ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Diseño de una Planta Móvil de Potabilización de Agua"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERA DE ALIMENTOS

Presentada por:

Ana Luisa Espinoza Cabrera

GUAYAQUIL – ECUADOR

2011

AGRADECIMIENTO

A Dios, a la Santísima Virgen por darme la fortaleza y sabiduría, a mi familia por su apoyo incondicional y especialmente al Ing. Ernesto Martínez Director de Tesis por su ayuda incondicional.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS SOBRINOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Francisco Andrade S.

DECANO DE LA FIMCP

Ing. Ernesto Martínez L.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Cristóbal Villacís M.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Ana Luisa Espinoza Cabrera

RESUMEN

Diversos son los desastres naturales que han sucedido en el Ecuador que han afectado de distintas maneras a la población, así como a la actividad agrícola y económica del país.

De estos desastres, las inundaciones han afectado a un número mayor de provincias, siendo la región costa la más vulnerable, como consecuencia la movilización de familias hacia diversos albergues para precautelar su seguridad se hace necesaria, pero esto conlleva al requerimiento de alimentos y sobre todo de agua potable que por las circunstancias se hace difícil cubrir.

Tomando en consideración que el principal requerimiento durante una emergencia es el agua potable, esta tesis plantea el Diseño de una Planta Móvil de Potabilización de Agua que busca mitigar de manera sustancial esta necesidad, puesto que brinda la ventaja de ser de fácil transportación, de inmediata puesta en operación, de fácil manejo y con bajo costo.

Para la realización de esta tesis se tomó muestras de agua de tres ríos como son el Río Bulu-Bulu, el Río Jujan y el Río Chimbo que fueron algunos de los ríos que causaron mayores inundaciones durante las pasadas épocas invernales, de los resultados obtenidos se decidió trabajar con el agua del Río

Bulu-Bulu por presentar las condiciones físicas, químicas y microbiológicas más desfavorables.

Una vez establecidas las características iniciales de la fuente de agua cruda se determinó cuales serán las etapas a las cuales el agua de río debía ser sometida para que sea considerada como potable, con lo que se procedió al segundo paso que fue determinar las capacidades de los equipos y diseñar la forma en que éstos puedan ser ubicados en un contenedor de 20 pies de longitud.

Con el uso de esta planta móvil de potabilización de agua se logró un ahorro de hasta un 97% en comparación al uso de garrafones para proveer de agua a los refugios.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN ……. II

ÍNDICE GENERAL ……. IV

ABREVIATURAS ……..……. VII

SIMBOLOGÍA ……..…….. VIII

ÍNDICE DE FIGURAS ……..…….. IX

ÍNDICE DE TABLAS …….. X

ÍNDICE DE GRÁFICOS ……..……..….. XI

INTRODUCCIÓN ……..…… 1

CAPÍTULO 1

1. SITUACIONES DE DESASTRE Y EMERGENCIAS EN EL ECUADOR .. 3

1.1. Descripción de las Principales Situaciones de Desastre y Emergencias en el Ecuador ……. 4

1.1.1. Terremotos ……..……..…… 4

1.1.2. Erupciones Volcánicas ……..…… 7

1.1.3. Inundaciones ……..……..…… 9

1.2. Principales Requerimientos Durante una Situación de Emergencia y Desastre ……..……..……. 16

1.2.1. Salud ……. 16

1.2.2. Alimentación ……..…….. 18

1.2.3. Alojamiento ……..……. 19

1.2.4. Agua potable ……..…….. 20

1.3. Condiciones de Abastecimiento de Agua Potable para Personas Alojadas en Refugios …….…….. 24

1.3.1. Transporte ……..……. 24

1.3.2. Almacenamiento y Distribución ……... 25

CAPÍTULO 2

2. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUA DE FÁCIL TRANSPORTACIÓN ……..…….……..….. 26

2.1. Compra de Equipos en el Exterior ……..……..…. 27

2.2. Compra de Plantas Potabilizadoras de Baja Capacidad ……..……. 28

2.3. Diseño de una Planta de Tratamiento Básica de Agua que Pueda ser Ubicada en un Contenedor para Fácil Transportación y de Inmediata Puesta en Operación ….……..…… 29

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA INSTALADA EN UN CONTENEDOR DE 20 PIES ……..…….……. 32

3.1. Parámetros para el Diseño ……..…….....…... 32

3.2. Determinación de la Capacidad de Operación ……..…. 34

3.3. Tratamiento a Efectuar ……. 35

3.3.1. Tratamiento Físico y Químico intensivos: Coagulación/Floculación, Sedimentación, Filtración ……..…. 37

3.3.2. Desinfección ……..……..... 49

3.4. Pruebas Experimentales para Determinar Concentración de Químicos a Usar y Tiempo de Sedimentación ……..……. 62

3.5. Capacidad y Selección de Equipos ……..…….. 98

3.6. Estructura y Adecuación del Contenedor …….. 108

3.7. Distribución de los Equipos y demás Accesorios ……..……..... 109

3.7.1. Sistema de Generación de Energía ……..……..... 114

CAPÍTULO 4

4. COSTOS ……..……..……. 118

4.1. Costos de Inversión ……...…….…….. 119

4.2. Costos de Funcionamiento ……...…….…….. 122

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ……..... 135

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

BTU	Brithish Thermal Unit
C	Concentración
g	Gramo
h	Hora
HP	Caballos de Potencia
Kw	Kilowattios
L	Litro
m	Masa
m^3	Metro Cúbico
mg/L	Miligramo por Litro
ml	Mililitro
m	Metro
NTU	Nefelometric Turbidity Unit
NMP	Número Más Probable
ppm	Partes por Millón
pH	Potencial de Hidrógeno
r	Radio
RPM	Revoluciones por Minuto
t	Tiempo
U Pt/Co	Unidad Platino sobre Cobalto
V	Volumen
W	Wattios

SIMBOLOGÍA

$Al_2(SO_4)_3$	Sulfato de Aluminio
NaClO	Hipoclorito de Sodio
Q	Caudal
ρ	Densidad

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Eventos producidos por Inundaciones en el mes de Abril año 2010 ……..…….. 15
Figura 3.2 Diagrama de Potabilización ……..…….. 36
Figura 3.3 Fuerzas Actuantes en Sedimentación ……..…… 38
Figura 3.4 Prueba de Jarras Primera Prueba ……..……. 72
Figura 3.5 Filtro de Arena ……..…….. 79
Figura 3.6 Filtro de Carbón Activado ……. 80
Figura 3.7 Sistema de Filtrado ……. 82
Figura 3.8 Kit de Cloro libre Residual ……. 84
Figura 3.9 Medición de Cloro Libre residual ……..…….. 84
Figura 3.10 Prueba de Jarras Segunda Prueba ……..…… 90
Figura 3.11 Flóculos formados durante Prueba de Jarras Segunda Prueba……. 91
Figura 3.12 Diagrama de Proceso …… 99
Figura 3.13 Equipo de Coagulación y Floculación ……..….. 102
Figura 3.14 Bomba ……..……. 105
Figura 3.15 Válvulas ……..……... 106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Terremotos en el Ecuador desde 1541	5
Tabla 2	Situación del Ecuador durante el mes de Enero 2008	12
Tabla 3	Enfermedades Respiratorias y de Origen Hídrico	17
Tabla 4	Consumo mínimo de Agua en situaciones de Emergencia	22
Tabla 5	Matriz de Decisión	31
Tabla 6	Dimensiones del Contenedor de 20 pies	33
Tabla 7	Clasificación de los Filtros	47
Tabla 8	Características Físico - Químicas del agua del Río Bulu-Bulu en diferentes horas durante Época invernal	64
Tabla 9	Características Físico, Químicas y Microbiológicas del agua del Río Bulu-Bulu tomando en consideración la mezcla de agua de las muestras descritas en la tabla 8	65
Tabla 10	Resultados Prueba de Jarras en Primera Prueba	73
Tabla 11	Índice de Floculación de Willcomb	74
Tabla 12	Resultados a diferentes concentraciones de Sulfato de Aluminio en Primera Prueba	77
Tabla 13	Análisis de Agua Filtrada Primera Prueba	82
Tabla 14	Resultados Agua Tratada Primera Prueba	85
Tabla 15	Características Físico- Químicas del agua del Río Bulu-Bulu en diferentes horas durante Época de Verano	87
Tabla 16	Características Físico, Químicas y Microbiológicas del agua del Río Bulu-Bulu tomando en consideración la mezcla de agua de las muestras descritas en la tabla 15	88
Tabla 17	Resultados Prueba de Jarras Segunda Prueba	91
Tabla 18	Resultados a diferentes concentraciones de Sulfato de Aluminio Segunda Prueba	94
Tabla 19	Análisis Agua Filtrada Segunda Prueba	96
Tabla 20	Resultados Agua Tratada Segunda Prueba	97
Tabla 21	Energía Eléctrica a Requerir	116
Tabla 22	Costos de Inversión	119
Tabla 23	Total Costos de Inversión	121
Tabla 24	Costos Totales por m^3	132

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1	Fenómeno El Niño (Familias Afectadas) …….	10
Gráfico 1.2	Personas Albergadas Febrero a Marzo 2008 …….....	13
Gráfico 3.3	Relación dosis de Sulfato de Aluminio vs. Turbiedad Primera Prueba ……	75
Gráfico 3.4	Relación dosis de Sulfato de Aluminio vs. Color Primera Prueba ……...	75
Gráfico 3.5	Influencia de la Concentración del Sulfato en la Coagulación Primera Prueba ……...	78
Gráfico 3.6	Relación dosis de Sulfato de Aluminio vs. Turbiedad Segunda Prueba ……..…	92
Gráfico 3.7	Relación dosis de Sulfato de Aluminio vs. Color Segunda Prueba …….....	93
Gráfico 3.8	Influencia de la Concentración del Sulfato en la Coagulación Segunda Prueba ……..	95

INTRODUCCIÓN

Durante muchos años han existido desastres naturales como terremotos, erupciones volcánicas, inundaciones, sequías, deslizamientos, que no solo han generado pérdidas económicas sino que han cobrado la vida de un sinnúmero de personas en los países afectados.

El Ecuador no ha sido la excepción, dentro de los desastres naturales que se pueden mencionar están: El deslizamiento de la Josefina en el año de 1993, el Fenómeno El Niño en el año 1997-1998 que dejó a 6.276 familias damnificadas, erupciones volcánicas y terremotos.

De los desastres naturales que se han presentado, las inundaciones han afectado a un número mayor de provincias, siendo la región costa la más afectada, como consecuencia de estos fenómenos, la movilización de familias hacia diversos albergues para precautelar su seguridad se hace necesaria, pero esto conlleva al requerimiento de alimentos y sobre todo de agua potable, que por las circunstancias se hace difícil cubrir.

Tomando en consideración que el principal requerimiento durante una emergencia es el agua potable, se platea el Diseño de una Planta Móvil de Potabilización de Agua que busca mitigar de manera sustancial esta

necesidad, puesto que brinda la ventaja de ser de fácil transportación y de inmediata puesta en operación.

Con esta nueva alternativa los principales objetivos que se pretenden alcanzar son:

- A través del Diseño de una Planta Móvil de Potabilización de Agua se pretende mejorar las condiciones de las personas afectadas por desastres naturales.
- Establecer un sistema de Potabilización dentro de un contenedor de 20 pies de longitud el cual podrá ser trasladado de un sitio a otro según sea requerido.
- Utilizar equipos sencillos para facilitar las operaciones dentro del contendor.
- Brindar una opción de bajo costo para la obtención de agua potable.

CAPÍTULO 1

1. SITUACIONES DE DESASTRE Y EMERGENCIAS EN EL ECUADOR.

Nuestro país se ha visto inmerso en un sinnúmero de situaciones de emergencia que han tenido como consecuencia la pérdida de vidas humanas así como efectos colaterales en la actividad agrícola y económica.

