población

Según el censo realizado por el INEC en el 2001, la parroquia Fátima tiene una población de 766 habitantes, de los cuáles 421 son hombres y 345 son mujeres; a excepción de la comunidad de Simón Bolívar, que son Kichwa, las otras son colonias de colonos que viven de la agricultura y la ganadería.

Ríos

Entre los más importantes están: Anzú, Arajuño, Guamanyacu, Puyo, entre otros.

Clima

Su clima es cálido húmedo, con precipitaciones que superan los 3000mm anuales, una temperatura entre 18°C y 24°C.

Economía de la Parroquia

La mayoría de las personas vive de la agricultura y la ganadería; además se ha establecido plantas procesadoras de leche “Pastazalac y Más”; así como una central panelera y varias microcentrales paneleras.

En Fátima a poca distancia se encuentra el zocriadero de vida silvestre Fátima, que es un centro de rescate, domesticación y crianza de animales propios de la Amazonía, cerca de Las Américas también se encuentra un refugio de vida silvestre Yanacocha.

Aspecto Físico

La parroquia Fátima cuenta con un centro poblado atravesado de sur a norte por la Troncal Amazónica en la vía Puyo_ Tena, que es la Cabecera parroquial donde se encuentra además: un parque, la iglesia, oficinas de la Tenencia Política y la Junta Parroquial, un espacio cubierto, el subcentro de salud, un estadio, la escuela Pío Jaramillo Alvarado, la central panelera y el centro de producción de lácteos.

Servicios Básicos

La Parroquia Fátima cuenta con servicio de energía eléctrica, agua, teléfono.

2.1.2 Descripción planta de agua potable

La Planta de agua potable se encuentra al noroeste a tres kilómetros aproximadamente del centro poblado de Fátima. El acceso a la planta es: una parte lastrada por la cual puede ingresar un vehículo y otra parte empedrada por la que no ingresan vehículos.

La planta abastece de agua a 91 familias que comprenden, el centro poblado y el caserío la Florida; para un total de 373 habitantes que consumen agua de esta planta.

La planta de tratamiento de agua potable procesa 577065,6L de agua al día. La misma se encuentra cercada con malla, cuenta con una puerta de acceso sin candado. Se realiza la limpieza y lavado de los tanques los días martes y viernes a las 8 de la mañana. En estos momentos a pesar de tener toda la instalación disponible para clorar el agua, este proceso no se está realizando.

Alrededor de la planta se encuentran pastizales, algunos árboles frutales de guayaba y bosque secundario.

Tabla 2.1: Características de los diferentes módulos de la planta

Módulos de la planta	Dimensiones (m)			Materiales de construcción
	Largo	Ancho	Profundidad	
Tanque receptor	1,80	1,60	2,50	Bloques, cemento, hierro, arena fina y gruesa
Tanque de filtrado grueso	3,40	1,80	2	Bloques, cemento, hierro, arena fina y gruesa
Tanque sedimentador	1,80	0,80	2	Bloques, cemento, hierro, arena fina y gruesa
Tanques de filtrado rápido (6 tanques)	2,80	1.20	1,50	Bloques, cemento, hierro, arena fina y gruesa
Tanques de filtrado lento de arena (2)	9,30	1,80	1,50	Bloques, cemento, hierro, arena fina y gruesa
Tanques de reserva	Diámetro (m)		Profundidad	Materiales de construcción
Tanque 1	6		3,30	Bloques, cemento, hierro, arena fina y gruesa
Tanque 2	5,40		3	Bloques, cemento, hierro, arena fina y gruesa

Fuente: Elaboración propia

El proceso de purificación de agua que se describirá, aparece reflejado en forma de diagrama de flujo en el anexo 3.

El agua procesada en la planta se toma en dos captaciones, ubicadas en las cavernas situadas cerca del río Puyo, estas se encuentran a una distancia de 4 kilómetros aproximadamente de la planta de agua potable. El agua es conducida por gravedad a través de dos tuberías hasta el tanque receptor.



Figura 2.4: Tanque receptor de la planta de agua potable

Como su nombre lo indica, el tanque receptor tiene como objetivo la recepción del agua que entra a la planta. Este tiene también el objetivo de funcionar como sedimentador.

Una vez almacenada el agua en el tanque receptor, ésta pasa por medio de un vertedero triangular al tanque de filtrado de filtrado grueso.



Figura 2.5: Tanque de filtrado grueso

La filtración gruesa es un proceso mediante el cual se purifica el agua haciéndola pasar a través de un material poroso.

El filtro está compuesto por un relleno de piedras pómez de un diámetro 127 a 152.4 mm. Este relleno impide el paso de partículas grandes como: hojas, ramas, entre otras, que pueden perjudicar el buen funcionamiento de la planta.

Al llegar el agua al filtro grueso; ésta desciende hacia el lecho filtrante, fluye a través de él y pasa hacia el fondo del mismo, para luego por medio de una tubería pasar al tanque sedimentador.



Figura 2.6: Tanque sedimentador

Pérez, (2005) define a la sedimentación como el proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios. La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada.

Por ende el tanque sedimentador tiene el objetivo de separar sólidos en suspensiones por acción de la gravedad. Luego el agua por medio de tuberías pasa a los 6 tanques de filtrado rápido.



Figura 2.8: Tanques de filtrado rápido

Los 6 tanques de filtrado rápido, tienen como objetivo eliminar las partículas gruesas que no han sido eliminadas en los tanques anteriores y otras que por efecto del viento y las frecuentes lluvias han sido depositadas en los tanques; para luego pasar a los filtros lentos de arena. Estos filtros están dispuestos de forma tal que forman dos procesos de filtrado de tres filtros cada uno que trabajan en serie y los dos procesos en paralelo. El tamaño de las piedras del primer filtro tiene de 76,2 a 101,6 mm. de diámetro; el segundo filtro de 50 a 76,2mm y el tercer filtro de 25,4 a 50,8 mm. de diámetro. Luego el agua pasa por medio de una tubería a los dos filtros lentos de arena.



Figura 2.7: Tanque de filtrado lento en arena

Existen dos filtros lentos de arena; situados en paralelo, el agua llega a éstos por medio de dos tuberías de polietileno por acción de la gravedad.

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

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.

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.

✓ **Mecanismos de la desinfección mediante 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, algunos de los cuales se han mencionado líneas arriba. 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 abordados por Cánepa, (1992).

✓ **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.

✓ **Mecanismo de adherencia**

Este mecanismo es el que permite remover las partículas, mediante los mecanismos arriba descritos, han colisionado con los granos de arena del medio filtrante. La propiedad adherente de los granos de arena es proporcionada por la acción de fuerzas eléctricas, acciones químicas y atracción de masas así como por la 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.

✓ **Mecanismo biológico de la desinfección**

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

Al iniciarse el proceso, las bacterias depredadoras o benéficas transportadas por el agua utilizan como fuente de alimentación el depósito de materia orgánica y pueden multiplicarse en forma selectiva, lo que contribuye a la formación de la película biológica del filtro. Estas bacterias 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). La maduración de un FLA puede demorar de dos a cuatro semanas.

Una vez que el agua a atravesado los tanques de filtrado lento de arena; ésta pasa a los tanques de reserva mediante tuberías de polietileno, para luego ser distribuida a la comunidad de Fátima.

El filtro de arena está compuesto por: una capa de grava gruesa de Ø25,4 a Ø50,8 mm., una capa de grava más fina de Ø12,7 mm. Como promedio y por último una capa de arena fina de Ø240mm., proveniente del río Tigre. Por último, el agua pasa de los filtros lentos de arena a los tanques de reserva, en donde es almacenada para luego ser distribuida a la comunidad de Fátima



Figura 2.9: Tanque de reserva

2.2.-Proceder empleado para el diagnóstico de la problemática actual en la comunidad de Fátima sobre el consumo de agua potable

El diagnóstico en el sector se inició con una observación minuciosa del funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable, se procedió a tomar fotografías de la planta y de la comunidad de Fátima.

Para la realización de las encuestas se tomo el tipo de encuesta personal con preguntas abiertas, claras y cortas con el objetivo de conocer la cantidad de habitantes que consumen el agua potable, los usos que le dan a la misma y las enfermedades más comunes que han sufrido los pobladores a consecuencia del consumo directo sin tratamiento alguno del agua proveniente de la planta de agua potable. En el anexo 4 se presentan los componentes que conforman la encuesta realizada a un total de 71 familias, que constituyen la muestra analizada y representan 78% de la población estudiada.

Para el procesamiento estadístico de los resultados se empleó el software Microsoft Excel, (2007), SPSS Statistics, (2008) y Statgraphic,(2004).

Para el estudio de la zona objeto de estudio se realizaron investigaciones en diferentes instituciones donde se plasma la historia de la Comunidad de Fátima y sus caseríos como la Florida que también consume agua de la planta. La información del historial se obtuvo de los siguientes lugares: Municipio de Pastaza, Junta parroquial de Fátima y del Subcentro de Salud de la comunidad.

Para la confección del informe final se utilizó el software Microsoft Word (2007).

2.3.- Metodica seguida para la evaluación de la planta de agua potable existente

Para la evaluación de la planta se tomaron un grupo de acciones dirigidas a los siguientes aspectos:

- Determinación de las dimensiones de cada uno de los módulos existentes en el proceso.
- Estimación de los flujos de entrada y salida de agua a la planta
- Toma de muestras para el análisis del agua tanto a la entrada como a la salida del proceso
- Valoración de parámetros de calidad del proceso

En la determinación de las dimensiones de cada uno de los módulos existentes en el proceso; se utilizó un flexómetro y se procedió a medir cada uno de los módulos, para luego realizar los planos de la planta de agua potable.

Para la elaboración del plano de la planta se utilizó el programa AutoCad, (2008).

2.4.-Metodología seguida en La estimación de Los flujos de operación.

La estimación de los flujos de la planta se realizó por aforo y para garantizar un valor de flujo lo más representativo posible se procedió de la siguiente forma:

1. Se tomaron un total de veinte días, seleccionados de forma totalmente aleatoria (a estos días se les dará la denominación de muestra).
2. Cada muestra estuvo conformada por tres replicas, las cuales se tomaron con intervalo de 20 minutos. Esto garantizó un total de 60 mediciones de cada flujo.
3. Con los valores obtenidos se procedió a determinar los flujos de entrada y salida del proceso, así como la realización de las cartas de control estadísticas del proceso.

2.5.-Metodología seguida para la toma de las muestras para los análisis de laboratorio

Para los análisis de laboratorio se conforman muestras compuestas, para garantizar la representatividad del muestreo y abaratar los costos de análisis. El proceder es el siguiente:

1. Las muestras tomadas para analizar se conforman a partir de submuestras de 250 ml tomadas cada 20 minutos hasta completar 1000 ml.
2. Como existen dos entradas de agua a tratar es necesario conformar una muestra compuesta pero proporcional, de ahí que al momento de tomar las muestras se registraran los flujos de cada una de las entradas y después ponderar la porción de cada una de las muestras a tomar en función de los flujos.

Una vez tomadas las muestras se les realiza a las mismas los siguientes análisis:

- Coliformes totales *
- Coliformes fecales *
- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO*
- Demanda Química de Oxígeno *
- Turbiedad *
- Absorvancia **
- pH **
- Temperatura **
- Conductividad **

* Estos análisis se realizaron en los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y solamente se les aplicaron a las muestras de agua de entrada (punto 1) y salida a la planta de tratamiento (punto 6)

** Estos análisis se realizaron en los laboratorios de la Universidad Estatal Amazónica y en seis puntos de muestreo localizados en: entrada a la planta (punto 1), salida del tanque receptor (punto 2), salida del tanque de filtrado grueso (punto 3), salida del tanque sedimentador (punto 4), salida de los tanques de filtrado rápido (punto 5) y salida de los tanques de filtrado lento de arena (punto 6).

2.6.-Determinación de la cantidad de sedimento que contiene la arena de los filtros lentos.

Para determinar la efectividad de los procesos de limpieza que se realizan a los filtros lentos de arena se lleva a cabo la prueba del contenido de sedimento en esta. Para ello se sigue el proceder indicado:

1. Una vez que el filtro ha sido evacuado, se toma una muestra de arena de la superficie de ésta (correspondiente a los 10 primeros cm.) y se lleva al laboratorio.
2. Se toma una probeta de 500ml y se agrega a ella una porción de arena de la muestra tomada.
3. Se añade agua a la probeta hasta que la arena quede totalmente cubierta.
4. Se agrega a la probeta una porción de sal común (no es necesario una cantidad superior a dos cucharaditas).
5. Se agita vigorosamente todo el contenido de la probeta durante un minuto y se deja reposar durante tres minutos.
6. Transcurrido ese tiempo con una regla graduada se determina la altura alcanzada por el sedimento (H1) y por la arena (H2).
7. Por último se determina la relación que existe entre la altura del sedimento y la arena.