A lo largo de los últimos años el Ecuador ha tenido siete desastes de relevancia, el ocurrido en el año 1993 con el deslizamiento de la Josefina, en 1996 el sismo en Pujilí, durante los años de 1997 a 1998 el Fenómeno El Niño, en 1998 otro sismo cuyo epicentro fue Bahía de Caráquez, el represamiento del Río Chanchán en el año de 1999, y los procesos eruptivos del Guagua Pichincha y Tungurahua**.**

1.1. Descripción de las Principales Situaciones de Desastre y Emergencias en el Ecuador.

1.1.1. Terremotos.

La definición que el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional da a los sismos de intensidad mayor a VIII es la siguiente:

Los terremotos de intensidad igual o mayor a VIII (Escala de Mercalli)[1] constituyen aquellos eventos cuyos efectos son considerables o catastróficos (1).

De acuerdo a esta definición, desde el año de 1540 hasta el año de 1998 el Ecuador ha tenido que superar 37 terremotos,

[1] Escala de Marcalli: Es una escala de 12 grados desarrollada para evaluar la intensidad de los terremotos a través de los efectos y daños causados a distintas estructuras. Los niveles bajos de la escala están asociados por la forma en que las personas sienten el temblor, mientras que los grados más altos se relacionan con el daño estructural observado.

cuya intensidad provocó severos efectos en las ciudades que fueron epicentro de los mismos.

La siguiente es una tabla que muestra los años en que ocurrieron los terremotos así como las provincias afectadas.

Tabla 1 Terremotos en el Ecuador desde 1541.

FECHA	INTENSIDAD	ZONA MACROSISMICA
1541	VIII	Napo
1587	VIII	Pichincha
1645	IX	Chimborazo, Tungurahua
1674	IX	Chimborazo, Bolívar
1687	VIII	Tungurahua
1698	VIII	Tungurahua, Chimborazo
1736	VIII	Pichincha, Cotopaxi
1749	VIII	Loja
1755	VIII	Pichincha
1757	IX	Cotopaxi, Tungurahua
1834	XI	Carchi, Nariño*
1786	VIII	Chimborazo
1797	XI	Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, y parte de Bolívar y Pichincha.
1859	VIII	Pichincha, Imbabura, Cotopaxi
1868	VIII	Carchi
1868	X	Imbabura, Carchi, Pichincha
1896	IX	Manabí
1906	IX	Esmeraldas. Nariño (Colombia)
1911	VIII	Chimborazo, Bolívar
1913	VIII	Loja, Azuay
1914	VIII	Pichincha, Cotopaxi

1923	VIII	Pichincha
1923	VIII	Carchi, Nariño (Colombia)
1926	VIII	Carchi
1929	VIII	Pichincha
1938	VIII	Pichincha
1942	IX	Manabí, Guayas, Bolívar
1949	X	Tungurahua, Chimborazo, Cotopaxi
1953	VIII	Loja, norte del Perú
1955	VIII	Pichincha, Imbabura
1958	VIII	Esmeraldas
1961	VIII	Chimborazo
1964	VIII	Manabí
1970	IX	Loja, El Oro, Azuay, norte del Perú
1987	IX	Napo, Sucumbíos, Imbabura
1995	VIII	Morona Santiago
1998	VIII	Provincia de Manabí.

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

De acuerdo al estudio publicado por la Organización Panamericana de la Salud en 1997 sobre el terremoto de Pujilí, en uno de sus capítulos hace referencia que aunque la intensidad fue modera los daños a los sistemas de agua potable fueron muy graves debido a que el sismo provocó deslizamientos que contaminaron la captación de agua de ríos (28).

Otro de los terremotos de considerable magnitud fue el ocurrido en el año 1987 que afectó a un mayor número de habitantes, un total de 150.000 personas resultaron perjudicadas (25).

A esta tabla es necesario incluir el sismo ocurrido en Agosto de este año que de acuerdo al Boletín Sísmico de la OPS no produjo daños de consideración (29).

1.1.2. Erupciones Volcánicas.

En el Ecuador los volcanes que provocaron mayores daños durante sus procesos eruptivos fueron: El Volcán Reventador, Volcán Tungurahua, el Volcán Sangay, el Volcán Cotopaxi y el Volcán Guagua Pichincha. Las provincias con un grado de mayor amenaza volcánica son: Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua y Napo (25).

Uno de los últimos procesos eruptivos que se puede mencionar ocurrió en Noviembre del 2002 en el cual el Volcán Reventador afectó a 128.150 familias (25).

Durante las situaciones presentadas por las erupciones volcánicas, el sector energético, vial, agrícola y ganadero también resultó afectado, los sistemas de abastecimiento de agua potable estuvieron cerca de colapsar debido a la contaminación de las fuentes de agua por la caída de cenizas, puesto que la mayoría de las fuentes de agua son de origen superficial y expuestas al ambiente, lo que causó la acumulación de grandes cantidades de sedimentos que dificultaron el buen funcionamiento de los sistemas de potabilización.

Además de los inconvenientes provocados por la contaminación del agua con la caída de ceniza, la Organización Panamericana de la Salud en su publicación sobre los Efectos del Volcán Reventador, determinó otras causas para que muchas de las plantas de tratamiento de agua hayan estado cerca del colapso,

como fue lo ocurrido en el Distrito Metropolitano de Quito, extracto que se enuncia a continuación.

Se notó claramente la vulnerabilidad de estas plantas y su fuerte dependencia de la red de energía eléctrica, especialmente de las más grandes. El problema de energía eléctrica no fue tan grave como para dejar inoperativas a las plantas, pero de haber tenido mayor gravedad, se habrían suscitado más problemas de desabastecimiento en Quito (3).

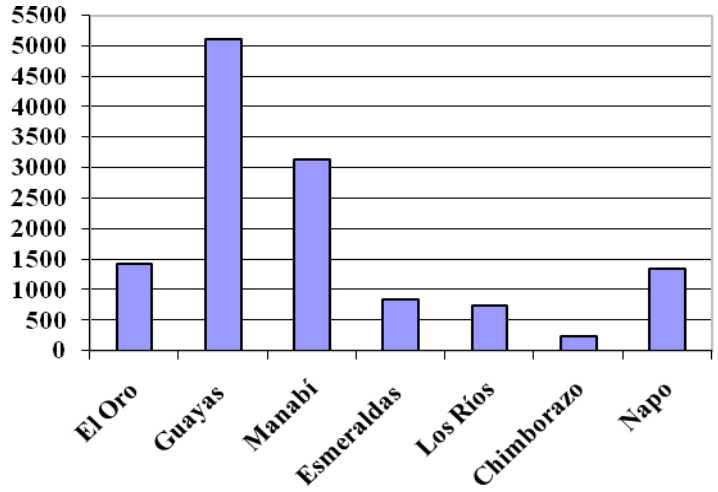
1.1.3. Inundaciones.

Fenómeno El Niño

El fenómeno El Niño durante los años de 1997 a 1998, constituyó la peor inundación que tuvo que soportar el Ecuador, con un 60% de la población afectada, donde las provincias más vulnerables fueron: Guayas, El Oro, Esmeraldas, Los Ríos, Manabí, Chimborazo y Napo.

Tomando como base los datos obtenidos por la Organización Panamericana de la Salud en la publicación del Libro sobre Crónicas de Desastres, se realizó el siguiente gráfico donde se puede observar el número de familias afectadas en las provincias de mayor vulnerabilidad.

Gráfico 1.1 Fenómeno El Niño (Familias Afectadas).



Fuente: Autor de Tesis

Los principales efectos que se produjeron con respecto a la salud y conforme a la OPS fueron los relacionados a enfermedades tales como:

- Infecciones respiratorias agudas (IRA)
- Enfermedades diarreicas agudas (EDA)

- Enfermedades transmitidas por vectores.
- Enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos.
- Enfermedades de la piel (4).

Además de las enfermedades propias debido a la época lluviosa, existió un problema crítico que fue la falta de agua potable debido al colapso de las redes de distribución, así como a la contaminación de las fuentes de agua por el rebose de alcantarillas, canales de aguas servidas y al incremento de turbiedad, lo que provocó que algunos sectores permanecieran por semanas sin abastecimiento de agua.

La falta de alimentos, destrucción de viviendas, destrucción de vías de comunicación y de infraestructura en general, son otros de los problemas que trajo consigo el fenómeno El Niño.

Inundaciones 2008

Las fuertes lluvias que ocurrieron durante el mes de Enero hasta el mes de Abril provocaron que el Gobierno Nacional no

solo declarara el estado de emergencia sino que sea declarado como una situación de catástrofe nacional.

Durante el primer mes de intensas lluvias 13 de las 24 provincias del Ecuador resultaron afectadas, causándose además otros daños en diferentes sectores como se muestra en la siguiente tabla tomada del Informe de Inundaciones del Ecuador dada por la OPS en el mes de Abril del 2008 (5).

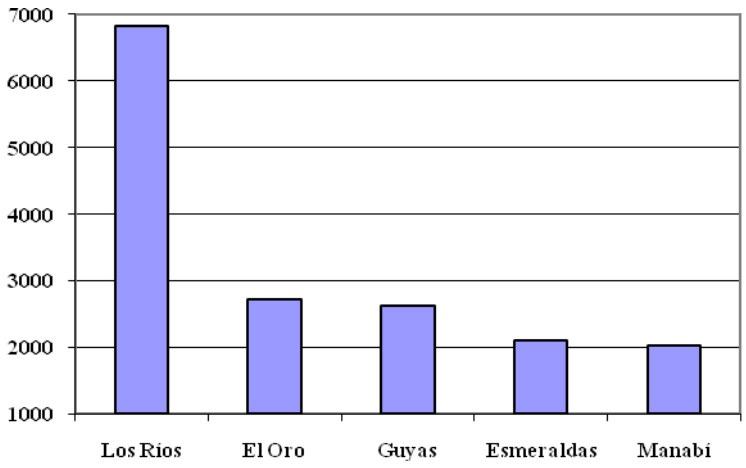
Tabla 2 Situación del Ecuador durante el mes de Enero 2008.

SITUACIÓN ACTUAL DEL PAÍS FRENTE A LAS INUNDACIONES	
Provincias afectadas	13/24
Cantones afectados	66/149
Población albergada	9.989
Número total de albergues	248
Número total de raciones alimenticias distribuidas	343.610
Personas fallecidas	54
Personas desaparecidas	6
Hectáreas afectadas	83.260 Ha.
Hectáreas perdidas	95.515 Ha.
Número de vías afectadas	237
Número de puentes afectados	25
Escuelas / Viviendas afectadas	1.681

Fuente: Organización Panamericana de la Salud

Del total de provincias afectadas a nivel nacional, cinco provincias de la Costa sufrieron con mayor intensidad los embates de la naturaleza como fueron: Guayas, El Oro, Los Ríos, Manabí y Esmeraldas, situación que se puede observar en el siguiente gráfico realizado en base a datos de la OPS en su publicación del 7 de Marzo del 2008 (6).

Gráfico 1.2 Personas Albergadas Febrero a Marzo 2008.



Fuente: Autor de Tesis

Las causas principales para las inundaciones fueron el desbordamiento de algunos ríos, entre ellos el Bulu-Bulu y

Chimbo, conforme a la CEDEGE que en su Informe establece lo siguiente:

Desde el 29 de Enero de 2008 se han producido crecientes mayores a las normales en la costa ecuatoriana y sobre todo en los valles de los ríos Chimbo y Bulu-Bulu, ocasionando severas inundaciones por la rotura de los diques de los citados ríos, así como por el taponamiento o falta de drenajes (7).