2.7.-Determinación de la velocidad de filtración

Este experimento se realiza con el objetivo de determinar la velocidad de filtración de los filtros lentos de arena.

1. Se cierra la alimentación de agua al filtro lento.
2. Se introduce una regla graduada hasta la superficie del medio filtrante.
3. Se lee en la regla graduada la altura del líquido al momento de cerrar la alimentación.
4. Se dejan pasar diez minutos y toma la nueva altura del líquido en la regla graduada.
5. Con estos valores y las dimensiones del filtro lento se determina la velocidad de filtración y se expresa en $\text{cm}/\text{min} \cdot \text{m}^2$

2.8.-Determinación de las concentraciones óptimas de sulfato de aluminio

Se realizaron una serie de pruebas en el laboratorio para estimar la dosis óptima de sulfato de aluminio para la sedimentación. Se siguió la siguiente metodología:

1. Se tomaron seis probetas de 500ml y se colocó papel milimetrado a lo largo de las mismas para medir la cantidad de sedimentación para un determinado tiempo
2. Se tomó una muestra de sulfato de aluminio y se procedió a pesar en las siguientes dosis: 0, 1, 2, 3, 4 y 5 mg y se añadieron cada una de ellas a un litro de agua de la que es procesada en la planta.
3. El contenido de cada una de las muestras preparadas para cada una de las dosis se coloca en las probetas de 500ml y se deja reposar. Se toman las mediciones de la formación del sedimento cada 5 minutos hasta completar un total de 40 minutos
4. Este experimento se replicó en tres ocasiones para verificar los resultados obtenidos.
5. Con los datos obtenidos, se realizaron las gráficas utilizando el software Microsoft Excel (2007).

Las figuras 2.10 y 2.11, muestran momentos de la preparación y realización de los experimentos realizados en el laboratorio para determinar por la técnica de sedimentación en probeta las concentraciones óptimas de sulfato de aluminio a utilizar en el proceso.



Figura 2.10: Preparación de las muestras para determinar las concentraciones óptimas de sulfato de aluminio

2.9.- Proponer un plan de acciones a partir de los resultados obtenidos

La discusión de los resultados obtenidos y las propuestas que de ellos se derivan aparecen reflejados n el capítulo 3 de este trabajo.

CAPÍTULO 3: Análisis y discusión de los resultados

En el presente capítulo se ofrecen los resultados obtenidos de los estudios realizados así como el análisis y discusión de los mismos. Además de las propuestas realizadas para solucionar los problemas detectados durante el proceso de evaluación.

3.1.- Resultados del diagnóstico del uso del agua potable por la población de la comunidad de Fátima.

Para obtener la información necesaria sobre el uso que se le da al agua por parte de la comunidad se realizó un proceso de encuestado cuyo cuestionario aparece en el anexo 4. La encuesta se aplicó a 71 familias de 91 posibles. Los resultados de forma detallada de la encuesta aplicada se encuentran en el anexo 9.

En éste estudio se pudo detectar que todos los encuestados usan el agua proveniente de la planta y que de ellos existe un 53,5% que afirman que es la única que usan para todas sus necesidades, y un 46,5% manifiesta que para beber compran agua embotellada. De éste resultado se puede apreciar que existe una considerable cantidad de personas que usan para sus necesidades en el sentido general el agua proveniente de la planta potabilizadora.

Al preguntar a los encuestados si consumían directamente el agua para beber sin ningún tratamiento, un 9,8% del total respondió afirmativamente y el resto manifestó hervirla antes de beberla.

Referente a si conocen o no la calidad de agua que consumen el 63,3% manifiestan que no tiene ni la más mínima idea de las características de este recurso, inclusive el 64,7% no conocen dónde queda la planta de tratamiento de agua potable.

En cuanto a registro y control del consumo de agua todas las viviendas encuestadas tienen instalado un medidor de flujo y las mensualidades a pagar por el uso del agua se encuentran entre 2 y 6 dólares mensuales, con un alto predominio por la primera cantidad.

3.2.- Resultados del diagnóstico de los principales problemas que se presentan en la planta de tratamiento de agua potable.

El diagnóstico del área objeto de estudio comprende tanto los problemas que se presentan en la planta de tratamiento de agua como la repercusión que puedan tener estos en la población de la comunidad, para ello se realizaron varias visitas a ambos lugares, encuestas a los miembros de la comunidad y la recolección de información con autoridades de salud pública.

Como resultado del diagnóstico realizado, se describen a continuación las principales deficiencias que tiene la planta de tratamiento y sus efectos sobre la calidad de agua que consume la población.

1. No se logra una remoción adecuada de elementos indeseables presentes en el agua.
2. No se clora el agua antes de ser distribuida a la comunidad de Fátima.
3. Mantenimiento inadecuado de la planta de tratamiento de agua potable.
4. No tienen condiciones de seguridad.
5. Uso irracional del recurso agua.
6. Inadecuabilidad de las operaciones que se realizan.

3.2.1.- No se logra una remoción adecuada de elementos indeseables presentes en el agua.

En la tabla 3.1, se ofrece un resumen de los análisis realizados a las muestras tomadas al agua de alimentación a la planta (punto 1) y en la descarga de la misma (punto 2) analizados en los laboratorios LAB-CESTTA de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Tabla 3.1: Resultados de los análisis realizados al agua a la entrada y salida de la planta de potabilización.

PARÀMETROS	PUNTOS DE MUESTREO	
	PUNTO 1	PUNTO 2
Turbiedad (UTN)	1,55	2,94
Coliformes Totales (nmp/100mL)	400	220
Coliformes Fecales (nmp/100mL)	10	32
DQO (mg/L)	8	5
DBO (mg/L)	4	3

Fuente: Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspección LAB-CESTTA. ESPOCH

Al observar la tabla anterior puede constatar que en cuanto al parámetro de turbidez la planta opera satisfactoriamente pues a la salida de la misma se registra un valor de 2,94 UTN y de acuerdo a las normas INEN (1996) se establece un valor límite máximo permisible de 5 UTN para agua potable. Sin embargo si se observan los valores de turbidez a la entrada de la planta se puede apreciar que éstos son inferiores a los de la salida lo que aparentemente indica que el agua se ensucia en el proceso. Aunque no por esta razón se puede aseverar que esto suceda siempre, pues como se definió en el capítulo 2 de este trabajo éstos análisis fueron realizados en una sola ocasión y esto limita la representatividad que los mismos pueden tener del proceso de purificación.

En cuanto a la remoción de coliformes puede observarse que los totales se logran remover en un 45 %; sin embargo no sucede lo mismo en cuanto a los fecales que tienden a un ligero incremento en el proceso. Debe destacarse que para este último caso este resultado no es concluyente en primer lugar por las razones de muestreo ya explicadas en el párrafo anterior y en segundo lugar que para un margen de diferencia de solo 22 unidades en los coliformes fecales y dadas las características de ésta técnica no garantiza que se pueda aseverar que haya un incremento en el proceso. Independientemente de esto es muy preocupante el hecho que exista presencia de coliformes en un agua que se considera potabilizada.

La Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno (DQO y DBO) sufren una reducción en el proceso como muestra de la degradación de la materia orgánica presente en el líquido,

resultado totalmente lógico si se tiene en cuenta que ésta es una de las funciones que tiene el filtro lento de arena. Además al observar la operación de filtración lenta se pudo constatar la existencia de burbujeo en el proceso aspecto que corrobora que existe actividad biológica.

Como una forma de tener mayor representatividad del estudio realizado y debido a la imposibilidad de replicar los análisis realizados en la ESPOCH por lo costoso que resultan los mismos, se decidió llevar a cabo un grupo de análisis complementarios en los laboratorios de la Universidad Estatal Amazónica, donde se ampliaron los puntos del muestreo a un total de seis para poder monitorear con mayor exactitud lo que sucede en cada una de las etapas del proceso.

En la tabla 3.2 que se muestra a continuación aparece un resumen del comportamiento de los parámetros analizados en cada una de las etapas del proceso. El análisis estadístico correspondiente a estos parámetros se puede apreciar con más amplitud en el anexo 5.

Tabla 3.2: Comportamiento del pH, conductividad, absorvancia y temperatura para los seis puntos de muestreo. Punto 1: Entrada a la planta, punto 2: salida del tanque receptor, punto 3: salida del tanque de filtrado grueso, punto 4: salida del tanque sedimentador, punto 5: salida de los tanques de filtro rápido y punto 6: salida de los tanques de filtro de arena.

Parámetros	Valores medios para los diferentes puntos evaluados					
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
pH	7,878	7,844	7,878	7,789	7,833	7,856
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2,117	2,403	2,408	2,413	2,418	2,392
Absorvancia	0,063	0,056	0,056	0,056	0,055	0,054
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	22,711	22,600	22,511	22,600	22,711	22,689

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar un análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas para los parámetros analizados entre el agua que entra al proceso y la que sale de las

diferentes etapas se pudo comprobar que el pH y la temperatura no presentan diferencia significativa en ninguno de los puntos.

La absorvancia por su parte solo presenta diferencia significativa entre el punto 1 y el 6 y no en el resto de las etapas del proceso. Si se tiene en cuenta que la absorvancia se puede tomar como criterio para analizar el comportamiento de la turbidez en el proceso de acuerdo a los estudios realizados por Capadocia y Díaz, 2000, en los cuales demuestran que para agua potable existe una relación directamente proporcional entre la absorvancia y la turbidez, se puede plantear que la remoción de la turbidez en el proceso es prácticamente nula. Por ejemplo obsérvese que en los puntos 2, 3 y 4 no existe variación alguna de éste parámetro lo cual demuestra a las claras que estas etapas no están realizando su función en el proceso. Solo se logra en el tanque receptor a pesar de sus limitaciones una ligera remoción de impurezas. La causa de la ineficiencia de estas operaciones se explica en la tabla 3.4 del epígrafe 3.2.6. Es importante destacar que al no cumplirse los objetivos trazados para éstas etapas en cuanto a remoción de impurezas se provoca una sobrecarga de trabajo sobre los filtros lentos de arena y que ocurra un ensuciamiento más acelerado en dicho proceso.

En cuanto a la conductividad éste parámetro no experimenta variaciones significativas de un punto a otro. Los valores obtenidos no representan ninguna preocupación para el producto evaluado, debido al origen y procedencia del agua que se trata.

3.2.2.- No se clora el agua antes de ser distribuida a la comunidad de Fátima.

La planta de potabilización cuenta con las condiciones adecuadas para clorar el agua con cloro gas antes de ser distribuida a la población de Fátima; pero éste no se le realiza por falta de recursos. Sin embargo la presencia de coliformes tanto fecales como totales en el agua potable impone la necesidad de un tratamiento que elimine la presencia de éstos patógenos en el agua que será supuestamente consumida por los pobladores de la comunidad de Fátima.

Este hecho ha traído como consecuencia a la comunidad enfermedades propias de aguas no purificadas adecuadamente. Las enfermedades más predominantes son las enfermedades diarreicas y las parasitosis intestinal, como se muestra en la figura 3.1.

Aunque estos fenómenos no se deben atribuir totalmente a que beben agua contaminada, si es notable que son las que predominan en la comunidad y que el agua indiscutiblemente tiene un peso significativo en esta problemática.

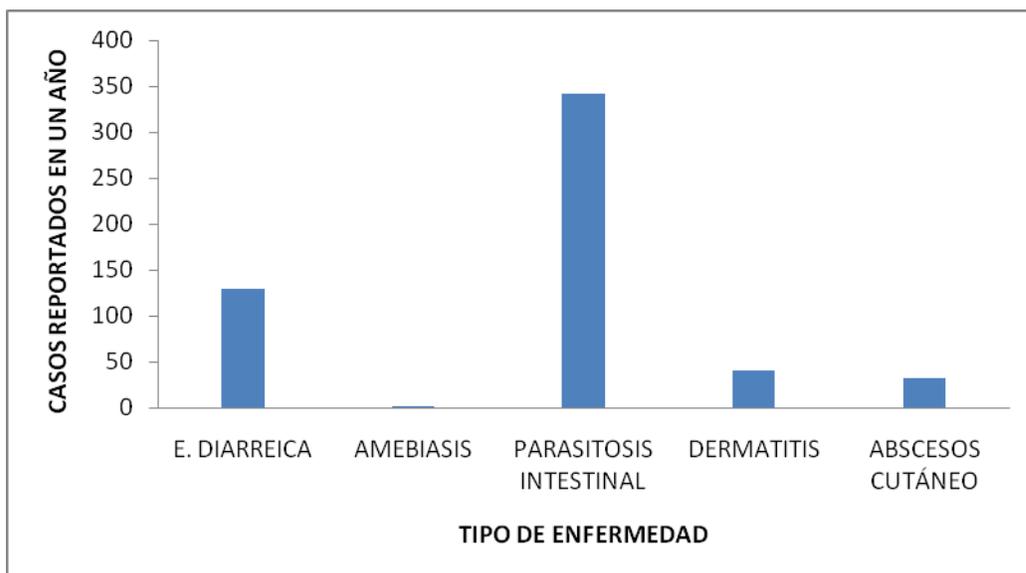


Figura 3.1: Casos de enfermedades de origen hídrico reportados en la comunidad de Fátima.

3.2.3.- Mantenimiento inadecuado de la planta de tratamiento de agua potable.

Este tipo de proceso opera de forma muy simple y esto permite que su mantenimiento y limpieza también lo sean, a pesar de ello no se puede asegurar que ésta planta realice ésta actividad adecuadamente.

Se pudo detectar que los filtros lentos de arena no eran limpiados correctamente como estaba establecido. Éste fenómeno se comprobó al determinar el contenido de sedimento que se encontraba presente en el manto de arena de dichos equipos. Al realizar diez muestreos aleatorios de éste material para ser analizados se determinó en la totalidad de los casos que el contenido de sedimento estaba entre un 20 % y un 30 %, valores que denotan suciedad del material filtrante pues de acuerdo al criterio dado por Cánepa, (1992) el contenido de sedimento en el medio filtrante nunca debe superar el 10 %. Éste resultado de cierta forma justifica que en determinados momento, sobre todo cuando se alejan los períodos de limpieza, que el agua incremente su turbidez a la salida

del proceso, además éste elevado contenido de sedimento en el medio filtrante disminuye en buena medida la actividad biológica que se puede realizar en él.

Otro de los aspectos a tener en cuenta en el mantenimiento de este tipo de planta al menos anualmente es el referido a la reposición de la capa de arena, que constituye el medio filtrante. En este caso para determinar la altura de este lecho se introdujo una varilla de acero y se determinó el espesor de la misma, obteniéndose un valor de 25 cm. Si se tiene en cuenta el criterio que existe en la literatura especializada, el lecho debe tener una altura mínima de 0,80 m. (Cánepa, 1992), el valor de 25 cm, está muy por debajo del que se establece. Esta situación en primer lugar impide el funcionamiento correcto de éstos filtros y en segundo lugar demuestra que las pérdidas de arena ocurridas durante los procesos de limpieza nunca se han reemplazado.

3.2.4. No tienen condiciones de seguridad.

Los elementos a señalar relacionados con éste aspecto se resumen en lo siguiente:

1. El acceso a la planta es libre, pues a pesar de existir una cerca perimetral, la puerta de entrada no cuenta con seguridad alguna que impida el paso a personas ajenas.
2. Los tanques donde se almacena el agua ya tratada están en la misma situación, no está protegido el acceso a su interior.

3.2.5. Uso irracional del recurso agua.

De las 60 mediciones realizadas de caudal, tanto del flujo de entrada como de salida de la planta se pudo obtener información acerca de la cantidad de agua que se rechaza en el proceso así como el volumen tratado que es consumido por la comunidad de Fátima.

Tabla 3.3: Resumen del comportamiento de los diferentes flujos del proceso.

Flujos (L/h)	Valor medio	Máximo	Mínimo	Coef. Var. (%)
Flujo de entrada	39744	57240	9252	37,772
Flujo de salida	24044,4	33120	3924	29,59
Flujo de rechazo	15699,9	31104	252	69,398

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior puede observarse que a la planta potabilizadora entran como promedio 39744 L/h de agua sin tratar pero éste flujo tiene una elevada variabilidad al presentar un coeficiente de variación de 37,772 %. Éste fenómeno influye negativamente en la estabilidad operacional del proceso y repercute en esa misma medida en los flujos de salida y de rechazo. Este planteamiento puede verificarse con mayor claridad al representar los flujos de entrada y salida al proceso en sus respectivas cartas de control.

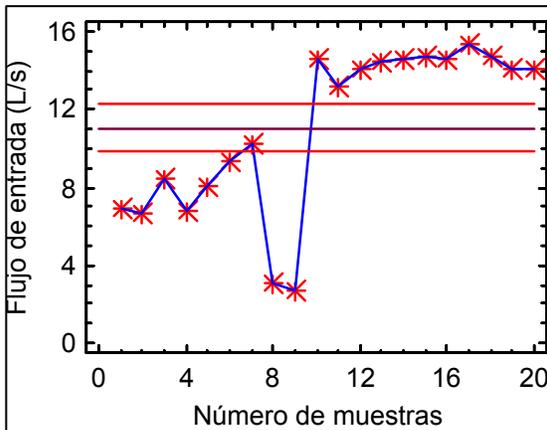


Figura 3.2: Carta de control para el flujo de agua de entrada a la planta de tratamiento

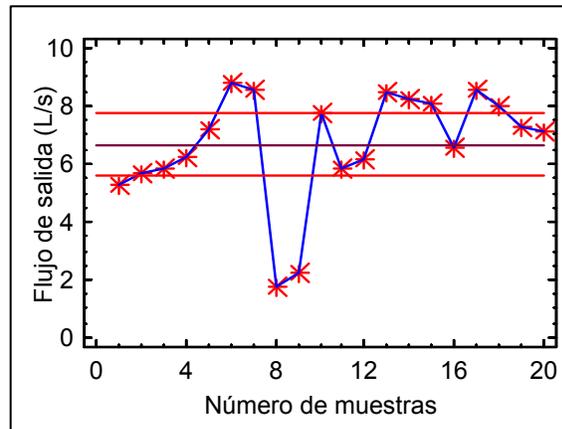


Figura 3.3: Carta de control para el flujo de agua de salida a la planta de tratamiento

Además como la planta no es capaz de procesar toda el agua que llega a la misma se rechaza un volumen considerablemente alto (15699,9 L/h). Es importante destacar que éste rechazo se realiza al final de los filtros rápidos o sea que se está rechazando un flujo de agua que ya pasó previamente por un grupo de etapas de purificación (tanque receptor, tanque de filtrado grueso, tanque sedimentador y tanques de filtrado rápido) y que no puede ser aprovechada puesto que la capacidad de los filtros lentos de arena no permiten su procesamiento. Este fenómeno provoca que se ensucien éstas primeras etapas del proceso y que además se vean disminuidas sus capacidades operacionales.

Otro aspecto muy importante a tener en cuenta en este tipo de evaluación es el que está relacionado con el consumo de agua por habitante. Al determinar éste valor para la población actual de la comunidad de Fátima asumiendo que en su totalidad consume agua de la planta potabilizadora, se pudo constatar que el consumo per cápita diario es de 570,78, si se compara este valor con los 80 L/día*persona reportados por la

OMS, (2009) como consumo normal para satisfacer las necesidades vitales e higiene personal, queda demostrado que en ésta comunidad se produce un derroche considerable del recurso agua. Si solo se considerara la población que realmente consume agua potabilizada en estos momentos, este valor ascendería a las cifra de 1547,09 L/día*persona. El uso irracional que este recurso tiene en la comunidad se comprobó por parte de la autora en las visitas que realizó a las diferentes viviendas que reciben el servicio de agua potable. El testimonio gráfico de lo planteado anteriormente puede observarse en las figuras 3.4 y 3.5 En el anexo 6 aparecen otros testimonios gráficos que dan fe de la veracidad de este planteamiento.



Figura 3.4: Uso inadecuado del recurso agua para llenar grandes tanques de reserva



Figura 3.5: Uso inadecuado del recurso agua para peceras

3.2.6 Inadecuabilidad de las operaciones que se realizan.

Este análisis se realizará por cada una de las etapas del proceso teniendo en cuenta si las mismas reúnen los requisitos para cumplir con los objetivos para los cuales fueron diseñadas.

El diseño del tanque receptor que a su vez debe servir como sedimentador no garantiza que ésta función se cumpla, puesto que la alimentación de agua sin tratar al mismo se realiza por la parte superior, exactamente por el mismo lugar donde se obtiene el líquido claro que pasa por reboso a la próxima etapa. Éste fenómeno provoca que se mezcle el agua alimentada con la que supuestamente debía haber recibido un pre tratamiento de sedimentación. Otra de las dificultades que se presentan en ésta etapa está relacionada

con la falta de un sistema de regulación de flujo que permita trabajar con flujos estables en el resto de las etapas del proceso, como consecuencia de esto en etapas posteriores tiene que ser rechazado un volumen considerable de agua que ya ha recibido parte del tratamiento del proceso.

Además en esta etapa no se adiciona ningún agente químico que facilite el proceso de sedimentación y garantice en etapas posteriores un agua con menor turbidez y que a su vez los filtros lentos de arena se ensucien menos y puedan cumplir cabalmente con el proceso biológico que deben realizar.

En cuanto al tanque de filtrado grueso su existencia no tiene razón de ser si no existe con anterioridad un adecuado proceso de sedimentación, pues de lo contrario éste pasaría a hacer las funciones de un sedimentador con la consecuente dificultad de que el proceso de limpieza se entorpecería.

El tanque sedimentador con las dimensiones para las que fue diseñado no garantiza con los flujos que se procesan en la planta que su función se cumpla. Al recalcular el área y el volumen necesario para un flujo promedio de 39744 L/h se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 3.4. Para los cálculos se utiliza la siguiente información:

- Largo del sedimentador 1,80 m.
- Ancho del sedimentador 0,80 m.
- Profundidad del sedimentador 0,80 m.
- Velocidad de sedimentación libre 0,00085 m/s.
- Flujo volumétrico 11,040 L/s.
- Tiempo de retención para lograr la sedimentación 30 min.

Tabla 3.4: Resultados obtenidos de los cálculos del área y el volumen de sedimentación real y necesaria del proceso en estudio.

Área del sedimentador (m²)		Volumen del sedimentador (m³)	
Necesario	Real	Necesario	Real
25,976	1,44	19,872	1,152

Fuente: Elaboración propia

Los resultados que aparecen en la tabla anterior expresan claramente cuál es la situación que presenta el sedimentador, tanto el área como el volumen requerido para que el proceso se verifique satisfactoriamente están muy por encima de lo que realmente posee el equipo, ésta situación indiscutiblemente incide en forma desfavorable en los procesos de remoción de sedimentos que pueda presentar el agua fenómeno que tendrá que ser salvado en etapas posteriores.

En los tanques de filtrado rápido, sobre todo en el tanque intermedio de los tres existentes, por la forma de circulación que tiene el fluido en su interior se corre el riesgo de que no sea aprovechado eficientemente todo el medio filtrante, puesto que la alimentación en él se realiza por la parte inferior al igual que la descarga.

Los filtros lentos de arena presentan un grupo de dificultades que ya fueron debatidas en parte en el acápite 3.2.3 y que se resumirán a continuación:

- Espesor por debajo de lo establecido del medio filtrante.
- Alto contenido de sedimento en el medio filtrante.
- Limpieza incorrecta del manto de arena

Otro aspecto a valorar en esta etapa fue la determinación de la velocidad de filtración, para ello se realizaron diez valoraciones de forma aleatoria para determinar este parámetro. El proceder empleado aparece en el capítulo 2 acápite 2.7

Tabla 3.5: Resultados obtenidos de las mediciones realizadas para determinar la velocidad de filtración en los filtros lentos.

Parámetro	Valor medio	Coef. Variación	Máximo	Mínimo
Velocidad de Filtración (m/h)	0,653	12,644%	0,75	0,49

Fuente: Elaboración propia

La velocidad de filtración obtenida (0,653 m/h) supera en seis veces la velocidad de filtración establecida para esta etapa que es según Cánepa, (1992) de 0,10 m/s. Velocidades de filtración tan altas como la que se obtuvo no garantizan un proceso de

filtración eficiente. Éste resultado queda perfectamente justificado a partir del hecho de que el medio filtrante (capa de arena) posee un espesor muy inferior al que se establece.

3.3.-Propuesta de un plan de acciones que permitan mejorar las condiciones de potabilización de la planta.

Tomando en cuenta todo el análisis realizado con anterioridad así como los resultados obtenidos de todo el proceso evaluativo se pasa a proponer un grupo de acciones que de ser aplicadas deben mejorar significativamente el proceso de potabilización de la planta de agua potable de Fátima. Las mismas de forma resumida son:

- Regulación del flujo de agua a tratar
- Redimensionamiento de la etapa de sedimentación
- Adición de sulfato de Aluminio para mejorar el proceso de floculación –
sedimentación.
- Mantenimiento y reposición de la arena deficitaria en los filtros lentos
- Cloración del agua tratada en la planta
- Programa de vigilancia y control de la calidad del proceso

3.3.1.- Regulación del flujo de agua a tratar

Si se desea que este proceso opere eficientemente es necesario lograr que los flujos sean estables. Para conseguir este objetivo en la planta potabilizadora de Fátima se recomienda colocar una regla graduada en el tanque receptor, que estará en función de los flujos de agua que estén pasando por el vertedero. La regla debe construirse en base a la graduación que se ofrece en la tabla 3.7, donde el 0 de la regla se hará coincidir con el nivel del vértice del vertedero y de forma ascendente se colocarán los flujos que se indican con su correspondiente altura.