Inundaciones 2009

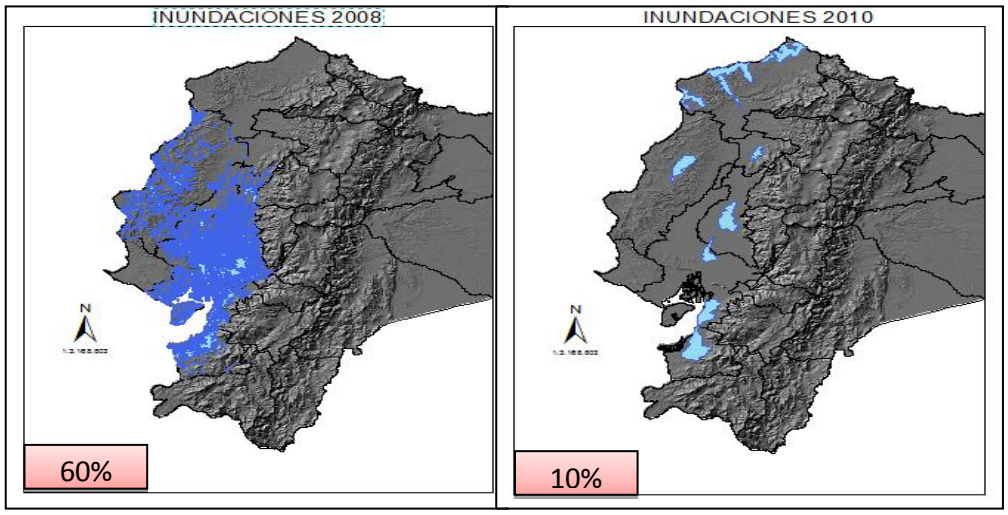
Al igual que en años anteriores, la época invernal afectó principalmente a las provincias de la costa, durante ese año las familias evacuadas fueron 612 que en comparación con el año 2008 resultó en una disminución considerable.

Inundaciones 2010

En este año las inundaciones afectaron a un 10% de la región litoral, los habitantes de las diferentes regiones no han sido reubicados y no se han registrado mayores daños.

De acuerdo al Informe de Situación por Inundaciones de la Organización Panamericana de la Salud desde inicios del mes de Abril se presentaron lluvias dentro de los límites normales en la parte interior de la región litoral, en la parte norte del Ecuador con las mismas características de lluvias dentro de límites normales pero en precipitaciones en períodos cortos de tiempo.

Figura 1.1 Eventos producidos por Inundaciones en el mes de Abril año 2010.



Fuente: Organización Panamericana de la Salud

1.2. Principales Requerimientos durante Situaciones de Emergencia y Desastre.

Durante una situación de emergencia existen muchas necesidades que requieren ser cubiertas, debido a que de ellas depende la salud y bienestar de las poblaciones afectadas.

Las principales necesidades que se evidencian son referente a:

- Salud.
- Alimentación.
- Alojamiento.
- Agua Potable

1.2.1. Salud.

Es de vital importancia asegurar la salud de las poblaciones afectadas principalmente con la dotación de medicamentos (8). Las principales patologías que se observan son: EDAS

(Infecciones diarreicas agudas), IRAS (Infecciones respiratorias agudas) y Síndromes febriles, debido a la contaminación microbiana (bacterias, virus, protozoos y otros organismos) (9).

Durante el mes de Marzo del 2008 en el transcurso de la estación invernal tomando como ejemplo la provincia de Los Ríos se presentaron alrededor de 8700 casos de infecciones respiratorias agudas y de otras enfermedades por lo general de origen hídrico, entre las cuales se encuentran las presentadas en la siguiente tabla (10).

Tabla 3 Enfermedades Respiratorias y de Origen Hídrico.

ENFERMEDAD	PERSONAS AFECTADAS
Iras	8656
Edas	3628
Dengue clásico	156
Dengue hemorrágico	1
Leptospirosis	1

Fuente: Ministerio de Salud Pública

Por lo que, durante una situación de emergencia la vigilancia epidemiológica principalmente en albergues debe ser intensificada, así mismo como el control de brotes y control de enfermedades transmitidas por mosquitos (8).

1.2.2. Alimentación.

La alimentación es otro de los requerimientos que deben cubrirse principalmente en los albergues, lo que al mismo tiempo constituye una labor difícil dada la falta de alimentos, lo que hace necesario la ayuda internacional.

La Organización Panamericana de la Salud en la publicación Guía para la Vigilancia y Control de la Calidad del Agua en Situaciones de Emergencia y Desastre 2007 da una tentativa de las posibles causas que provocan la escasez de los alimentos, una de ellas es la destrucción de los depósitos de alimentos en las zonas afectadas, y la segunda la desorganización de los sistemas de distribución que puede impedir el acceso a los alimentos.

De aquí que surge la necesidad de establecer prioridades para solucionar los problemas alimenticios las cuales son:

1. Suministrar alimentos inmediatamente en los casos en que parezca existir una necesidad urgente, sobre todo a poblaciones aisladas, instituciones y personal de ayuda.
2. Hacer un estimado inicial de las posibles necesidades de alimentos en la zona, de forma que puedan darse los pasos necesarios para conseguirlos, transportarlos, almacenarlos y distribuirlos.
3. Localizar o adquirir depósitos de alimentos y evaluar si se adaptan a los hábitos de consumo locales y
4. Revisar la información sobre las necesidades de alimentos, con el fin de mantener los programas de provisión, distribución, etc. (11).

1.2.3. Alojamiento.

Otra de las consecuencias de los desastres naturales es la falta de vivienda, como prueba de sto se tiene que durante el

fenómeno de El Niño en 1998 existió 60.000 familias damnificadas (que representan a unas 300.000 personas) y 4.000 (20.000 personas) familias fueron evacuadas de sus hogares por las crecidas.

Las familias damnificadas como evacuadas debieron ser ubicadas en albergues donde de manera más notoria se evidenciaron la falta de alimentación y agua.

1.2.4. Agua Potable.

El agua es imprescindible para el mantenimiento de la vida, mientras que las personas pueden pasar incluso meses sin comer, tan sólo pueden pasar algunos días sin beber agua, es por ello que se debe disponer de un abastecimiento de agua satisfactorio (suficiente, salubre y accesible).

En cualquier situación de desastre natural sea ocasionado por terremotos, erupciones o inundaciones, el abastecimiento de agua segura para las poblaciones es de vital importancia. Como

tal, la fuente de agua está disponible pero se requiere que ésta sea tratada antes de ser consumida.

Con base a los acontecimientos durante los meses de Enero hasta Abril del 2008, la situación de Agua y Saneamiento conforme a la OPS, en uno de sus informes señala:

La población de la Costa es aproximadamente 6.7 millones de habitantes y la cobertura de agua es de 73% en el área urbana y 39% en el área rural. Actualmente esta cobertura se ha disminuido por los daños a los sistemas de agua ocasionados por las inundaciones y además, existe contaminación de sistemas con aguas residuales, producto de los desbordes de los sistemas de alcantarillado, pozos sépticos, letrinas y basura dispersa; amenazando la salud de las poblaciones afectadas con enfermedades de origen hídrico (12).

Con base a este informe se puede constatar el déficit de agua potable que existió y comprobar que los sistemas de abastecimiento de agua potable durante estos acontecimientos son vulnerables, es por ello que tener alternativas para

abastecer a las poblaciones más afectadas es una necesidad imperante.

Es importante señalar que durante situaciones críticas el consumo per. cápita de agua se ve seriamente restringido.

La Organización Panamericana de la Salud de acuerdo a investigaciones estableció el consumo mínimo para asegurar la supervivencia tomando en consideración a la población más vulnerable como es el caso de mujeres y niños, información que se detalla en la siguiente tabla (13).

Tabla 4 Consumo mínimo de Agua en situaciones de Emergencia.

NECESIDAD BÁSICA	LITROS POR PERSONA AL DÍA	OBSERVACIONES
Consumo de agua para beber y utilizar con los alimentos	2.5 – 3	Depende del clima y la fisiología individual.
Prácticas básicas de higiene	2 – 6	Dependen de las normas sociales y culturales.
Cocina	3 – 6	Depende del tipo de alimentos, normas sociales y culturales.
Cantidad total de agua	7.5 – 15	Aproximado

Fuente: Organización Panamericana de la Salud

El suministro de agua constituye el bien más preciado, ésta a la vez es la principal fuente de enfermedades sino esta debidamente tratada, así como es un requerimiento básico, también es el primero que se ve afectado y por lo cual es necesario disponer de los medios para asegurar que las poblaciones afectadas reciban agua de calidad y cantidad adecuadas y que de ninguna manera vaya a poner en riesgo la salud de las personas.

1.3. Condiciones de Abastecimiento de Agua Potable para Personas Alojadas en Refugios.

Durante las diversas situaciones de emergencia y desastres que han ocurrido en el Ecuador, uno de los principales sistemas afectados fue el de agua potable, haciéndose más notoria esta carencia en los lugares destinados al alojamiento provisional de personas, donde las condiciones viales dificultaron el abastecimiento de agua.

1.3.1. Transporte.

El transporte de agua durante una situación de emergencia se dificulta debido al mal estado de las vías, situación que se evidenció en la época invernal del 2008, donde muchos tramos de las vías quedaron completamente inundados provocando que varias comunidades queden incomunicadas, la única manera de llevar alimentos y agua a los alberges era por medio de lanchas, sin que fuera posible cubrir y abastecer con la cantidad mínima requerida.

1.3.2. Almacenamiento y Distribución.

El almacenamiento y la distribución de agua en la mayoría de los casos se dieron por medio de garrafones en los lugares donde no fue posible acceder por vía terrestre y por medio de tanqueros para los refugios que tuvieron un mejor acceso. Pero en ninguno de los casos se logró cubrir con los requerimientos básicos de agua.

CAPÍTULO 2

2. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUA DE FÁCIL TRANSPORTACIÓN.

Las diferentes situaciones ocurridas en el Ecuador y que han puesto en evidencia la falta de alternativas que permitan afrontar las necesidades que se presentan, en especial el aprovisionamiento de agua, han llevado en muchos casos a que la situación se vea agravada por el uso de agua insalubre lo que a conllevado principalmente a riesgos en la salud.

Es posible encontrar maneras de sobrellevar o tratar de dar solución a este problema pero se tiene que analizar que la alternativa escogida no solo garantice agua de buena calidad sino además sea un sistema de fácil uso y que no requiera una gran inversión, a continuación se detallan

tres posibles alternativas de sistemas que permitan potabilizar agua, analizando ventajas y desventajas de su uso.

2.1. Compra de Equipos en el Exterior.

La compra de equipos en el exterior presenta ventajas y desventajas.

Las principales ventajas son:

1. Disponibilidad de equipos nuevos que aún no han sido desarrollados a nivel nacional.
2. Tecnología superior.
3. Mayor variedad de equipos para una mejor selección.

En cuanto a las desventajas están:

1. Sistemas incompatibles, es necesario cerciorarse que el equipo escogido no requiera un voltaje diferente o se encuentre limitado para funcionar en algunas zonas.
2. Precios que superan a los equipos nacionales.
3. Costos y trámites de envío que provocan la demora para su puesta en operación.

2.2. Compra de Plantas Potabilizadoras de Baja Capacidad.

En el mercado también se encuentra presente esta alternativa que permite contar con una planta lista para ser instalada, es preciso también señalar algunas ventajas y desventajas que este sistema presenta, entre las cuales están:

Ventajas:

1. Brinda un sistema completo y listo para ser puesto en operación.

Desventajas:

1. El lugar de ubicación debe estar acorde a las dimensiones del sistema completo.
2. Sistema Fijo.
3. Costos elevados.
4. Contínuo control técnico y operativo debido a que algunos de los sistemas son adaptaciones de grandes ciudades y que

dadas las condiciones de las fuentes de agua hacen que estos sistemas sean deficientes.