Los resultados que aparecen en la tabla 3.6 fueron obtenidos utilizando la ecuación 3.1 recomendada por Romero, (2008) para estimar flujos en vertederos triangulares de 90°.

$$Q = 1,4 H^{2,5} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

Q = Caudal, m³/s

H = Cabeza sobre el vertedero, m.

Tabla 3.6: Graduación a establecer para regular los flujos

Altura del líquido en el vertedero (cm)	Flujo L/h
0	0,00
1	50,40
2	285,11
3	785,66
4	1612,80
5	2817,45
6	4444,35
7	6533,95
8	9123,37
9	12247,20
10	15937,88
11	20226,10
12	25141,06
13	30710,64
14	36961,59
15	43919,63

Fuente: Elaboración propia

Coincidiendo con los flujos deseados para operar la planta se deben colocar válvulas de rechazo que garanticen que independientemente de la presencia o no de un operador solo continúe el proceso de purificación el flujo de agua que se desee purificar.

3.3.2.- Redimensionamiento de la etapa de sedimentación

Esta propuesta consiste en lograr que la etapa de sedimentación disponga del área y el volumen necesario para garantizar que éste proceso se verifique exitosamente. En la tabla 3.4 del acápite 3.2.6 se muestra como tanto el área como el volumen de éste equipo es totalmente insuficiente para avalar el éxito del proceso. Bajo las condiciones que opera esta etapa solo se logra un tiempo de retención en la misma de 1,73 min. de 30 min. que sería el tiempo necesario para que se verifique el proceso adecuadamente.

Por esta razón se propone en primer lugar disminuir el flujo de agua a tratar a los requerimientos reales que imponen las organizaciones internacionales para el consumo de agua potable por habitante.

Si se logra restringir el consumo de agua en la comunidad a 160 L/persona*día (valor que duplica el establecido por la OMS, (2009) y a partir de este se calcula el flujo necesario para satisfacer las necesidades de una población de 1011 habitantes (este valor se estima a partir de los datos del censo del 2001 y con un crecimiento poblacional de un 4% anual) se puede decir para estas condiciones que la planta necesitará procesar solamente 6740,8 L/h. Si esto se logra se dejarían de procesar un total 33004 L/h innecesariamente.

Si se une a la propuesta de reducir los flujos de agua a procesar, un redimensionamiento del filtro grueso y del tanque sedimentador que permita convertir ambas etapas en una sola y que haga en conjunto la función de sedimentador que tendría las siguientes dimensiones: largo 4,20m, ancho 1,80m y profundidad 2m. Bajo éstas nuevas condiciones se lograrían los resultados que se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7: Resultados obtenidos de los cálculos del área y el volumen de sedimentación real y necesaria del proceso para las nuevas condiciones propuestas.

Área del sedimentador (m2)		Volumen del sedimentador (m3)	
Necesario	Real	Necesario	Real
4,405	7,56	3,370	15,12

Fuente: Elaboración propia

Obsérvese que para estas nuevas condiciones tanto el área como el volumen necesario del sedimentador para un tiempo de retención de 30 min. superan con creces la que realmente se necesita para que el proceso se verifique satisfactoriamente. Debe destacarse que el costo para lograr esta adecuación sería mínimo pues con el simple hecho de eliminar una pared que une a ambos equipos quedaría resuelto el problema.

Además debe destacarse que estas nuevas condiciones de diseño permitirían procesar flujos de agua que pudieran llegar hasta 11566,8 L/h, valor muy superior a los que se han analizado para las nuevas condiciones, pues los nuevos valores de área y volumen así lo permiten.

Las nuevas condiciones de diseño están aptas para asimilar un crecimiento poblacional de hasta 1735 habitantes con una tasa de consumo de agua de 160 L/persona*día.

3.3.3. Adición de sulfato de Aluminio para mejorar el proceso floculación – sedimentación.

Como una medida para reforzar el proceso de sedimentación y lograr reducir en esta etapa los niveles de turbidez en el agua se valora la posibilidad de añadir un agente químico que favorezca la floculación y mejore el proceso como tal.

Por lo anteriormente planteado se decide realizar a escala de laboratorio un grupo de ensayos que permitan determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio que debe ser añadida al proceso para mejorar la sedimentación.

El experimento consiste en un proceso de sedimentación en probeta donde se añaden diferentes concentraciones de sulfato de aluminio a muestras tomadas del agua que entra a la planta de tratamiento. Las concentraciones utilizadas son: 0, 1, 2, 3, 4 y 5 mg/L y se sigue el proceder descrito en acápite 2.8 del capítulo 2 de este trabajo. El resultado obtenido en una de las corridas experimentales se ofrece en la figura 3.6, los correspondientes a las otras dos realizadas para dar veracidad al experimento se encuentran en el anexo 7.

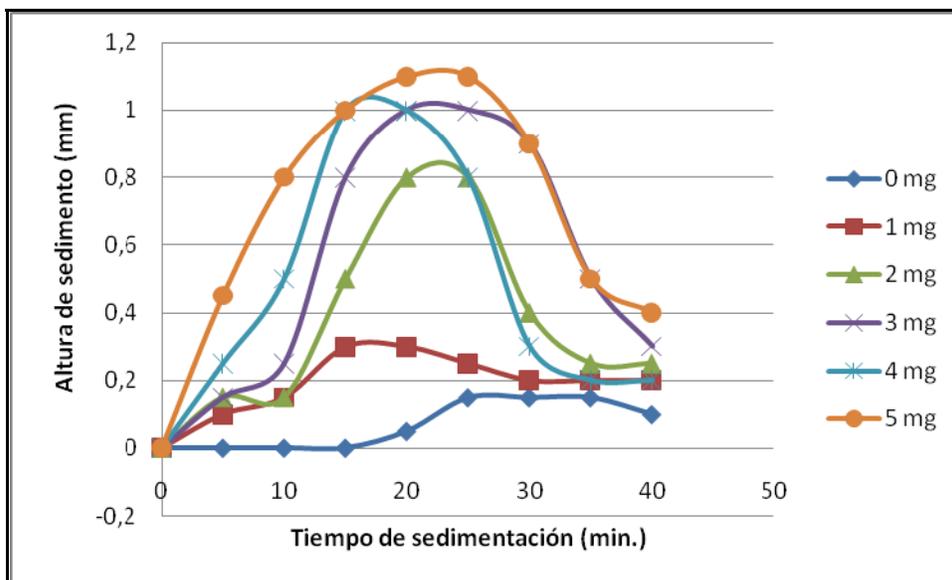


Figura 3.6: Curvas de sedimentación para diferentes dosis de sulfato de aluminio.

Las curvas que aparecen en la figura anterior representan el proceso de sedimentación para las diferentes concentraciones. En primera instancia se puede observar que para

todas las concentraciones utilizadas inclusive para la variante donde no se utiliza sulfato de aluminio el proceso de formación o crecimiento de la capa de sedimento concluye a las 30 minutos, a partir de este tiempo como se puede apreciar comienza un proceso de compactación del sedimento obtenido. Este resultado fue muy valioso a la hora de determinar las dimensiones necesarias del proceso de sedimentación real.

Además en la figura anterior se puede observar que en la medida que se incrementan las concentraciones de sulfato de aluminio se logran los mejores resultados de sedimentación, aunque para concentraciones de 3, 4 y 5 mg/L de sulfato de aluminio se obtienen resultados muy similares de éste análisis se puede inferir que si añadimos concentraciones de este químico por encima de 3 mg/L no se obtendrán mejoras significativas en el proceso de sedimentación que sean justificadas económicamente.

De estos resultados se puede inferir entonces que de añadir esta sustancia en el proceso real la concentración óptima a añadir sería de 3 mg de sulfato de aluminio por cada litro de agua que se procese.

Si se tiene en cuenta que el precio unitario en estos momentos del sulfato de aluminio es de 0,35 \$/Kg. y que el flujo de agua recomendado a procesar es de 6740,8 L/h y suponiendo que la planta trabaje ininterrumpidamente los 365 días del año, los costos de operación del proceso por este concepto se incrementarían en 62,18 \$/año.

Además de estos resultados debe agregarse que en estudios realizados por Castro, (2004) obtuvo que en el proceso de coagulación- adsorción usando sales de aluminio, demostró que es el método de tratamiento más documentado tanto para la remoción de arsénico, como de los compuestos disueltos y suspendidos del agua, (arsénico, turbiedad, hierro, manganeso, fosfato y flúor). Con este método también se pueden obtener reducciones significantes de olor y color.

Este compuesto debe ser añadido preferentemente en un flujo del proceso con la mayor turbulencia posible para garantizar el mezclado adecuado, por lo tanto el lugar más recomendado para ser añadido es en los flujos de alimentación en el tanque receptor.

3.3.4. Mantenimiento y reposición de la arena deficitaria en los filtros lentos

Un proceso clave en esta planta lo constituye la etapa de filtración lenta por el doble objetivo que la misma tiene: remover impurezas y desarrollar una actividad biológica que garantice la remoción de materia orgánica y de agentes patógenos. Pero para lograr estos objetivos es imprescindible que el medio filtrante (capa de arena) se encuentre limpio y posea el espesor establecido. Como ya se demostró en análisis anteriores en este caso la capa de arena tiene un espesor solamente de 25 cm y no se realiza adecuadamente el sistema de limpieza. Por ésta razón se ofrecerán a continuación un grupo de elementos que permitirán realizar de forma adecuada la limpieza y la reposición de la capa de arena como medio filtrante.

3.3.4.1.- Limpieza del lecho filtrante de arena.

Se puede efectuar por el método del raspado, el más utilizado hasta el presente en filtros de nivel constante en el sobrenadante y el método de rastrillado de la superficie colmatada en donde se formó la capa biológica, aplicado generalmente en filtros lentos.

Para aplicar el método del raspado se tiene normalmente las siguientes tareas secuenciales:

- Extraer el material flotante del sobrenadante.
- Cerrar el ingreso de agua cruda y dejar filtrar con velocidad declinante, hasta que el nivel líquido descienda unos centímetros debajo de la superficie del lecho de arena.
- Raspar entre 1 y 3 cm la capa superficial del lecho y retirar fuera del filtro la arena removida. Se aconseja desarrollar esta tarea en las primeras horas o en las últimas del día, estimándose que un operario tarda, en promedio, una hora para limpiar entre 15 y 20 m² de filtro. El retiro del material extraído con palas anchas se realiza manualmente por medio de baldes y dentro de la unidad (el personal debe ponerse botas especiales).

El método del rastrillado consiste en romper y remover la capa biológica superficial colmatada. Esa operación se le puede realizar con un rastrillo especial provisto de un mango compatible con las dimensiones de la caja filtrante.

Se recomienda las siguientes etapas secuenciales:

- Se cierra el ingreso de agua cruda en la unidad a limpiar.
- Se deja filtrar con velocidad decreciente el líquido del sobrenadante, que tiene nivel máximo al final de la carrera.
- Se aplica el rastrillado con la herramienta especial, en la operación denominada “húmeda”.
- Se hace pasar agua limpia en forma ascensional por el manto de grava y arena. En consecuencia se produce el arrastre de las partículas removidas en la etapa húmeda hacia la superficie y posteriormente hacia la cámara colectora.
- La etapa “seca” comienza cerrando esa válvula o compuerta de “intercomunicación” y la de bloqueo de la descarga. Al mismo tiempo se abre la válvula de agua filtrada para permitir que el nivel líquido dentro de la unidad descienda 0,40 m debajo de la superficie de arena.
- Se procede al rastrillado y nivelación de la capa seca de la superficie del lecho de arena.
- Se vuelve a abrir esa válvula o compuerta de intercomunicación y la correspondiente a la cámara de descarga, con el fin de tener de nuevo ese flujo ascendente y la descarga del agua sucia hacia el exterior, hasta tener agua limpia.

3.3.4.2.- Rearenado o reconstrucción del lecho filtrante

Esta operación se realiza en las unidades luego de que las sucesivas extracciones de arena superficial, colmatada luego de cada carrera, reduzca la altura del lecho hasta un valor mínimo que normalmente es de 0,80 m sobre la grava soporte. También se realiza el rearenado en el método del rastrillado cuando haya que extraer el manto colmatado luego de un período más prolongado, de igual manera que en el raspado.

La operación consiste en colocar arena nueva o lavada en lugar de esa capa vieja remanente, la que a su vez pasa a ser la capa superior mediante una serie de movimientos de ambos materiales. La finalidad es que esa última capa al ser superficial, contiene organismos y elementos necesarios para una rápida maduración, lo que no ocurriría con la arena nueva.

Una vez obtenida la altura del lecho requerida, la capa vieja arriba y la nueva abajo, se nivela la superficie y se pone en operación el filtro, de igual forma que en la puesta en marcha de la unidad, pero normalmente con menor período de maduración debido a los

microorganismos de la capa vieja. En el anexo 8 se muestra de forma gráfica la secuencia y forma en que se debe producir el proceso de rearenado.

3.3.5.- Cloración del agua tratada en la planta.

El agua siendo una necesidad absoluta para la vida, debe tener una calidad apropiada al utilizarse para beber o preparar comidas, por lo que tiene que estar libre de cualquier organismo que pueda causar enfermedades o efectos fisiológicos adversos.

Respecto a los resultados que se obtienen del análisis del agua en el acápite 3.2.1 del presente capítulo, se detecta la posible existencia de coliformes totales y fecales, consecuencia obvia si se tiene en cuenta que en la planta de agua potable no se realiza el proceso de cloración, a pesar de que ésta cuenta con las condiciones necesarias para realizar el proceso de desinfección con cloro gas.

Por esta razón se recomienda que se efectúe el proceso de desinfección con cloro gas tal y como está instalado en la planta y así eliminar los agentes patógenos que puedan causar daños a la salud.

3.3.6.- Programa de vigilancia y control de la calidad del proceso

El programa de control y vigilancia se establecerá con lo siguiente:

- Las muestras para análisis físico – químico se tomará como mínimo 4 veces a año.
- Cuando se reconozca que en la fuente hay algún tipo de contaminación, las muestras deben tomarse mensualmente o cuantas veces se estime necesario por las autoridades de salud pública.
- Las muestras para el análisis bacteriológico se recogerán siempre en cada punto de entrada al sistema, de tuberías y en puntos fijos de la red de distribución, de modo que sean representativos de la calidad bacteriológica del agua en el sistema.
- El número de muestras y la periodicidad de ellas para el análisis bacteriológico dependerá de las características que presente el agua y de lo que estime el ministerio de salud pública.

CONCLUSIONES

Una vez finalizado todo el análisis y discusión de los resultados de la investigación, se arriba a las siguientes conclusiones generales:

1. La evaluación de la planta de tratamiento de agua potable que es consumida por la población de Fátima, permitió proponer acciones que mejorarán su calidad, lo que corrobora la hipótesis planteada.
2. La caracterización físico-química y bacteriológica del agua potabilizada permitió conocer que bajo las condiciones que se obtiene en la actualidad no está apta para el consumo.
3. El proceso de encuestado permitió conocer que el 63,3% de la población de la comunidad de Fátima desconoce la calidad del agua que beben y que las enfermedades que más predominan en la comunidad son las de origen hídrico.
4. Del proceso de evaluación se pudo determinar que: el tanque receptor y la etapa de sedimentación no cumplen con los requerimientos de diseño que garantice la efectividad de la misma, el contenido de sedimento en los filtros lentos no es removido adecuadamente, el reemplazo de la arena en éstos no se ha efectuado, los flujos no son regulados y no se realiza desinfección biológica en el proceso.
5. La implementación de las acciones recomendadas en éste trabajo permitirá consumir en la comunidad de Fátima un agua potable de alta calidad.

RECOMENDACIONES

1. Dar seguimiento a las acciones recomendadas en esta tesis y monitorear los beneficios que las mismas pueden generar en la calidad del agua potable de la comunidad de Fátima.
2. Establecer un sistema de monitoreo que permita controlar de forma estable la calidad del agua que se consume en la comunidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arango, J (2003). Evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de salmonella en aguas servidas domésticas. Chile.
2. Asano, T. and Levine, D. (1998). "Wastewater reclamation, recycling and reuse: an introduction. In wastewater reclamation and reuse". Takashi Asano (editor), Technomic Publishing. Lancaster.
3. AWWA, (2007). Pre-Treatment Field Guide: American Water Works Association. Cover design, book layout & production. [on line] [Consultado, enero 2009]. Disponible en. www.melanieschiff.com/books.html.
4. Barraque Ch et. al., (1979). Manual técnico del agua. Editorial. Degremont. Argentina.
5. Calderón, C (2002). Institut Municipal de Salut Pública. Ajuntament de Barcelona. Actualmente en Pfizer Global Research & Development. España.
6. Cánepa, L (1992). Filtros de Arena en acueductos rurales. Lima. Perú. [on line] [Consultado, enero 2009]. Disponible en. www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo5.pdf
7. Capadocia R. y Díaz C, (2000). Determinación de la absorvancia UV en aguas potables de la provincia Huesca. Relación con la oxidabilidad y la DQO. Zaragoza.
8. Castro, M (2004). Tercer Seminario Internacional Sobre Evaluación de Manejo de las fuentes de Agua de Bebida Contaminadas por Arsénico. Remoción del agua arsénico en el agua de bebida y biorremediación de suelos. Santiago de Chile. Chile.
9. Delgadillo y Ramírez, (2007). Agua Purificada Bonatura. [on line] [Consultado, enero 2009]. Disponible en. www.bonatura.com/.htm
10. Donaires, T (2000). Recurso hídrico, desde una perspectiva sostenible, calidad de agua. UNA. Puno, Perú.
11. Echarri, J (1998). Ciencias de la tierra y del medio ambiente. Contaminación del agua Barcelona : Editorial Teide, S.A.
12. Environment Agency, (2003). Calidad del agua potable para consumo. Reino Unido.
13. Evans, P (1992). Paying the piper: an overview of community financing of water and sanitation. Delft, Países Bajos. IRC International Water and Sanitation Centre.

14. Excel Water Technologie. (2005). Desinfección por Ultravioleta. [on line] [Consultado, diciembre 2008]. Disponible en. <http://www.excelwater.com/spa/b2c/uvprocess.php>
15. FAO, (2002). El agua fuente de seguridad Alimentaria. Roma.
16. Galvis, A y Vargas, V (1998). Modelo de Selección de Tecnología en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano. Colombia. [on line] [Consultado, diciembre 2008]. Disponible en. www.cepis.org.pe/bvsacd/congreso/modsel.pdf
17. GHEF, (2008). Global Health and Education Foundation. [on line] [Consultado, diciembre 2008]. Disponible en. www.ghefoundation.org/
18. Gómez, A (2004). Contaminación del Agua. [on line] [consultado diciembre 2008]. Disponible en. http://eureka.ya.com/ecositio/cont_agua.htm
19. Hernández, A (2001). Depuración y desinfección de aguas residuales. Colegio de Ingeniería de Caminos, canales y puertos. 1151p. Madrid.
20. INEC, (2001). Censo Población y Vivienda.[on line] [Consultado, mayo 2009]. Disponible en. www.inec.gov.ec
21. Jaramillo, V (2006). Prevención y Control de la Contaminación del Agua. Medio Ambiente. IWEG. Ecuador.
22. Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspección LAB-CESTTA. ESPOCH. Riobamba. Ecuador.
23. Ledesma, O (2004). Pastaza una provincia que apasiona. Pastaza. Ecuador
24. Lockwood, H (2002). Rural water supply sanitation and Environmental Health Project. USAID. Estados Unidos. Washington.
25. Logroño, (2008). Guía para mantener las condiciones óptimas de agua para el consumo humano. [on line] [Consultado, diciembre 2008]. Disponible en. <http://www.europapress.es/la-rioja/noticia-salud-edita-guia-mantener-condiciones-optimas-agua-consumo-humano-20081127123516.html>
26. Lomazz, J. .s/a). Aguas Argentinas. Informe del Foro Mundial del Agua. Degramont.
27. López, A (2000). Estudios para agua potable y alcantarillado del municipio de Acapulco. México.
28. Microsoft Excel, (2007). Microsoft Office Excel. Versión 2007.
29. Ministerio de Salud Pública. Área de Salud N° 1 Subcentro de Salud de Fátima. Datos de enfermedades reportados en el año 2008. Pastaza.

30. Molina, J (2007). Importancia del agua para la sociedad. Agroforestería en el Trópico. Nireblo.
31. Morea, L (2005). Contaminación del Agua. [on line] [Consultado, diciembre 2008]. Disponible en. <http://www.contamaqua/contamaqua.shtml>.
32. Moudgil, M (1996). Flocculation, Sedimentation & Consolidation. Chile
33. Muñoz, L (2006). Enorme importancia de la calidad de agua en la salud. Discovery Dsalud. [on line] [Consultado, enero 2009]. Disponible en. www.dsalud.com/agua.htm.
34. NTE INEN, (1996). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana, 1108 Agua Potable. Ecuador.
35. OMS, (1996). Directrices para la calidad de agua potable. Génova.
36. OMS, (2004). Parámetros de calidad de agua para el consumo humano.
37. OMS, (2004). La desinfección del agua. Oficina Regional Europea. Ginebra.
38. OMS (2009). Litros de agua que necesita cada persona. [on line] [Consultado abril,2009]. Disponible en. www.milenio.com/node/8516698
39. OPS, (1996). Organización Panamericana de la Salud. Calidad del agua tratable en América Latina. Washington: ILSI Press.
40. Oppenheimer. (1996). Depuración y desinfección de aguas residuales. Madrid.
41. Penschaszadeh, P. (2000). Ecología del ambiente marino costero de Punta Morón (Termoeléctrica Planta Centro, Venezuela) Fase II Univ. Simón Bolívar, INTECMAR, Caracas, 464 pág.
42. Pérez, L (2005). Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Área de hidráulica. Teoría de la sedimentación. Paraguay.
43. Perez, P.,et. Al., 1996. Guías para la evaluación de plantas de tratamiento de agua residual para el medio rural. México.
44. Powered y Generated, (2008). Higiene Ambiental. [on line] [Consultado diciembre, 2008]. Disponible en. www.higieneambiental.com/index2.php?option=com_content&do_pdf.
45. Rheinheimer, G. (1987). Microbiología de las Aguas. Primera Edición. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza – España.
46. Rodríguez y Molina (2004). Laboratorio de Materiales Avanzados. Departamento de Química Inorgánica. Universidad de Alicante. Colectivo de autores. E-03080 Alicante. España.

47. Romero, J (2008). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Ed. Escuela Colombiana de Ingenierías. Colombia.
48. Romero, M. (2008). Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua. Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Landívar. Boletín electrónico No. 8, abril 2008. [on line][Consultado diciembre, 2008]. Disponible en. http://ingenieria.url.edu.gt/boletin/URL_08_ING02.pdf
49. Sánchez, N (1997). Enfermedades de transmisión hídrica. La Habana. Cuba
50. Sonntang y Schuchmann (1992). Depuración y desinfección de aguas residuales. Colegio de Ingeniería de Caminos, canales y puertos. 1151p. Madrid.
51. SPSS Statistics, (2008). SPSS Statistics Plus 17.0.0 Versión 17.0.
52. Statgraphic, (2004). Statics Graphic Corporation. Versión 5.0
53. Torres, V(s/a). Contaminantes del agua. Química Ambiental. [on line] [Consultado junio, 2009]. Disponible en: http://www.pucpr.edu/facultad/itorres/química_ambiental/contaminantes_del_agua2.pdf.
54. Troya, V. et. Al, (2008). Agua para la vida. Aportes de mejores prácticas en manejo de agua y biodiversidad. Documento de trabajo. Proyecto fortalecimiento de capacidades locales para la sustentabilidad en el manejo de agua y biodiversidad en Ecuador y Bolivia. UICN, Oficina Regional para América del Sur.
55. Valencia, A, etal (1998), Community makes decisions on sanitation projects. En Memorias de la 24ava WEDC Conferencia: Sanitation and water for all . Islamabad, Pakistan.
56. Velasco y Molina, (1991). Las zonas áridas y semiáridas, sus características y manejo. Editorial Limusa, primera edición, ISBN: 968-18-3402-X. 1991
57. Veolia Environnement, (2006) Tratamiento de agua. Tecnologías .Decantación. [on line] [Consultado, diciembre 2008]. Disponible en. www.globe.veoliaenvironnement.com/globe/es/medio-ambiente/desarrollo-sostenible/agua/tratamiento-agua.aspx
58. Witt, V. y Reiff, F (1993). Desinfección del Agua a Nivel Casero en Zonas Urbanas Marginales y Rurales. Washington, D.C.

ANEXOS

Anexo 1: Directrices de la OMS para la calidad del agua potable

Tabla 1.a: Elementos que contaminan el agua

Elemento/ sustancia	Símbolo/ fórmula	Valores normales en aguas dulces/superficiales/subterráneas	Directriz de la OMS basada en la salud
Aluminio	Al		0,2 mg/l
Amonio	NH ₄	< 0,2 mg/l (hasta 0,3 mg/l en aguas anaeróbicas)	No hay directriz
Antimonio	Sb	< 4 µg/l	0.005 mg/l
Arsénico	As		0,01 mg/l
Asbestos			No hay directriz
Bario	Ba		0,3 mg/l
Berilio	Be	< 1 µg/l	No hay directriz
Boro	B	< 1 mg/l	0,3 mg/l
Cadmio	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Cloro	Cl		250 mg/l
Cromo	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	0,05 mg/l
Color			No se menciona
Cobre	Cu		2 mg/l
Cianuro	CN ⁻		0,07 mg/l
Oxígeno disuelto	O ₂		No hay directriz
Fluor	F	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureza	mg/l CaCO ₃		No hay directriz
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S		No hay directriz
Hierro	Fe	0,5 - 50 mg/l	No hay directriz
Plomo	Pb		0,01 mg/l
Manganeso	Mn		0,5 mg/l
Mercurio	Hg	< 0,5 µg/l	0,001 mg/l
Molibdeno	Mo	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Níquel	Ni	< 0,02 mg/l	0,02 mg/l
Nitratos y nitritos	NO ₃ , NO ₂		50 mg/l nitrógeno total
Turbidez			No se menciona
pH			No hay directriz
Selenio	Se	< < 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Plata	Ag	5 – 50 µg/l	No hay directriz
Sodio	Na	< 20 mg/l	200 mg/l
Sulfato	SO ₄		500 mg/l
Estaño inorgánico	Sn		No hay directriz
SDT			No hay directriz
Uranio	U		1,4 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l

Fuente: OMS, 1993.