2.3. Diseño de una Planta de Tratamiento Básica de Agua que Pueda ser Ubicada en un Contenedor para Fácil Transportación y de Inmediata Puesta en Operación.

Esta nueva alternativa de planta de potabilización presenta las siguientes ventajas:

1. Sistema completo de potabilización diseñado para usar fuentes de agua de río.
2. Planta compacta que requiere una área reducida de operación en comparación a plantas de potabilización convencionales.
3. Facilidad de uso y manejo.
4. Capacidad para trabajar en lugares donde no exista energía eléctrica.
5. Bajo costo de operación.

En cuanto a las desventajas están:

1. Podría requerir de una plataforma adicional para el traslado de equipos auxiliares como es el caso del generador de energía.

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de cada alternativa es necesario elegir la que mejor se adapte a los requerimientos, una herramienta muy útil para la toma de decisiones es la Matriz de Decisión.

La Matriz de Decisión ayuda a seleccionar de entre varias alternativas la alternativa con mayor factibilidad de realización en referencia a las demás, tomando en consideración varios factores a los cuales se les asigna un porcentaje dependiendo de la relevancia que éste tenga. El resultado para cada factor se obtiene de la multiplicación del peso asignado por el valor determinado para cada factor, el total corresponde a la sumatoria de las multiplicaciones anteriores.

Tabla 5: Matriz de Decisión

Criterios de Evaluación del Modelo	Peso	M1		M2		M3	
Disponibilidad de equipos	**20**	2	**40**	2	**40**	1	**20**
Costos de operación	**20**	3	**60**	2	**40**	1	**20**
Relevancia social	**20**	2	**40**	2	**40**	4	**80**
Capacidad de operar en condiciones adversas de energía eléctrica	**25**	1	**25**	1	**25**	2	**50**
Empleo de mano de obra especializada	**15**	2	**30**	3	**45**	2	**30**
Total	**100%**	10	**195**	10	**190**	10	**200**

Fuente: Autor de Tesis

En donde:

M1: Compra de Equipos en el Exterior.

M2: Compra de Plantas Potabilizadoras de baja Capacidad.

M3: Diseño de una Planta de Tratamiento Básica de Agua que pueda ser ubicada en un Contenedor para Fácil Transportación y de Inmediata puesta en Operación.

De los valores asignados a cada alternativa, la planta móvil constituye la mejor opción para satisfacer las necesidades de agua dadas sus características, razón por la cual en los capítulos posteriores se detallará todos los equipos y demás implementos que serán necesarios para este sistema.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA INSTALADA EN UN CONTENEDOR DE 20 PIES.

Una vez analizada la conveniencia de un sistema móvil de tratamiento de agua fue necesario diseñar y establecer la manera en que los equipos y demás accesorios deberán ser ubicados de modo que permita optimizar al máximo el espacio disponible.

3.1. Parámetros para el Diseño.

El principal parámetro que se consideró para el diseño de esta planta fue el espacio disponible, se escogió un contenedor de 20 pies de

longitud por ser fácil de movilizar y ubicar en cualquier sitio, las dimensiones del contenedor se describen en la siguiente tabla:

Tabla 6 Dimensiones del Contenedor de 20 pies.

TIPO DE CONTENEDOR	DIMENSIONES EXTERNAS (m)			DIMENSIONES INTERIORES (m)		
	LARGO	ANCHO	ALTO	LARGO	ANCHO	ALTO
CONTENEDOR PLANO, 20 PIES	6,05	2,43	2,59	5,89	2,35	2,39

Fuente: Autor de Tesis

Otro parámetro que influyó son las características de la fuente de agua, que por ser agua de río presenta altos niveles de turbiedad y color.

En el Apéndice A se muestra las características físico-químicas y microbiológicas de algunos ríos de la Provincia del Guayas que dan un panorama general del estado en el que se podrían encontrar la mayoría de los ríos, se tomó como referencia tres ríos que durante las pasadas épocas invernales fueron los que provocaron mayores daños, estos ríos son: El Río Jujan a la altura del cantón del mismo

nombre, el Río Bulu-Bulu en el Km. 26 a la altura de la vía a Naranjal y el Río Chimbo a la altura del cantón Yaguachi.

3.2. Determinación de la Capacidad de Operación.

Para determinar la capacidad de operación se tomó como referencia uno de los lugares en los que esta planta sería utilizada, este es el caso de los alberges, ejemplo de uno de estos es el alberge que se situó en el Km 26 vía Naranjal durante la época invernal del año 2008 y que albergó a 84 familias, con un total de 420 personas.

Se tomó en consideración un promedio de los valores establecidos por la Organización Panamericana de la Salud en el consumo de agua potable durante situaciones de emergencia, el mismo que es de aproximadamente 15 L/persona al día, lo que permitió obtener los siguientes resultados:

Consumo para las 84 familias

$$Consumo = \#Familias \times \#Personas\ por\ Familia \times Consumo\ Agua\ a\ Día$$

$$Consumo = 84 \times 5 \times 15 L\ Agua/Persona/día$$

$$\text{Consumo} = 6300\text{L/día}$$

$$\text{Consumo} = 6{,}3\text{m}^3\text{/día}$$

Para calcular el caudal por hora se tiene:

$$Q = \frac{V}{t}$$

En donde

Q: Caudal en metros cúbicos/hora (m^3/h)

V: Volumen en metros cúbicos (m^3)

t: Tiempo en horas (h)

$$Q = \frac{6{,}3\text{m}^3}{24\text{h}}$$

$$Q = 0.26\text{m}^3/\text{h}$$

Para abastecer a un promedio de 420 personas se necesitará un caudal de 0.26m^3/h.

Debido a que en cada albergue se presta atención a un número variable de familias, el caudal con el que se trabajó para los cálculos posteriores fue de 1m^3/h.

3.3. Tratamiento a Efectuar.

El tratamiento de Potabilización depende en gran parte de la fuente de agua cruda, en este caso la fuente de agua es agua de río lo que implica Tratamiento físico y químico intensivo y desinfección.

Figura 3.2 Diagrama de Potabilización.

Fuente: Autor de Tesis

3.3.1. Tratamientos Físico y Químico Intensivos.

Estas etapas comprenden lo que es la Clarificación, cuyas operaciones son: Sedimentación, Coagulación / Floculación, y Filtración.

A continuación se realiza una descripción de cada una de las operaciones:

Sedimentación

Es la eliminación de sólidos suspendidos en el agua por asentamiento gravitacional (15).

En la etapa de sedimentación actúan tres Fuerzas que son: Fuerzas Externas, Fuerzas de Empuje y Fuerzas de Rozamiento (16).

Figura 3.3 Fuerzas Actuantes en Sedimentación.

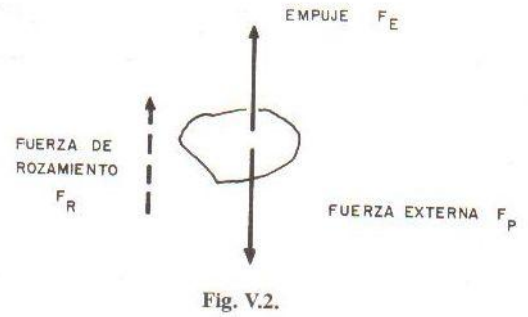


Fig. V.2.

Fuente: Teoría y Práctica de la Purificación de Agua

Fuerza Externa: En una gran cantidad de los casos, como por ejemplo en la sedimentación simple de partículas en suspensión de agua, la fuerza externa es solo el peso propio. Sin embargo, deben considerarse igualmente como fuerza externa las fuerzas de inercia, las que pueden tener una acción preponderante en la separación (16).

Empuje*:* Es el peso del fluido desalojado, según el principio de Arquímedes, esto ocurre porque el agua ofrece una fuerza opuesta al peso (reacción del líquido).

Fuerza de Rozamiento: El rozamiento es un fenómeno físico que se manifiesta como una resistencia que opone un cuerpo al movimiento de otro que este en contacto con él, o al movimiento relativo de las partículas en el interior de un material (líquido, gas).

Además de las fuerzas actuantes existen otros factores que se deben tener presentes durante la operación, los mismos que son: Que el agua al entrar en el tanque provoque la mínima turbulencia, el impedir corrientes en corto circuito o directas entre la entrada y la salida, y que el efluente salga sin provocar disturbios para que no arrastre hacia fuera del tanque el material sedimentado (15).

Coagulación / Floculación

Los procesos de coagulación y floculación se emplean para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos siempre que su rapidez natural de asentamiento sea muy baja para proporcionar clarificación efectiva (15).

El proceso de Coagulación y Floculación se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de substancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros (16).

Es preciso distinguir los fenómenos que ocurren durante los procesos de coagulación y floculación, los mismos que son:

1. ***Coagulación***: Comienza en el mismo instante en el que se agrega los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma, que provocan la desestabilización de las partículas

suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas (16).

La coagulación requiere de compuestos químicos que son los coagulantes. Los Coagulantes se pueden clasificar en dos grupos: Polielectrolitos o ayudantes de coagulación y Coagulantes Metálicos (16).

Polielectrolitos: Un polímero puede definirse como una sustancia formada por una cantidad de unidades básicas, llamadas Monómeros, unidas por enlaces covalentes que se repiten sucesivamente. Su grado de polimerización esta dado por el número de monómeros que conforman su cadena polimérica.

El tipo de polímero que se forme depende de la naturaleza de los grupos funcionales que lo integran. Todos los monómeros capaces de formar polímeros deben tener por lo menos dos núcleos activos para que la macromolécula formada pueda conservar su configuración inicial. Cuando

las cadenas poliméricas tienen múltiples grupos funcionales activos se denominan POLIELECTROLITOS (16).

Los Polielectrolitos pueden ser de origen natural o sintético. Los Polielectrolitos Naturales son los que se producen en las reacciones bioquímicas naturales de animales y plantas, tales como proteínas, carbohidratos y polisacáridos (almidón, glucósidos), mientras que los Polielectrolitos Sintéticos son compuestos orgánicos producidos por medio de la transformación química de derivados del carbón y del petróleo (16).

Coagulantes Metálicos: Existe una variedad de coagulantes metálicos que se pueden clasificar en dos tipos:

Sales de Aluminio: Las sales de aluminio forman un floc ligeramente pesado, las más conocidas de éstas son: Sulfato de Aluminio, Sulfato de Aluminio Amoniacal y el Cloruro de Polialuminio. El primero es el coagulante que por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo se usa con

mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de agua potable.

Sales de Hierro: Tienen ventaja sobre las sales de aluminio en algunos casos, porque forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento y porque pueden trabajar con un rango de pH mucho más amplio. Por tanto, se usan cuando el sulfato de aluminio no produce una coagulación adecuada o cuando los sedimentadores están demasiado recargados y resulta económico aumentar el peso del floc para incrementar la eficiencia de ellos. Las más conocidas de las sales de hierro son: Cloruro Férrico, Sulfato Férrico y Sulfato Ferroso (16).

2. **Floculación:** Es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores (16).

La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los floculos, un mezclado demasiado intenso

los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos (15).

Como se describió anteriormente la dosis del coagulante es un factor que influye en el proceso de coagulación. Para determinar la dosis óptima de coagulante se debe realizar el Sistema de Simulación del Proceso de Coagulación (Prueba de Jarras), procedimiento que se describe a continuación:

Prueba de Jarras

a) Determinar los parámetros iniciales del agua cruda como son Turbiedad, pH, color.
b) Llenar los seis vasos del equipo de prueba de jarras con 1000ml de la muestra de agua cruda.
c) Agregar las diferentes dosis de coagulante (sulfato de aluminio) a cada Jarra, con rangos que pueden ir de 2 ppm a 7 ppm.
d) Inmediatamente después agregar el Polielectrolito en diferentes concentraciones que pueden ir de 0.1 a 0.3 ppm.

e) Proceder a una agitación rápida de 100 RPM durante 1 minuto.
f) Cambiar a una agitación lenta de 40 RPM durante 15 minutos.
g) Dejar en reposo durante un tiempo aproximado de 5 minutos.
h) Medir otra vez los parámetros de turbiedad, pH, color, teniendo la precaución de no romper el floc que se ha formado.

Nota:

La solución de Sulfato de Aluminio para la prueba de Jarras es al 1% de concentración, mientras que para el polímero se puede trabajar con una concentración máxima del 1%, siendo el 0.5% la concentración más recomendada. Debido al uso del Sulfato, el pH del agua puede disminuir para la cual se requiere adicionar cal en una concentración del 1%.

Adicionalmente a esta prueba se puede hacer otra prueba de jarras en la que se analiza como influye la concentración de la dosis de coagulante, partiendo de la dosis óptima de coagulante encontrada en la prueba de jarras anterior, ahora se varía las

concentraciones en 0.5%, 1%, 5% y 10% de Sulfato de Aluminio.

Filtración

El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. En consecuencia el trabajo que los filtros desempeñan, depende directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos preparatorios.

La filtración puede efectuarse en muchas formas: Con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en medios porosos (pastas arcillosas, papel de filtro) o en medios granulares (arena, antracita, granate o combinados), con flujo ascendente de abajo hacia arriba o descendente de arriba hacia abajo y mixto (parte ascendente y parte descendente). Por último el filtro puede trabajar a presión o por gravedad según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante, en la siguiente tabla se muestra la clasificación de los filtros (15).

Tabla 7 Clasificación de los Filtros.

Según la velocidad de filtración	**Según el medio filtrante usado**	**Según el sentido del flujo**	**Según la carga sobre el lecho**
Rápidos 120-360 m3/m2/día	1, Arena (h=60-75cm)	Ascendentes	Por gravedad
	2, Antracita (h=60-75cm)		
	3, Mixtos: Antracita (35-50cm) Arena (20-35cm)	Descendentes	Por presión
	4, Mixtos: Arena, Antracita, Granate	Flujo Mixto	
Lentos 7-14 m3/m2/día	Arena (h=60-100 cm.)	Descendentes Ascendentes Horizontal	Por gravedad

Fuente: Teoría y Práctica de la Purificación del Agua tomo II

Existe una larga lista de factores que de una forma u otra influyen en el proceso de filtración, entre los cuales están (17):

1. **Tipo de medio filtrante**: Se pueden dividir en dos grupos: Los que actúan formando una barrera delgada que permite el paso solo del fluido y no de las partículas sólidas en suspensión en él. Los que actúan formando una barrera gruesa al paso del fluido. Entre los primeros, se encuentran los filtros de tela, los de criba y el papel de filtro común de los laboratorios. Entre los segundos están los filtros de lecho de arena, los de cama de coque, de cerámica porosa, metal poroso y los de pre capa (20).

2. **Tipo de suspensión**
    a. Características físicas (volumen, densidad, tamaño).
    b. Características químicas (pH, etc).

3. **Dureza del floc:** Es la distribución del material retenido dentro del lecho filtrante, es función del grado de dureza del floc. Cuando éste resiste bien los esfuerzos cortantes, se concentra más en las zonas de menor permeabilidad y la carrera de filtración es más corta. Cuando el floc en cambio es más blando, se distribuye más uniformemente en todo el

lecho y su posibilidad de aparecer en el efluente se aumenta, cualquiera sea la capa inferior que se use (21).

Un tipo especial de filtración es la realizada con carbón activado que elimina el gusto a cloro 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 trihalometano, radón, los solventes y otros productos hechos por el hombre y que se encuentran en las aguas.

3.3.2. Desinfección.

Los procesos de sedimentación, coagulación y filtración remueven, con mayor o menor eficiencia, la mayoría de las bacterias y virus presentes en el agua.

Desde este punto de vista pueden ser considerados como procesos preparatorios para la desinfección pues cumplen dos objetivos:

1. Disminuyen la carga bacteriana del agua.
2. Hacen más eficientes los métodos de desinfección (17).

La desinfección del agua también puede ser realizada como un tratamiento previo a la etapa de coagulación lo que se conoce como híper-cloración con dosis superiores a los 5ppm de Hipoclorito de Sodio en aguas con cargas microbianas elevadas, el exceso de cloro es eliminado con el uso de filtros de carbón.

Mediante la desinfección se logra la destrucción de los organismos causantes de enfermedades o patógenos presentes en ella, dentro de estos microorganismos se pueden mencionar:

1. Bacterias
2. Protozoarios

3. Virus
4. Trematodos (17).

La desinfección se logra mediante desinfectantes químicos y/o físicos. Estos agentes también extraen contaminantes orgánicos del agua, que son nutrientes o cobijo para los microorganismos. Los desinfectantes no solo deben matar a los microorganismos sino que deben además tener un efecto residual, que significa que se mantienen como agentes activos en el agua después de la desinfección para prevenir el crecimiento de los microorganismos en las tuberías provocando la recontaminación del agua (18).

Las condiciones que debe tener un desinfectante ideal para poder ser usado en las plantas de purificación son:

1. Debe ser capaz de destruir los microorganismos causantes de enfermedades.
2. Debe realizar esta labor a la temperatura del lugar y en un tiempo adecuado.

3. No debe hacer el agua tóxica peligrosa para la salud o de sabor desagradable.
4. Debe ser de fácil obtención, sencillo manejo y bajo costo.
5. Su concentración en el agua debe poderse determinar prontamente.
6. Debe dejar un efecto residual, para que proteja el agua contra posteriores contaminaciones (17).

Por ser la desinfección una reacción depende de los siguientes factores:

1. Relación Concentración-Tiempo: La eficiencia de la desinfección depende de la relación entre el tiempo de contacto y la cantidad de desinfectante dosificado. Una alta concentración necesitará menos tiempo para matar el 100% de los organismos que una concentración débil (17).

2. Temperatura: La temperatura también influye en la afectividad de los desinfectantes. El aumento de la temperatura produce un aumento de la velocidad de las reacciones y la desinfección. También puede provocar la

volatilización o in activación del agente desinfectante contra la desinfección (18).

3. Potencial Hidrógeno o pH: Las bacterias son altamente susceptibles al pH como a la temperatura. Los potenciales muy altos o muy bajos les son fatales. Los virus a un pH menor a 4 y mayor a 10 sobreviven solamente horas, el pH óptimo de los microorganismos esta alrededor de 7. En igual forma, la actividad de los desinfectantes químicos depende del pH del agua. Generalmente cada desinfectante presenta un rango de pH, en el cual tiene su máxima efectividad, lo cual constituye su característica (17).

4. Número y Tipo de Organismos: El número de organismos presentes en el proceso no afecta el proceso de desinfección. La misma concentración y tiempo de contacto del desinfectante se necesitan para matar una gran cantidad de microorganismos que una pequeña, siempre y cuando la temperatura y el pH sean los mismos. El tipo de microorganismos en cambio si influye notablemente en los

resultados, pues la sensibilidad de cada especie varía según el desinfectante (17).

Modos de Desinfección del Agua: La desinfección se la puede dividir en natural y artificial. La primera se refiere a la muerte progresiva de las bacterias, producidas por agentes naturales tales como la luz solar, la sedimentación, la filtración en las capas arenosas del suelo o la estabilización de la materia orgánica que disminuye la reserva del alimento para los microorganismos. La desinfección artificial puede realizarse mediante agentes físicos o químicos (17).

Los siguientes son algunos de los compuestos físicos para la desinfección del agua:

Luz Ultravioleta (UV): Se hace pasando una lámina de agua delgada bajo una fuente de rayos ultravioleta. La penetración de los rayos, así como la eficiencia de la desinfección depende de la turbiedad del líquido (17).

Calor: Es principalmente un sistema de desinfección doméstico no aplicable a plantas de purificación. Quince o veinte minutos a temperatura de ebullición son suficientes para destruir cualquier microorganismo patógeno. El agua, sin embargo, adquiere un sabor peculiar debido a la expulsión de los gases por el incremento de temperatura (17).

Radiación Electrónica y Rayos Gamma: Tiene como ventajas la confianza, efectos colaterales beneficiosos, sin efectos residuales, pero tiene los inconvenientes de que requiere una alta seguridad, costo excesivo y falta de experiencia (22).

Los desinfectantes químicos tienen un amplio uso en la mayoría de plantas de potabilizacion, de los desinfectantes químicos, el más conocido de todos es el cloro, el cual por ser ampliamente utilizado se estudiará con más detalle.

Cloro: El cloro es una opción de tratamiento de bajo costo que se utiliza para mejorar el sabor y la claridad del agua, a la vez se eliminan muchos microorganismos como bacterias y virus. El

cloro elimina además sustancias como el manganeso, hierro y ácido sulfhídrico, el cual puede alterar el sabor del agua.

El tratamiento con cloro tiene algunos efectos residuales. Entre los más notorios se encuentra el sabor desagradable en el agua tratada. Pero otros efectos posteriores pueden ser más significativos. Quedan cantidades residuales de cloro en los suministros de agua tratada, este contenido químico continúa protegiendo al agua tratada contra la reinfección, que puede ser beneficioso para el agua sujeta a largos períodos de almacenamiento por la lenta distribución en áreas extensas. Infortunadamente, demasiado cloro residual puede producir también subproductos químicos, algunos de los cuales pueden ser carcinógenos. Sin embargo, estos riesgos para la salud usualmente se consideran menores, comparados con los efectos de los patógenos en el agua sin tratamiento.

La eficiencia de la desinfección con cloro debe analizarse desde tres puntos de vista:

1. De acuerdo con el tipo de microorganismos que se intenta destruir: Las bacterias pueden ser destruidas con dosis residual de cloro libre de 0.50mg/L, esta misma dosis produce muy poco efecto en protozoarios o virus, debido a la naturaleza de los mismos, por ejemplo el virus de la polio es 10 veces más resistente que la bacteria E. coli, es por esta razón que la reducción de la población de protozoarios y virus se debe confiar a los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración, sin embargo con estos procesos no se garantiza la eliminación de todos los virus.

2. De acuerdo con el compuesto de cloro que se forma en el agua: Al agregar cloro al agua, lo primero que ocurre es que éste se hidroliza reaccionando con el H_2O, luego se combina con el amoniaco presente y con la materia orgánica, así como con ciertas sustancias químicas para producir una gran diversidad de compuestos, algunos de los cuales tienen propiedades desinfectantes y otros no (17).

   La reacción del cloro con el agua es una reacción hidrolítica por la cual se produce ácido hipocloroso (HOCl) que es un bactericida potente e lón hipoclorito que es un bactericida

muy pobre, estos compuestos formados se les llama **cloro libre.** La proporción en que exista uno y otro depende directamente del pH, por ejemplo a pH igual o mayor a 10 todo el cloro libre esta en forma de lón hipoclorito, y en cambio, a un pH igual o inferior a 5.5 todo el cloro libre esta en forma de ácido hipocloroso.

3. De acuerdo con el tiempo de contacto del cloro con el agua: Cuando se añade un desinfectante al agua, no solo reacciona con microorganismos patógenos, sino también con otras sustancias presentes en el agua, como impurezas, metales solubles, partículas, materia orgánica y otros microorganismos. La demanda de desinfectante del agua es la necesidad de utilización de una cierta concentración de agente desinfectante para reaccionar con estas sustancias. Esta demanda de agente desinfectante se debe satisfacer, antes de que exista una concentración residual de desinfectante. Además, la concentración residual se tiene que mantener el tiempo de contacto necesario para matar los microorganismos patógenos. Por lo tanto para una desinfección efectiva es necesario suministrar una concentración mayor de desinfectante que

la meramente requerida para matar los microorganismos patógenos (23).