Anexo 1: Continuación

Tabla 1.b: Compuestos orgánicos

Grupo	Sustancia	Fórmula	Directriz de la OMS basada en la salud	
Alcanos clorinados	Tetracloruro de carbono	$C Cl_4$	2 µg/l	
	Diclorometano	$C H_2 Cl_2$	20 µg/l	
	1,1-Dicloroetano	$C_2 H_4 Cl_2$	No hay directriz	
	1,2-Dicloroetano	$Cl CH_2 CH_2 Cl$	30 µg/l	
	1,1,1-Tricloroetano	$CH_3 C Cl_3$	2000 µg/l	
Etenos clorinados	1,1-Dicloroetano	$C_2 H_2 Cl_2$	30 µg/l	
	1,2-Dicloroetano	$C_2 H_2 Cl_2$	50 µg/l	
	Tricloroetano	$C_2 H Cl_3$	70 µg/l	
	Tetracloroetano	$C_2 Cl_4$	40 µg/l	
Hidrocarburos aromáticos	Benceno	$C_6 H_6$	10 µg/l	
	Tolueno	$C_7 H_8$	700 µg/l	
	Xilenos	$C_8 H_{10}$	500 µg/l	
	Etilbenceno	$C_8 H_{10}$	300 µg/l	
	Estireno	$C_8 H_8$	20 µg/l	
	Hidrocarburos Aromáticos (PAHs) Polinucleares	$C_2 H_3 N_1 O_5 P_{1-3}$	0.7 µg/l	
Bencenos clorinados	Monoclorobenceno (MCB)	$C_6 H_5 Cl$	300 µg/l	
	Diclorobencenos (DCBs)	1,2-Diclorobenceno (1,2-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	1000 µg/l
		1,3-Diclorobenceno (1,3-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	No hay directriz
		1,4-Diclorobenceno (1,4-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	300 µg/l
	Triclorobencenos (TCBs)	$C_6 H_3 Cl_3$	20 µg/l	
Constituyentes orgánicos misceláneos	Di(2-etilhexil)adipato (DEHA)	$C_{22} H_{42} O_4$	80 µg/l	
	Di(2-etilhexil)phtalato (DEHP)	$C_{24} H_{38} O_4$	8 µg/l	
	Acrilamida	$C_3 H_5 N O$	0.5 µg/l	
	Epiclorohidrin (ECH)	$C_3 H_5 Cl O$	0.4 µg/l	
	Hexaclorobutadieno (HCBd)	$C_4 Cl_6$	0.6 µg/l	
	Ácido etilendiamintetraacético (EDTA)	$C_{10} H_{12} N_2 O_8$	200 µg/l	
	Ácido nitrilotriacético (NTA)	$N(CH_2COOH)_3$	200 µg/l	
	Organo-estaños	Dialkil estaños	$R_2 Sn X_2$	No hay directriz
		Tributil óxido (TBTO)	$C_{24} H_{54} O Sn_2$	2 µg/l

Fuente: OMS, 1993.

Anexo 1: Continuación

Tabla 1.c: Pesticidas

Sustancia	Fórmula	Directriz de la OMS basada en la salud	
Alacloro	$C_{14}H_{20}ClNO_2$	20 µg/l	
Aldicarb	$C_7H_{14}N_2O_4S$	10 µg/l	
Aldrín y dieldrín	$C_{12}H_8Cl_6$ $C_{12}H_8Cl_6O$	0.03 µg/l	
Atracina	$C_8H_{14}ClN_5$	2 µg/l	
Bentazona	$C_{10}H_{12}N_2O_3S$	30 µg/l	
Carbofurano	$C_{12}H_{15}NO_3$	5 µg/l	
Clordano	$C_{10}H_6Cl_8$	0.2 µg/l	
Clorotolurón	$C_{10}H_{13}ClN_2O$	30 µg/l	
DDT	$C_{14}H_9Cl_5$	2 µg/l	
1,2-Dibromo-3-cloropropano	$C_3H_5Br_2Cl$	1 µg/l	
Ácido 2,4-Diclorophenoxiacético (2,4-D)	$C_8H_6Cl_2O_3$	30 µg/l	
1,2-Dicloropropano	$C_3H_6Cl_2$	No hay directriz	
1,3-Dicloropropano	$C_3H_6Cl_2$	20 µg/l	
1,3-Dicloropropeno	$CH_3CHClCH_2Cl$	No hay directriz	
Dibromuro de etileno (EDB)	$BrCH_2CH_2Br$	No hay directriz	
Heptacloro y epóxido de heptacloro	$C_{10}H_5Cl_7$	0.03 µg/l	
Hexaclorobenzeno (HCB)	$C_{10}H_5Cl_7O$	1 µg/l	
Isoproturón	$C_{12}H_{18}N_2O$	9 µg/l	
Lindano	$C_6H_6Cl_6$	2 µg/l	
MCPA	$C_9H_9ClO_3$	2 µg/l	
Metoxicloro	$(C_6H_4OCH_3)_2CHCl_3$	20 µg/l	
Metolacloro	$C_{15}H_{22}ClNO_2$	10 µg/l	
Molinato	$C_9H_{17}NOS$	6 µg/l	
Pendimetalín	$C_{13}H_{19}O_4N_3$	20 µg/l	
Pentaclorofenol (PCP)	C_6HCl_5O	9 µg/l	
Permetrin	$C_{21}H_{20}Cl_2O_3$	20 µg/l	
Propanil	$C_9H_9Cl_2NO$	20 µg/l	
Piridato	$C_{19}H_{23}ClN_2O_2S$	100 µg/l	
Simacina	$C_7H_{12}ClN_5$	2 µg/l	
Trifluralín	$C_{13}H_{16}F_3N_3O_4$	20 µg/l	
Clorofenoxi herbicidas (excluyendo 2,4-D and MCPA)	2,4-DB	$C_{10}H_{10}Cl_2O_3$	90 µg/l
	Diclorprop	$C_9H_8Cl_2O_3$	100 µg/l
	Fenoprop	$C_9H_7Cl_3O_3$	9 µg/l
	MCPB	$C_{11}H_{13}ClO_3$	No hay directriz

Fuente: OMS, 1993.

Anexo 1: Continuación

Tabla 1.d: Desinfectantes y subproductos de desinfectantes

Grupo	Sustancia	Fórmula	Directriz de la OMS basada en la salud	
Desinfectantes	Cloraminas	$NH_nCl^{(3-n)}$, where $n = 0, 1$ or 2	3 mg/l	
	Cloro	Cl_2	5 mg/l	
	Dióxido de cloro	ClO_2	No hay directriz	
	Yodo	I_2	No hay directriz	
Subproductos de desinfectantes	Bromato	$Br O_3^-$	25 µg/l	
	Clorato	$Cl O_3^-$	No hay directriz	
	Clorito	$Cl O_2^-$	200 µg/l	
	Clorofenoles	2-Clorofenol (2-CP)	$C_6 H_5 Cl O$	No hay directriz
		2,4-Diclorofenol (2,4-DCP)	$C_6 H_4 Cl_2 O$	No hay directriz
		2,4,6-Triclorofenol (2,4,6-TCP)	$C_6 H_3 Cl_3 O$	200 µg/l
	Formaldehido	HCHO	900 µg/l	
	MX (3-Cloro-4-diclorometil-5-hidroxi-2(5H)-furanona)	$C_5 H_3 Cl_3 O_3$	No hay directriz	
	Trihalometanos	Bromoformo	$C H Br_3$	100 µg/l
		Dibromoclorometano	$CH Br_2 Cl$	100 µg/l
		Bromodiclorometano	$CH Br Cl_2$	60 µg/l
		Cloroformo	$CH Cl_3$	200 µg/l
	Ácidos clorinados acéticos	Ácido monocloroacético	$C_2 H_3 Cl O_2$	No hay directriz
		Ácido dicloroacético	$C_2 H_2 Cl_2 O_2$	50 µg/l
		Ácido tricloroacético	$C_2 H Cl_3 O_2$	100 µg/l
	Hidrato clórico (tricloroacetaldehido)	$C Cl_3 CH(OH)_2$	10 µg/l	
	Cloroacetonas	$C_3 H_5 O Cl$	No hay directriz	
Acetonitrilos halogenados	Dicloroacetonitrilo	$C_2 H Cl_2 N$	90 µg/l	
	Dibromoacetonitrilo	$C_2 H Br_2 N$	100 µg/l	
	Bromocloroacetonitrilo	$CH Cl_2 CN$	No hay directriz	
	Tricloroacetonitrilo	$C_2 Cl_3 N$	1 µg/l	
Cianuro de cloro	$Cl CN$	70 µg/l		
Cloropicrina	$C Cl_3 NO_2$	No hay directriz		

Fuente: OMS, 1993.

Anexo 2: Parámetros de calidad de agua para el consumo de la INEN

Tabla 2.a: Características físicas

PARÁMETRO	UNIDAD	Límite Máximo Permisible
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor		no objetable
Sabor		no objetable
pH		6,5 – 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1000
Coliformes Totales		nmp/100ml
Coliformes fecales		nmp/100ml
DBO	DBO	

Fuente: NTE INEN, (1983)

Anexo 2: Continuación*Tabla 2.b: Compuestos inorgánicos*

PARÁMETRO	UNIDAD	Límite Máximo Permisible
Manganeso Mn	mg/l	0,1
Hierro Fe	mg/l	0,3
Sulfatos SO ₄	mg/l	200
Cloruros Cl	mg/l	250
Nitratos N-NO ₃	mg/l	10
Nitritos N-NO ₂	mg/l	0,0
Dureza total, CaCO ₃	mg/l	300
Arsénico, As	mg/l	0,01
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cromo, Cr hexavalente	mg/l	0,05
Cobre, Cu	mg/l	1,0
Cianuros, CN	mg/l	0,0
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Mercurio, Hg	mg/l	0,0
Selenio, Se	mg/l	0,01
Cloro libre residual	mg/l	0,3 – 1,5
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, (N- NH ₃)	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,005
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,3
Cobalto, Co	mg/l	0,20
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Fósforo, (P- PO ₄)	mg/l	0,1
Litio, Li	mg/l	0,2
Molibdeno, Mo	mg/l	0,07
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Plata, Ag	mg/l	0,13
Potasio, K	mg/l	20
Sodio, Na	mg/l	200
Vanadio, V	mg/l	6
Zinc, Zn	mg/l	3
Flúor, F	mg/l	1,5

Fuente: NTE INEN, (1983).

Anexo 2: Continuación*Tabla 2.c: Compuestos radiactivos*

PARÁMETRO	UNIDAD	Límite Máximo Permisible
Radiactivo Total alfa	Bq/l	0,1
Radiactivo Total beta	Bq/l	1,0

Fuente: NTE INEN, (1983).

Tabla 2.d: Compuestos orgánicos

PARÁMETRO	UNIDAD	Límite Máximo Permisible
Tensoactivos ABS (MBAS)	mg/l	0,0
Fenoles	mg/l	0,0

Fuente: NTE INEN, (1983).

Anexo 2: Continuación*Tabla 2.e: Sustancias orgánicas*

PARÁMETRO	UNIDAD	Límite Máximo
		Permisible
Alcanos Clorinados	Unidades	L. máximo
Tetracloruro de carbono	pg/l	2
Diclorometano	pg/l	20
1,2dicloroetano	pg/l	30
1,1,1-tricloroetano	pg/l	2000
Etanos Clorinados		
Cloruro de vinilo	pg/l	5
1,1dicloroetano	pg/l	30
tricloroetano	pg/l	70
Tetracloroetano	pg/l	40
Hidrocarburos aromáticos		
Benceno	pg/l	10
Tolueno	pg/l	170
Xileno	pg/l	500
Etilbenceno	pg/l	200
Estireno	pg/l	20
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	pg/l	0,3
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)		
Benzo (a) pireno	pg/l	0,01
Benzo (a) fluoranteno	pg/l	0,03
Benzo (k) fluoranteno	pg/l	0,03
Benzo (g) pirileno	pg/l	0,03
Indeno (1,2,3-cd)pireno	pg/l	0,03
Bencenos Clorinados		
Monoclorobenceno	pg/l	300
1,2-diclorobenceno	pg/l	1000
1,3- diclorobenceno	pg/l	
1,4- diclorobenceno	pg/l	300
Triclorobenceno (total)	pg/l	20
Di(2-etilhexil) adipato	pg/l	80
Di(2-etilhexil) ftalato	pg/l	8
Acrylamina	pg/l	0,5
Epiclorohidrin	pg/l	0,4
Hexaclorobutadieno	pg/l	0,6
Ácido etilendiaminatetracético (EDTA)	pg/l	200
Ácido nitrotriacético	pg/l	200
Dialquil	pg/l	
Óxido tributilín	pg/l	2

Fuente: NTE INEN, (1983).