El cloro puede ser usado como hipoclorito de Sodio, Hipoclorito de Calcio, Dióxido de Cloro.

Hipoclorito de Sodio: El Hipoclorito de Sodio o lejía representa seguramente uno de los más potentes y eficaces germicidas de amplio espectro descubiertos por el hombre, teniendo la capacidad de destruir hasta el 99'99% de los gérmenes - bacterias, virus, algas, huevos, esporas y protozoos, si se respetan las condiciones de uso correctas, como la concentración y el tiempo de contacto entre el desinfectante y el material a tratar (30).

Hipoclorito de Calcio: El Hipoclorito de Calcio es un sólido blanco que se descompone fácilmente en el agua liberando oxígeno y cloro. También tiene un fuerte olor a cloro (26). Inestable cuando se expone a la luz solar y a fuentes térmicas, buen desinfectante, bactericida, algicida, funguicida y blanqueador, altera su composición química cuando es

almacenado en lugares húmedos; el producto es higroscópico (27).

*Dióxido de Cloro***:** El Dióxido de Cloro es eficaz contra Giardia, bacterias, virus y en alguna medida, contra Criptosporidium. A menudo se lo combina con otros métodos de tratamiento, tales como cloración u ozonización, porque a diferencia de estos otros tratamientos no se sospecha que el dióxido de cloro produzca carcinógenos. Sin embargo, el proceso de crear dióxido de cloro es complicado. Éste requiere de técnicos especializados y monitoreo cuidadoso. Estos requisitos técnicos limitan su utilidad práctica para muchos sistemas pequeños. Al igual que el cloro y las cloraminas, el dióxido de cloro se utiliza en sistemas de distribución, pero se degrada en un tiempo menor que el cloro (19).

Además del cloro existes otros compuestos químicos usados para la desinfección del agua entre los cuales están:

Ozono: El ozono (O_3) es un poderoso agente oxidante y un eficaz desinfectante primario. Esta molécula rica en oxígeno se

bombea en sistemas de agua para eliminar contaminantes biológicos como bacterias, virus, Giardia, Criptosporidium y químicos orgánicos. Además, es eficaz para la oxidación y eliminación del hierro, azufre, manganeso y otras sustancias inorgánicas.

Infortunadamente, no produce protección residual duradera. Si es necesario almacenar el agua por periodos prolongados, o si debe distribuirse a grandes distancias, quizá sea necesario agregar a la ozonización un tratamiento residual duradero como el cloro o las cloraminas (19).

Cloraminas: Las cloraminas son una opción de tratamiento de bajo costo, pero no son típicamente adecuadas como sistema "primario" de desinfección. Este proceso trata eficazmente muchas bacterias pero es menos eficaz contra otros contaminantes. Debido a sus limitaciones, las cloraminas se emplean a menudo como un paso de desinfección secundaria. Las cloraminas se forman cuando el cloro y el amoníaco se mezclan en el agua. El proceso requiere de personal de operación tecnificado y cantidades significativas de

infraestructura. Las dos sustancias aditivas deberán combinarse en las proporciones apropiadas o el proceso no será muy eficaz.

Sin embargo, el tratamiento con cloraminas es típicamente una opción eficaz para eliminar bacterias y produce menor regusto residual que la cloración (19).

Metales: Cobre, Plata: La ionización cobre- plata desactiva la bacteria legionela y biofilm y mejora la calidad del agua. Tiene un efecto a largo plazo mayor que la mayoría de los desinfectantes. La efectividad de la ionización cobre- plata no depende de la temperatura. Cuando se utiliza este sistema se requiere un menor mantenimiento en el sistema del agua. La efectividad del método de ionización cobre- plata es dependiente del pH, lo que hace que disminuya su utilización, además cuando la concentración de sólidos disueltos es alta, la plata precipita.

3.4. Pruebas Experimentales para Determinar Concentración de Químicos a Usar y Tiempo de Sedimentación.

Las pruebas experimentales realizadas para determinar la concentración y tiempo en las diferentes etapas se llevaron a cabo siguiendo el Diagrama de Potabilización descrito en la Figura 3.2 tomando como fuente de agua cruda el agua del río Bulu-Bulu por presentar éste las condiciones más desfavorables en cuanto a características físico-químicas y microbiológicas y a la vez por ser el río que durante las pasadas épocas invernales causó severas inundaciones.

Se realizaron pruebas con dos muestras de agua una obtenida durante época de invierno y la segunda con muestras de agua en época de verano, con la finalidad de demostrar las aplicaciones que este sistema puede ofrecer. Cada prueba fue realizada por duplicado, las mismas que se detallan a continuación:

Primera Prueba: Agua en Época de Invierno

Procedimiento

Antes de realizar las pruebas fue necesario determinar los parámetros iniciales del agua cruda, como ya se mencionó anteriormente se tomaron varias muestras durante el día para tener una referencia de la variabilidad en las características del agua, los valores encontrados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8 Características Físico - Químicas del agua del Río Bulu-Bulu en diferentes horas durante Época Invernal.

Muestras	Hora	Turbiedad	pH	Color
1	08h00	80	6,7	368
2	09h00	76	6,5	366
3	10h00	75	6,6	361
4	11h00	80	6,6	382
5	12h00	82	6,7	385
6	13h00	85	6,6	378
7	14h00	85	6,7	382
8	15h00	83	6,7	387
9	16h00	84	6,6	381
10	17h00	84	6,7	379
Mezcla		83	6,7	380

Fuente: Autor de Tesis

Adicional a los análisis que se mostraron en la tabla anterior se realizaron otros análisis tomando como muestra la mezcla de agua, los resultados se muestran a continuación:

Tabla 9 Características Físico, Químicas y Microbiológicas del agua del Río Bulu-Bulu tomando en consideración la mezcla de agua de las muestras descritas en la tabla 8.

PARÁMETROS	UNIDAD	RÍO BULU-BULU	NORMA INEN	OBSERVACIÓN
Parámetros Físicos				
Olor		A lodo	No objetable	No cumple
Turbiedad	NTU	83	5	No cumple
Color	U Pt/Co	380	15	No cumple
pH		6,7	6.5-8.5	Si cumple
Sólidos Disueltos	mg/L	28,6	1000	Si cumple
Parámetros Químicos				
Amonio	mg/L	9,7	1	No cumple
Calcio	mg/L	20	70	Si cumple
Cadmio	mg/L	0,12	0.003	No cumple
Cloruros	mg/L	61	250	Si cumple
Cloro Libre Residual	mg/L	0	0.3-1.5	No cumple
Cobre	mg/L	0,9	1	Si cumple

Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0.05	Si cumple
Dureza Total	mg/L	197,7	300	Si cumple
Fosfatos	mg/L	0,1	0.1	Si cumple
Hierro	mg/L	2	0.3	No cumple
Magnesio	mg/L	12,3	30	Si cumple
Manganeso	mg/L	0,15	0.1	No cumple
Nitritos	mg/L	0	0	Si cumple
Nitratos	mg/L	6,3	10	Si cumple
Plomo	mg/L	0,01	0.01	Si cumple
Sulfatos	mg/L	120	200	Si cumple
Zinc	mg/L	0,05	3	Si cumple
Parámetros Microbiológicos				
Coliformes Totales	NMP	40	menor a 2	No cumple
Coliformes fecales	NMP	40	menor a 2	No cumple

Fuente: Autor de Tesis

Sedimentación

La manera en que se realizó esta prueba fue tomando 1 L de agua y dejándolo sedimentar, el tiempo transcurrido es el tiempo de sedimentación, que fue aproximadamente 1.2 horas, por tratarse de agua con variaciones en especial de turbiedad, es aconsejable prolongar este tiempo, por lo que se trabajó con un valor de 2 horas.

Híper – cloración

Puesto que el agua de este río tiene una elevada carga microbiana, previo a la coagulación se efectuó una híper –cloración adicionando 6 ppm de hipoclorito de sodio. El desinfectante escogido fue Hipoclorito de Sodio por sus propiedades desinfectantes, disponibilidad en el mercado y bajo costo.

Para saber la dosis de cloro a añadir se usó la siguiente fórmula:

$$V_1 = \frac{V_2 x C_2}{C_1}$$

En donde:

V_1= Volumen 1.

V_2= Volumen 2 correspondiente al volumen que se desea obtener.

C_1= Concentración 1 de la solución de la cual se parte.

C_2= Concentración 2 a la que se desea llegar.

Partiendo de una solución al 5% de concentración se tiene:

$$V_1 = \frac{1000\text{ml} \times 6\,\text{ppm}}{50000\text{ppm}}$$

$$V_1 = 0.12\text{ml}$$

Con lo cual se obtuvo 0.12ml que son los que se añadió al agua cruda, transcurrido un tiempo mínimo de 30 minutos de procedió con la siguiente etapa.

Coagulación y Floculación

Para determinar la dosis y concentración óptima se realizó la Prueba de Jarras descrita en la sección 3.2.1. El coagulante utilizado fue el Sulfato de Aluminio por su alta efectividad y sobre todo bajo costo, además del coagulante se empleó un polímero y cal. La prueba de jarras se realizó de la siguiente manera:

Preparación de Soluciones:

Sulfato de Aluminio: Dependiendo de las pruebas a realizar, *p*ara una solución patrón al 10%, se adicionó 25 g de Sulfato de Aluminio a 250 ml de agua. De esta solución se tomaron 2.5 ml y se diluyeron hasta completar 25 ml con lo que se obtuvo una solución al 1%, que es con la que se realizó la prueba de jarras.

Para determinar la influencia de la concentración del coagulante también se necesitó de Sulfato al 5% que se obtuvo añadiendo 5ml de la solución al 10% en 5 ml de agua destilada, de igual manera para la solución al 0.5%, se tomó 5 ml de la solución al 1% con 5 ml de agua destilada.

Polímero: En este caso se partió de una solución patrón al 1%, para obtener una solución al 0.5% se diluyó 50ml de la solución al 1% con 50 ml de agua destilada.

Cal: La concentración de cal fue del 1%, concentración que se obtuvo al diluir 1 g de Cal en 100 ml de agua destilada.

La dosis de coagulante y polímero a determinar de realizó en base a la mezcla de agua de las diferentes muestras obtenidas.

Una vez determinadas las condiciones iniciales del agua cruda se realizó la prueba de Jarras de la siguiente manera:

1. Se añadió a cada Jarra 1000 ml de agua cruda (mezcla de las 10 muestras), en la primera jarra se adicionó 2 ppm de la solución de Sulfato de Aluminio al 1%, en la segunda jarra esta vez se adicionó 3 ppm de la misma solución, continuando así con las demás jarras hasta 7 ppm que es la dosis de la última jarra. Para saber cuantos ml de las solución se deben adicionar para obtener las dosis antes mencionadas se usó la siguiente fórmula:

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

En donde:

V_1= Volumen 1.

V_2= Volumen 2 correspondiente al volumen que se desea obtener.

C_1= Concentración 1 de la solución de la cual se parte.

C_2= Concentración 2 a la que se desea llegar.

Partiendo de una solución al 1% y para conocer cuantas partes por millón hay presentes se tiene:

$$\text{Solución al 1\%= } \frac{1\text{grSulfato}}{100\text{mlAgua}} \times \frac{10000}{10000} = \frac{10000\text{grSulfato}}{1000000\text{mlAgua}}$$

$$= 10000\text{ppm}$$

Para el primer caso de 2ppm se tiene:

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

$$V_1 \times 10000\text{ppm} = 1000\text{ml} \times 2\,\text{ppm}$$

$$V_1 = \frac{2000}{10000} = 0.2\text{ml}$$

Esto significa que para obtener una dosis de 2ppm se debe adicionar 0.2 ml de la solución al 1% en 1000 ml de agua cruda, el mismo procedimiento se realizó para las dosis restantes, los resultados obtenidos fueron para la segunda jarra 0.3 ml, para la tercera 0.4 ml, 0.5 ml para la cuarta, 0.6 ml para la quinta y 0.7 ml para la sexta jarra.

2. Como segundo paso se añadió el polímero al 0.5% de concentración, la dosis varía entre 0.1 a 0.3 ppm, para este caso se usó 0.1 ppm, así mismo usando la formula anterior se pudo determinar los ml a dosificar, que para el caso de 0.1 ppm fue de 0.02 ml.

3. Debido al Sulfato el pH del agua disminuye para este caso se empleó cal añadiendo 10 ppm (1ml) a cada jarra.

Figura 3.4 Prueba de Jarras Primera Prueba.

Fuente: Autor de Tesis

4. Una vez colocado el coagulante, el polímero y la cal, se precedió a la agitación rápida (100RPM) durante un minuto y luego durante 15 minutos a una agitación lenta (40RPM), luego de la agitación de dejó sedimentar por 10 minutos.

5. A cada muestra de agua de las seis jarras se realizó análisis de Color, Turbiedad y pH, para así determinar que dosis produjo los mejores resultados.

Los resultados que se obtuvieron con esta prueba se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 10 Resultados Prueba de Jarras en Primera Prueba.

PARÁMETROS	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 6
Sulfato (1%)	2ppm	3ppm	4ppm	5ppm	6ppm	7ppm
Polímero (0.5%)	0,1ppm	0,1ppm	0,1ppm	0,1ppm	0,1ppm	0,1ppm
Cal (1%)	10ppm	10ppm	10ppm	10ppm	10ppm	10ppm
pH	6,3	6,8	6,6	6,8	6,6	6,4
Turbiedad(NTU)	75	68	26	6	6	17
Color (U Pt/Co)	155	102	10	7	19	30
Tamaño del Floc producido	4	4	6	8	8	4

Fuente: Autor de Tesis

El tamaño del Floc (coágulos formados por la unión de partículas desestabilizadas) producido se tomó en base al Índice de Floculación de Willcomb, este índice ayuda también a escoger la dosis óptima de coagulante dependiendo de la jarra que produce una partícula más grande, de mayor velocidad de asentamiento aparente y que deje ver el agua más cristalina entre los floculos. La descripción del Número de Índice de Floculación de Willcomb se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 11 Índice de Floculación de Willcomb.

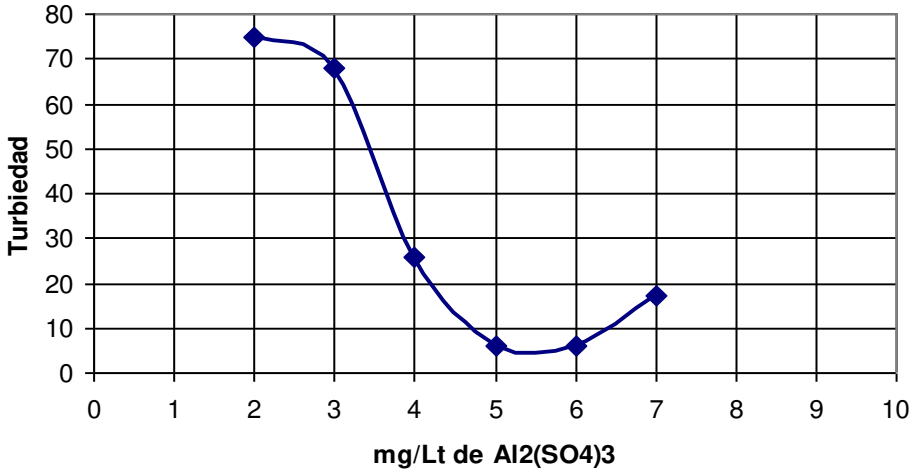
Número del Índice	Descripción
0	Floc coloidal, Ningún signo de aglutinamiento.
2	Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta).
6	Claro. Floc de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Floc que se deposita fácil pero no completamente.
10	Excelente. Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina.

Fuente: Teoría y Práctica de la Purificación del Agua tomo I

Una vez terminada la prueba de Jarras y con los datos obtenidos, se eligió que dosis fue la más conveniente.

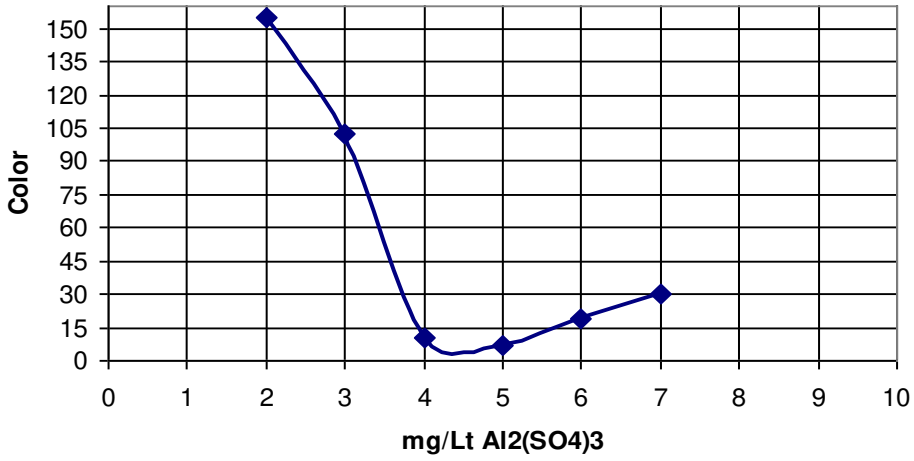
Dentro de los parámetros que se consideraron los de Turbiedad y Color fueron los que principalmente ayudaron a elegir la dosis del Sulfato. En los siguientes gráficos se muestra el comportamiento del agua frente a las diferentes dosis de Sulfato más el polímero.

Gráfico 3.3 Relación dosis de Sulfato de Aluminio vs. Turbiedad Primera Prueba.



Fuente: Autor de Tesis

Gráfico 3.4 Relación dosis de Sulfato de Aluminio vs. Color Primera Prueba.



Fuente: Autor de Tesis

Como se puede observar en la tabla y los gráficos la dosis de Sulfato de Aluminio y polímero que produjeron los mejores resultados fueron la de 5 ppm de sulfato de aluminio al 1% de concentración con 0.1 ppm de polímero al 0.5% de concentración.

Con esta primera prueba se determinó la dosis que debe ser aplicada, la segunda prueba permitió conocer que concentración es la adecuada, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

1. Se vertió en cuatro jarras 1000 ml de muestra y se agregó la dosis óptima que fue de 5 mg/L, pero esta vez con concentraciones de 0.5%, 1%, 5% y 10%, para lo cual se empleó las soluciones de Sulfato descritas anteriormente. De igual manera que para la prueba de jarras anterior, en este caso también se usó la misma fórmula para conocer cuantos ml se deben adicionar de acuerdo a las concentraciones y así mantener la dosis óptima encontrada.

   Para el caso de 0.5%

   $$V_1C_1 = V_2C_2$$

   En donde:

V_1= Volumen 1.

V_2= Volumen 2 correspondiente al volumen que se desea obtener.

C_1= Concentración 1 de la solución de la cual se parte.

C_2= Concentración 2 a la que se desea llegar.

$$1000 \times 5\,\text{pm} = V_2 \times 5000\text{ppm}$$

$$V_2 = \frac{5000}{5000} = 1\text{ml}$$

De la misma manera se procedió para las concentraciones restantes, en el caso del 1% fue de 0.5 ml para 5% 0.1 ml y para 10% 0.05 ml. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

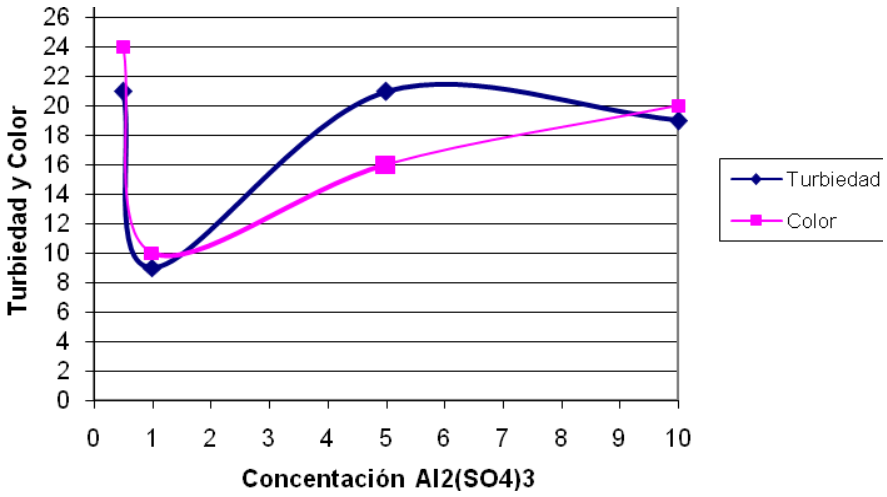
Tabla 12 Resultados a diferentes concentraciones de Sulfato. de Aluminio en Primera Prueba.

PARÁMETROS	**JARRA 1**	**JARRA 2**	**JARRA 3**	**JARRA 4**
	0.5%	**1%**	**5%**	**10%**
Sulfatos (5 ppm)	1ml	0.5ml	0.1ml	0.05ml
pH	6,3	6,7	6,2	6
Turbiedad(NTU)	21	9	21	19
Color (U Pt/Co)	24	10	16	20
Tamaño del Floc producido	4	8	8	6

Fuente: Autor de Tesis

Con estos resultados y tomando en cuenta que la turbiedad y el color son las principal característica a disminuir se realizó el siguiente gráfico en el cual se muestra de una manera más clara el comportamiento frente a las concentraciones de Sulfato.

Gráfico 3.5 Influencia de la concentración del Sulfato en la Coagulación Primera Prueba.



Fuente: Autor de Tesis

Mediante la prueba y tal como se observa en el gráfico la concentración que produjo los mejores resultados fue la de 1%.

Filtración

Transcurrida la coagulación y floculación se procedió a efectuar la filtración, esto por medio de filtros fabricados de manera artesanal, en primer lugar se hizo circular agua por un filtro de arena el cual poseía material de 4 tamaños, arena, grava fina, grava media y finalmente grava gruesa, el esquema se muestra a continuación:

Figura 3.5 Filtro de Arena.

Fuente: Autor de Tesis

Posterior al filtro de arena se usó un filtro de carbón activado con el que se removió el excedente de cloro, el filtro de carbón usado se muestra en la siguiente figura:

Figura 3.6 Filtro de Carbón Activado.

Fuente: Autor de Tesis

En el caso del filtro de carbón activado fue necesario que haya el suficiente tiempo de contacto del agua con el carbón activado para que el filtrado sea eficiente, el tiempo de contacto se conoce como EBCT (Empty Bed Contact Time) lo recomendable es de 2 a 30 minutos y para lo cual se empleó la siguiente fórmula:

$$EBCT = \frac{0.9997xV}{Q}$$

En donde:

V= Volumen aparente del lecho de carbón (en litros).

Q= Flujo del agua expresado en litros/min.

0,9997= Factor de multiplicación.

En este caso para tener un tiempo de retención de 15 minutos y con un lecho de carbón de 0.5 litros se obtuvo el siguiente caudal con el que se trabajó:

$$Q = \frac{0.9997xV}{EBCT}$$

$$Q = \frac{0.9997x0.5L}{15\min}$$

$$Q = 0.0333L/\min$$

$$Q = 33ml/\min$$

Una vez obtenido el caudal para asegurar el tiempo de contacto se procedió a armar el sistema para la filtración, el mismo que se muestra a continuación:

Figura 3.7 Sistema de Filtrado.