Anexo 2: Continuación

Tabla 2.f: Pesticidas

PARÁMETRO	UNIDAD	Límite Máximo
		Permisible
Alaclor	pg/l	20
Aldicarb	pg/l	10
Aldrín/dielkdrín	pg/l	0,03
Atrazina	pg/l	2
Bentazona	pg/l	30
Carbofuran	Pg/l	5
Clordano	pg/l	0,2
Clorotoluron	pg/l	30
Dicloro difenil tricloroetano	pg/l	2
1,2-dibromo-3-cloropropano	pg/l	1
2,4-ácido diclorofenoxiacético 2,4-D	pg/l	30
1,2-dicloropropano	pg/l	20
1,3-dicloropropeno	pg/l	20
Heptacloro y heptacloro epoxi de etilen dibromide	pg/l	0,03
Hexaclorobenceno	pg/l	1
Isoproturon	pg/l	9
Lindano	pg/l	2
Ácido 4-cloro-2- metilfenoxiacético MCPA	pg/l	2
Metoxyclo	pg/l	10
Molinato	pg/l	6
Pendimetalin	pg/l	20
Pentoclorofenol	pg/l	9
Permetrin	pg/l	20
Propanil	pg/l	20
Piridato	pg/l	100
Simazina	pg/l	2
Trifluralin	pg/l	20
Herbicidas Clorofenoxi, diferentes a 2,4-D y MCPA 2,4-DB	pg/l	90
Dicloroprop	pg/l	100
Fenoprop	pg/l	9
Acido 4-cloro-2-metilfenoxibutrico	pg/l	2
Mecroprop	pg/l	10
2,4,5-T	pg/l	9

Fuente: NTE INEN, (1983).

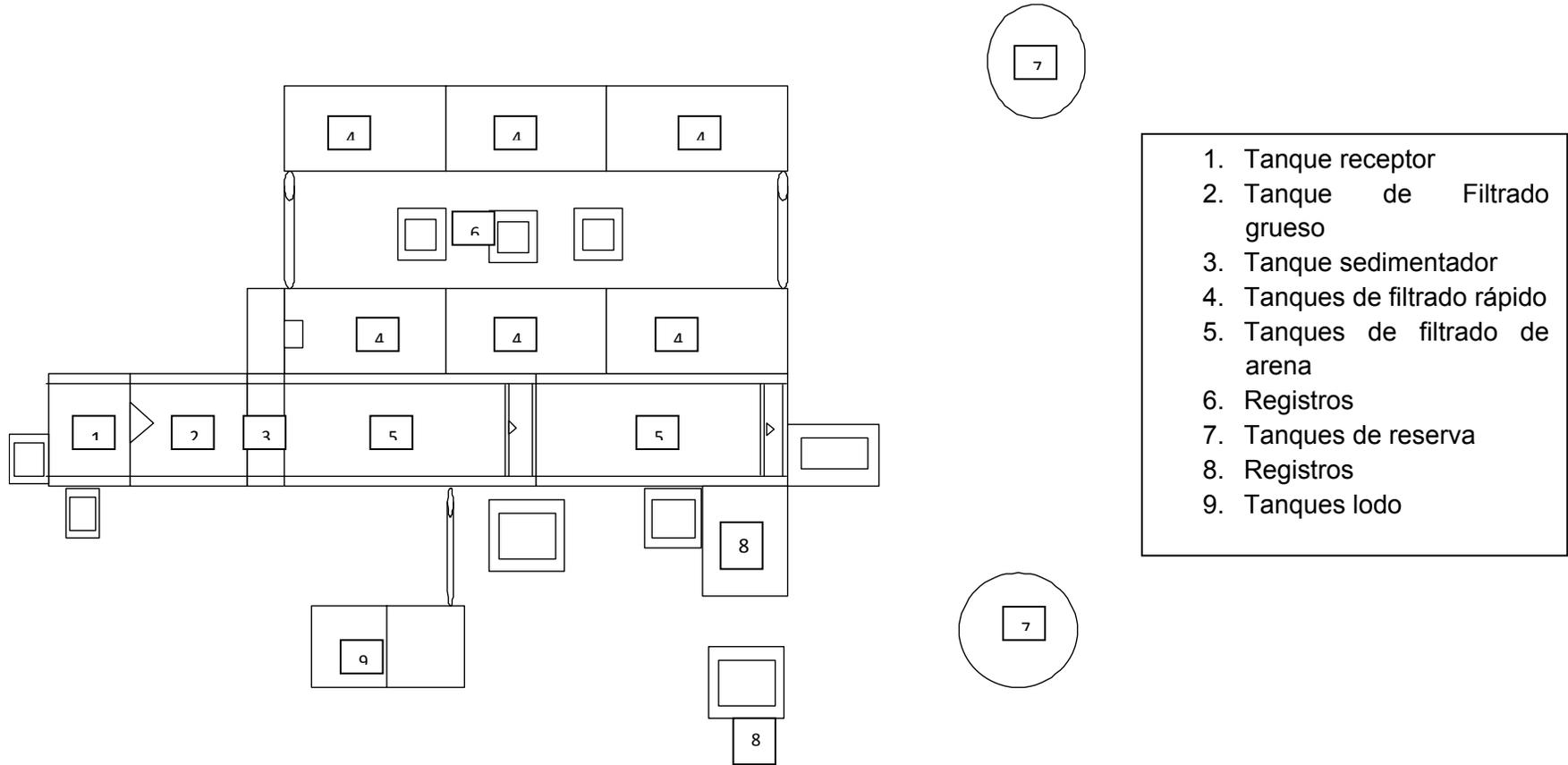
Anexo 2: Continuación

Tabla 2.g: Residuos de desinfectantes y subproductos de desinfección

PARÁMETRO	UNIDAD	Límite Máximo Permisible
Monocloramina, di y tricloramina	pg/l	3
Cloro	pg/l	5
Subproductos de desinfección		
Bromato	pg/l	25
Clorito	pg/l	200
Clorofenoles		
2,4,6-triclorofenol	pg/l	200
Formaldehído	pg/l	900
Trihalometanos		
Bromoformo	pg/l	100
Diclorometano	pg/l	100
Bromodiclorometano	pg/l	60
Cloroformo	pg/l	200
Ácidos acéticos clorinados		
Ácido dicloroacético	pg/l	50
Ácido tricloroacético	pg/l	1000
Hidrato clorato		
Tricloroacetaldehído	pg/l	10
Acetonitrilos halogenados		
Dicloroacetonitrilo	pg/l	90
Dibromoacetonitrilo	pg/l	100
Tricloroacetonitrilo	pg/l	1
Cianógeno clorado como (CN)	pg/l	70

Fuente: NTE INEN, (1983).

Anexo 3: Diagrama de flujo del proceso de purificación del agua de la planta de agua potable.



Anexo 4: Componentes de la encuesta realizada a los habitantes de la Comunidad de Fátima.

Con motivo de obtener información acerca del uso que tiene el agua potable por la población de ésta comunidad agradeceríamos que nos respondiera las siguientes preguntas:

- 1.- Número de casa.....
- 2.- Número de habitantes en el hogar.....
- 3.- Qué usos no más le da al agua del grifo:

- Beber
- Aseo personal
- Limpieza del hogar
- Lavar ropa
- Lavar platos
- Otros

4.- Tiene agua frecuentemente? SI..... NO.....

5.- Consume agua directamente del grifo para beber? SI..... NO.....
Si es SI, le da algún tratamiento; cuál?

- Clorarla
- Hervirla
- Otros
- Ninguno

6.- Compra agua de botella o sólo utiliza agua del grifo?

.....

- Cuántas botellas a la semana?.....
- Cuántos litros de agua lleva la botella?.....
- Qué precio tiene la botella?.....

7.- Cuáles son la enfermedades más frecuentes que ha sufrido su familia?

- Diarrea
- Hepatitis
- Cólera
- Tifoidea, paratifoidea

8.- Conoce la calidad de agua que consume? SI..... NO.....

9.- Conoce la planta de agua de dónde proviene el agua que consume? SI.....NO.....

10.- Tiene medidor de agua?Cuál es el consumo promedio mensual?

.....

11.- Cuando se corta el agua de dónde la usan para sus necesidades:

- Recipiente
- Ríos
- Lluvia

Anexos 5: Resultados de la valoración estadística del análisis de varianza para determinar la significación entre los diferentes puntos de muestreo para los parámetros analizados.

Tabla 5.a: Pruebas de muestras relacionadas para el pH

Prueba de muestras relacionadas

		Diferencias relacionadas							
					95% Intervalo de confianza para la diferencia				
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	Inferior	Superior	t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	VAR00001	-,03333	,26458	,08819	-,17004	,23670	,378	8	,715
	VAR00002								
Par 2	VAR00001	-,00000	,07071	,02357	-,05435	,05435	,000	8	1,000
	VAR00003								
Par 3	VAR00001	-,08889	,16915	,05638	-,04113	,21891	1,577	8	,154
	VAR00004								
Par 4	VAR00001	-,04444	,13333	,04444	-,05804	,14693	1,000	8	,347
	VAR00005								
Par 5	VAR00001	-,02222	,13944	,04648	-,08496	,12941	,478	8	,645
	VAR00006								

Fuente: Resultado de la prueba estadística

Anexo 5: Continuación

Tabla 5.b: Pruebas de muestras relacionadas para la Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)

Prueba de muestras relacionadas

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
					95% Intervalo de confianza para la diferencia				
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	Inferior	Superior			
Par 1	VAR00001	-,28667	,11737	,03912	-,37688	-,19645	-7,327	8	,000
	VAR00002								
Par 2	VAR00001	-,29111	,12444	,04148	-,38677	-,19546	-7,018	8	,000
	VAR00003								
Par 3	VAR00001	-,29667	,12570	,04190	-,39329	-,20005	-7,080	8	,000
	VAR00004								
Par 4	VAR00001	-,30111	,12554	,04185	-,39761	-,20461	-7,195	8	,000
	VAR00005								
Par 5	VAR00001	-,27556	,14672	,04891	-,38834	-,16277	-5,634	8	,000
	VAR00006								

Fuente: Resultado de la prueba estadística

Anexo 5: Continuación

Tabla 5.c: Pruebas de muestras relacionadas para la absorbencia

Prueba de muestras relacionadas

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
					95% Intervalo de confianza para la diferencia				
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	Inferior	Superior			
Par 1	VAR00001	-,00711	,01002	,00334	-,00059	,01481	2,129	8	,066
	VAR00002								
Par 2	VAR00001	-,00689	,00965	,00322	-,00053	,01431	2,142	8	,065
	VAR00003								
Par 3	VAR00001	-,00700	,01006	,00335	-,00073	,01473	2,087	8	,070
	VAR00004								
Par 4	VAR00001	-,00811	,00955	,00318	,00077	,01545	2,549	8	,034
	VAR00005								
Par 5	VAR00001	-,00867	,00945	,00315	,00140	,01593	2,752	8	,025
	VAR00006								

Fuente: Resultado de la prueba estadística

Anexo 5: Continuación

Tabla 5.d: Pruebas de muestras relacionadas para la temperatura °C

Prueba de muestras relacionadas

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
					95% Intervalo de confianza para la diferencia				
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	Inferior	Superior			
Par 1	VAR00001 – VAR00002	,11111	,25712	,08571	-,08653	,30875	1,296	8	,231
Par 2	VAR00001 – VAR00003	,20000	,29155	,09718	-,02410	,42410	2,058	8	,074
Par 3	VAR00001 – VAR00004	,11111	,27131	,09044	-,09744	,31966	1,229	8	,254
Par 4	VAR00001 – VAR00005	,00000	,36401	,12134	-,27980	,27980	,000	8	1,000
Par 5	VAR00001 – VAR00006	,02222	,31535	,10512	-,22018	,26462	,211	8	,838

Fuente: Resultado de la prueba estadística

Anexo 6: Gráficos del uso irracional del agua en la comunidad de Fátima.



Figura 6.1: Uso irracional del agua potable para bebederos en la crianza de pollos.

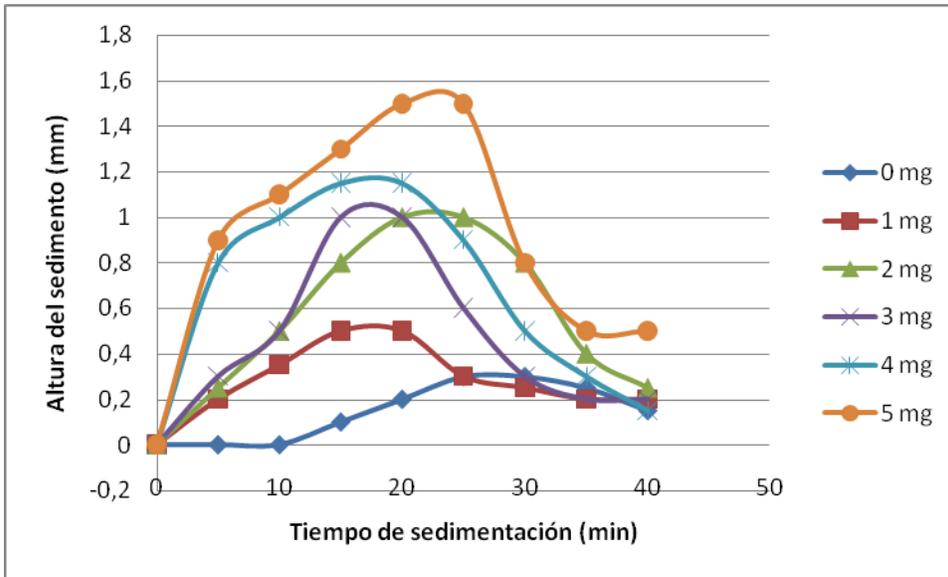


Figura 6.1: Uso irracional del agua para llenar tanques de reserva

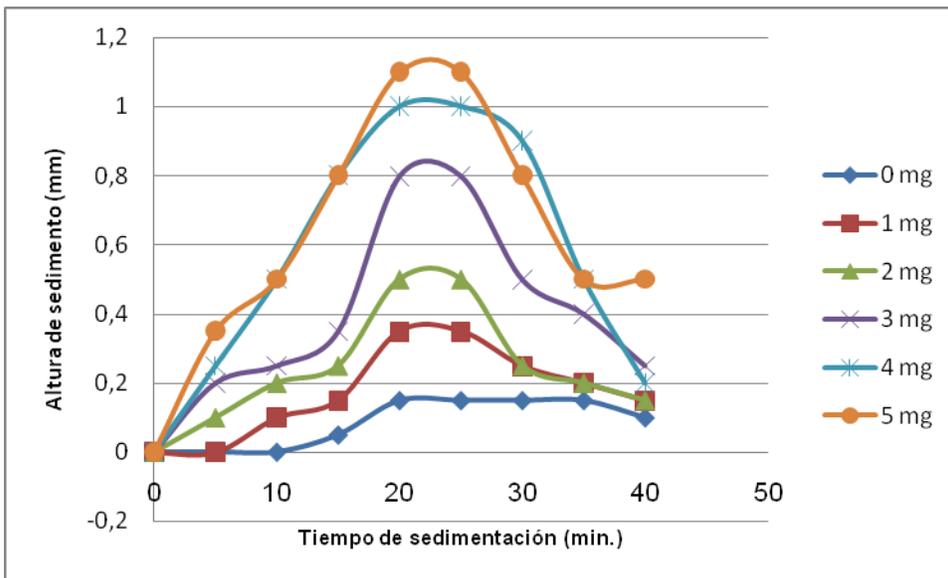


Figura 6.1: Uso irracional del agua, llaves abiertas sin necesidad

Anexo 7: Gráficas de las curvas de sedimentación para diferentes dosis de sulfato de aluminio.

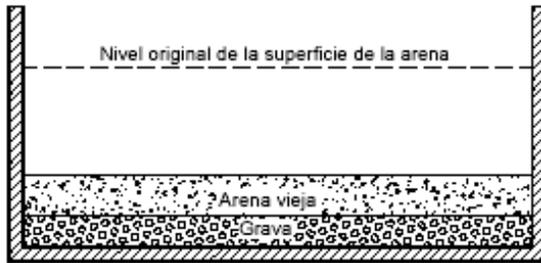


Gráfica 7.1: Experimento 1 sobre dosis óptima de sulfato de aluminio

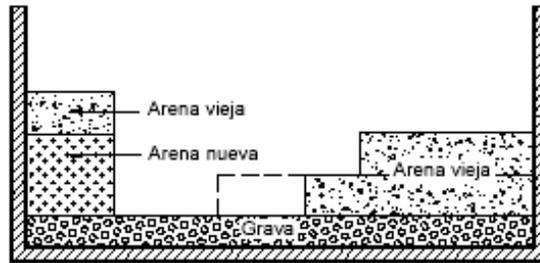


Gráfica 7.2: Experimento 2 sobre dosis óptima de sulfato de aluminio

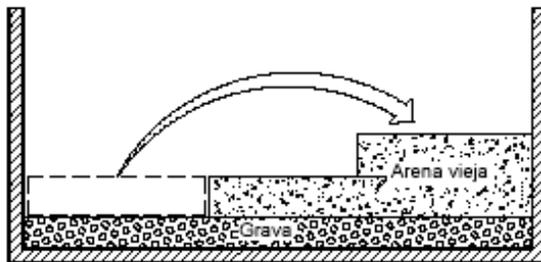
Anexo 8: Secuencia de rearenado para filtros lentos de arena.



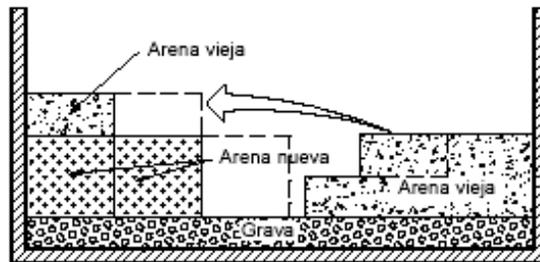
a) Nivel original de arena antes del rearenado



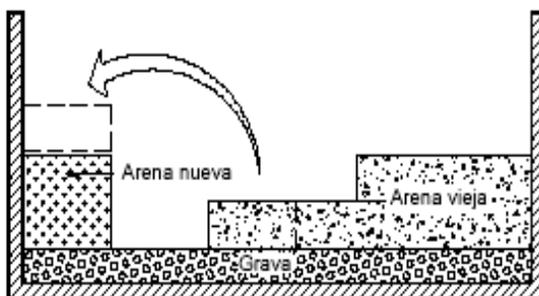
d) Colocación de la arena vieja sobre la nueva



b) Colocación de la arena vieja



e) Colocación de arena nueva adicional



c) Colocación de la arena nueva



f) Terminación del rearenado, con arena nueva en el fondo y vieja en la superficie

Anexo 9: Resultados de la encuesta aplicada a la población de Fátima.

Tabla 9. a: Respuesta de la pregunta 1

Pregunta 1	Total de casas encuestadas
Número de casa encuestadas	71

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. b: Respuesta de la pregunta 2

Número de casas	Total de Habitantes
1	5
2	8
3	5
4	3
5	3
6	5
7	1
8	3
9	6
10	2
11	1
12	3
13	6
14	5
15	3
16	3
17	3
18	2
19	2
20	1
21	2
22	4
23	1
24	3
25	10
26	4
27	3
28	6
29	3
30	7
31	4
32	3
33	3
34	3
35	2
36	4
37	6
38	3
39	4

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9: Continuación

Tabla 9. b: Respuesta de la pregunta 2. Continuación

40	3
41	1
42	3
43	4
44	2
45	5
46	3
47	2
48	4
49	8
50	3
51	2
52	4
53	5
54	7
55	17
56	8
57	3
58	4
59	2
60	5
61	3
62	6
63	2
64	3
65	3
66	2
67	5
68	4
69	1
70	3
71	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. c: Respuesta de la pregunta 3

Usos del agua del grifo	N° de casas
Beber	25
Aseo personal	71
Limpieza del hogar	71
Cocinar	71
Lavar ropa	71
Lavar platos	71
Otros	0

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9: Continuación

Tabla 9. d: Respuesta de la pregunta 4

SI	NO
62	9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. e: Respuesta de la pregunta 5

Consumen agua directamente del grifo	No consumen agua directamente del grifo
7	64
Clorar	0
Hervir	39
Otros	0
Ninguno	32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. f: Respuesta de la pregunta 6

N. casa	Compran agua de botella	Solo utilizan agua del grifo	N. de botellas a la semana	Litros que lleva cada botella (L)	Precio de la botella de agua (\$)
1	SI		1	20	1,25
2		SI			
3		SI			
4	SI		1	5	1,25
5		SI			
6		SI			
7		SI			
8		SI			
9		SI			
10		SI			
11		SI			
12	A VECES		1 mensual	5	1,10
13	SI		1	20	1,25
14		SI			
15	SI		1	20	1,25
16	SI		1	24	1,25
17		SI			
18	SI		1	20	1,25
19	SI		1, 3 semanas	10	1,50
20	SI		1, 3 semanas	10	2,50
21	SI		1	10	2,50
22		SI			
23	SI		1 mensual	20	1,25
24	SI		1	20	1,25
25	SI		1	10	1,25
26	SI		1	20	1,50
27	SI		1	25	1,25
28	SI		2	20	1,50
29	SI		1	20	1,25
30	SI		1	25	1,25
31	SI		1	20	1,25
32	SI		1	25	1,25
33	SI		1	25	1,25
34	A VECES		1	20	1,25
35		SI			

Fuente: Elaboración propio.

Anexo 9: Continuación

Tabla 9. f. Respuesta de la pregunta 6. Continuación

36		SI			
37		SI			
38		SI			
39	SI		1	20	1,25
40	SI		2	20	1,25
41		SI			
42		SI			
43	SI		1	20	1,25
44		SI			
45	SI		1	25	1,25
46		SI			
47		SI			
48	SI		1	25	1,25
49		SI			
50		SI			
51		SI			
52	SI		1	20	1,25
53		SI			
54	SI		1	25	1,25
55	SI		1	25	2,50
56		SI			
57	SI		1	20	1,25
58	SI		1	20	1,25
59		SI			
60		SI			
61		SI			
62	SI		1	20	1,25
63		SI			
64		SI			
65		SI			
66		SI			
67	SI		1	25	1,25
68	SI		1	20	1,25
69		SI			
70		SI			
71		SI			

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9: Continuación*Tabla 9. g: Respuesta de la pregunta 7*

ENFERMEDADES DIARREICAS	NÚERO DE ENFERMOS
Diarrea	9
Hepatitis	3
Cólera	0
Tifoidea, Paratifoidea	0
Otras	8: 5 casos hongos, 1 leucemia y 2 hemorroides
Ninguna	51

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. h: Respuesta de la pregunta 8

Total de encuestados que conocen la calidad de agua que consumen	Total de encuestados que no conocen la calidad de agua que consumen
26	45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. i: Respuesta de la pregunta 9

Total de encuestados que conocen donde queda la planta de agua potable	Total de encuestados que no conocen donde queda la planta de agua potable
26	45

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9: Continuación.*Tabla 9. j: Respuesta de la pregunta 10*

N. casa	Tienen medidor de agua	Consumo promedio mensual (\$)
1	SI	6
2	SI	5
3	SI	3
4	SI	-
5	SI	2
6	SI	2
7	SI	2
8	SI	2
9	SI	2
10	SI	2,10
11	SI	1
12	SI	1
13	SI	2
14	SI	2
15	SI	2
16	SI	2
17	SI	2
18	SI	2
19	SI	2
20	SI	1
21	SI	2
22	SI	2
23	SI	2
24	SI	2,25
25	SI	2
26	SI	2
27	SI	3
28	SI	5
29	SI	2
30	SI	6
31	SI	3
32	SI	2
33	SI	2
34	SI	2
35	SI	2
36	SI	2
37	SI	2
38	SI	2
39	SI	2
40	SI	2
41	SI	2
42	SI	2

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9: Continuación.*Tabla 9. j: Respuesta de la pregunta 10. Continuación*

43	SI	3
44	SI	2
45	SI	5
46	SI	2
47	SI	2
48	SI	2
49	SI	3
50	SI	2
51	SI	2
52	SI	3
53	SI	2
54	SI	3,50
55	SI	5-6
56	SI	3
57	SI	2
58	SI	2
59	SI	2
60	SI	2,50 – 3
61	SI	3
62	SI	3,5
63	SI	2
64	SI	2
65	SI	4,50
66	SI	3
67	SI	2
68	SI	2
69	SI	2
70	SI	2,50
71	SI	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. k: Respuesta de la pregunta 11

Cuando se corta el agua de donde usan para sus necesidades	Encuestados
Recipiente	52
Río	2
Lluvia	8
Otros	6
Ninguno	3

Fuente: Elaboración propia.