Fuente: Autor de Tesis

Una vez terminada la filtración se procedió a realizar los análisis de Color, Turbiedad y pH los mismos que se muestran a continuación:

Tabla 13 Análisis Agua Filtrada Primera Prueba.

PARÁMETROS	AGUA FILTRADA
Turbiedad (NTU)	1,5
pH	6,9
Color (U Pt/Co)	8

Fuente: Autor de Tesis

Los parámetros de turbiedad, pH y color que se alcanzaron están dentro de lo que la norma ecuatoriana exige.

Desinfección

De acuerdo a la Norma INEN 1 108:2006 de Agua Potable, el agua debe tener de 0.3 a 1.5 mg/L de cloro libre residual.

Como el desinfectante fue adicionado previamente para asegurar la eliminación de microorganismos, después de la filtración lo que se realizó fue un control para asegurar que exista un residual de cloro que impida que el agua nuevamente se contamine, para conocer la concentración de cloro se usó un Kit de cloro marca HACH que mide cloro libre residual.

Figura 3.8 Kit de Cloro libre Residual.

Fuente: Autor de Tesis

Al añadir el desinfectante se partió con una concentración de 6 mg/L de cloro en el agua, este valor no representa la concentración final puesto que el cloro actúa con los componentes que tiene el agua, una vez transcurridas todas las etapas se procedió a realizar la lectura cuyo resultado fue de 0.4 mg/L de cloro libre residual con lo que se cumple la norma en cuanto a la concentración de cloro.

Figura 3.9 Medición de Cloro Libre residual.

Fuente: Autor de Tesis

Los resultados después de las etapas de potabilización realizados de manera experimental se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 14 Resultados Agua Tratada Primera Prueba.

PARÁMETROS	UNIDAD	AGUA TRATADA RÍO BULU-BULU	NORMA INEN	OBSERVACIÓN
Parámetros Físicos				
Olor		No Objetable	No objetable	Si cumple
Turbiedad	NTU	1,5	5	Si cumple
Color	U Pt/Co	8	15	Si cumple
pH		6,9	6.5-8.5	Si cumple
Sólidos Disueltos	mg/L	10	1000	Si cumple
Parámetros Químicos				
Amonio	mg/L	0,35	1	Si cumple
Calcio	mg/L	20	70	Si cumple
Cadmio	mg/L	0,003	0.003	Si cumple
Cloruros	mg/L	55	250	Si cumple
Cloro Libre Residual	mg/L	0,4	0.3-1.5	Si cumple
Cobre	mg/L	0,9	1	Si cumple
Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0.05	Si cumple
Dureza Total	mg/L	197,7	300	Si cumple
Fosfatos	mg/L	0,1	0.1	Si cumple
Hierro	mg/L	0,2	0.3	Si cumple

Magnesio	mg/L	12,3	30	Si cumple
Manganeso	mg/L	0.08	0.1	
Nitritos	mg/L	0	0	Si cumple
Nitratos	mg/L	6,3	10	Si cumple
Plomo	mg/L	0,01	0.01	Si cumple
Sulfatos	mg/L	110	200	Si cumple
Zinc	mg/L	0,05	3	Si cumple
Parámetros Microbiológicos				
Coliformes Totales	NMP	Menor a 2	menor a 2	Si cumple
Coliformes fecales	NMP	Menor a 2	menor a 2	Si cumple

Fuente: Autor de Tesis

Como se puede observar luego del tratamiento efectuado el agua cumple con los requisitos que establece la norma para ser considerada como potable.

Segunda Prueba: Agua en Época de Verano

Procedimiento

De la misma manera como se realizó la primera prueba, en esta segunda prueba se tomaron varias muestras durante el día para tener una referencia de la variabilidad en las características del agua, los valores encontrados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 15 Características Físico - Químicas del agua del Río Bulu-Bulu en diferentes horas durante Época de Verano.

Muestras	Hora	Turbiedad	pH	Color
1	08h00	12	7.44	72
2	09h00	15	7.34	48
3	10h00	20	7.42	46
4	11h00	25	7.31	50
5	12h00	24	7.11	56
6	13h00	14	7.33	40
7	14h00	22	7.35	56
8	15h00	15	7.28	61
9	16h00	12	7.30	65
10	17h00	12	7.28	69
Mezcla		16	7.31	71

Fuente: Autor de Tesis

Al igual como se hizo en la primera prueba también en este caso se realizaron los siguientes análisis:

Tabla 16 Características Físico, Químicas y Microbiológicas del agua del Río Bulu-Bulu tomando en consideración la mezcla de agua de las muestras descritas en la tabla 15.

PARÁMETROS	UNIDAD	RÍO BULU-BULU	NORMA INEN	OBSERVACIÓN
Parámetros Físicos				
Olor		Ligero fermentado	No objetable	No cumple
Turbiedad	NTU	16	5	No cumple
Color	U Pt/Co	71	15	No cumple
pH		7,3	6.5-8.5	Si cumple
Sólidos Disueltos	mg/L	35	1000	Si cumple
Parámetros Químicos				
Amonio	mg/L	9,7	1	No cumple
Calcio	mg/L	20	70	Si cumple
Cadmio	mg/L	0,12	0.003	No cumple
Cloruros	mg/L	92	250	Si cumple
Cloro Libre Residual	mg/L	0	0.3-1.5	No cumple
Cobre	mg/L	1	1	Si cumple
Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0.05	Si cumple
Dureza Total	mg/L	157,3	300	Si cumple
Fosfatos	mg/L	0,1	0.1	Si cumple
Hierro	mg/L	2	0.3	No cumple
Magnesio	mg/L	12,3	30	Si cumple
Manganeso	mg/L	0,2	0.1	No cumple
Nitritos	mg/L	0	0	Si cumple
Nitratos	mg/L	6,3	10	Si cumple

Plomo	mg/L	0,01	0.01	Si cumple
Sulfatos	mg/L	160	200	Si cumple
Zinc	mg/L	0,05	3	Si cumple
Parámetros Microbiológicos				
Coliformes Totales	NMP	60	menor a 2	No cumple
Coliformes fecales	NMP	52	menor a 2	No cumple

Fuente: Autor de Tesis

Sedimentación

En este caso la sedimentación tomó un tiempo aproximado de 1,5 horas.

Híper – cloración

La carga microbiana tanto en la primera prueba como en esta segunda prueba presentó características similares por lo que también se procedió a realizar una híper – cloración con 6 ppm de cloro es decir 0,12 ml de cloro, dejando un tiempo de contacto de 30 minutos.

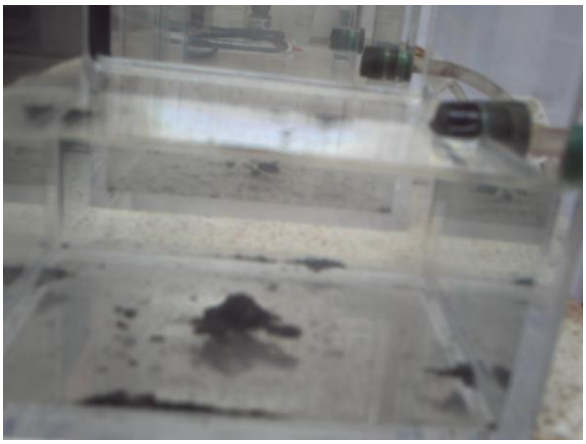
Coagulación y Floculación

Para determinar la dosis de coagulante y polímero se realizó la prueba de jarras con la misma dosis y con la misma concentración usada en la primera prueba, en este caso debido a que el pH estaba dentro del rango solo se usó 0.5 ml de cal en cada jarra .

Figura 3.10 Prueba de Jarras Segunda Prueba.

Fuente: Autor de Tesis

Figura 3.11 Floculos formados durante Prueba de Jarras Segunda Prueba.



Fuente: Autor de Tesis

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

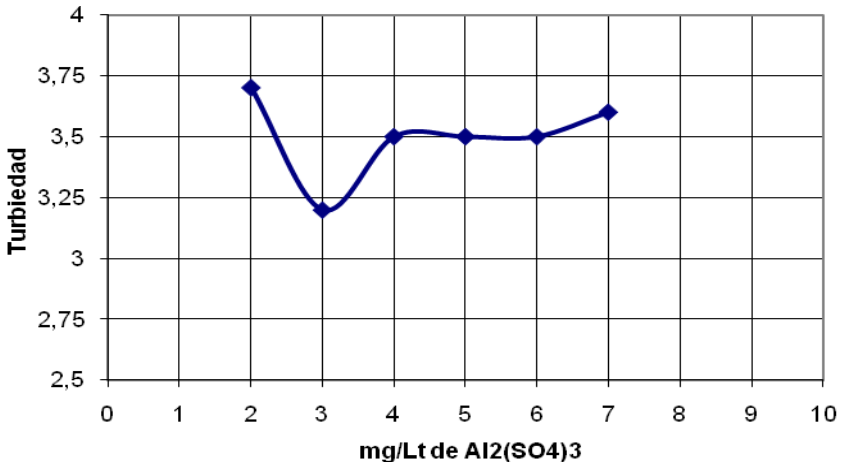
Tabla 17 Resultados Prueba de Jarras Segunda Prueba.

PARÁMETROS	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 6
Sulfato (1%)	2ppm	3ppm	4ppm	5ppm	6ppm	7ppm
Polímero (0.5%)	0,1ppm	0,1ppm	0,1ppm	0,1ppm	0,1ppm	0,1ppm
Cal (1%)	5ppm	5ppm	5ppm	5ppm	5ppm	5ppm
pH	7.73	7.5	7.51	7.53	7.58	7.65
Turbiedad(NTU)	3.7	3.2	3.5	3.5	3.5	3.6
Color (U Pt/Co)	59	33	19	18	110	63
Tamaño del Floc producido	2	4	4	4	8	8

Fuente: Autor de Tesis

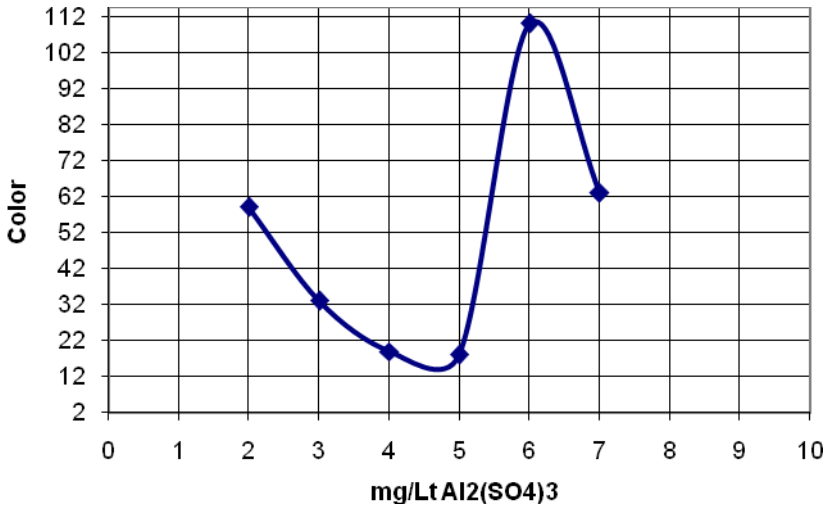
En los siguientes gráficos se muestra el comportamiento del agua frente al coagulante en los que respecta a Turbiedad y Color.

Gráfico 3.6 Relación dosis de Sulfato de Aluminio vs. Turbiedad Segunda Prueba.



Fuente: Autor de Tesis

Gráfico 3.7 Relación dosis de Sulfato de Aluminio vs. Color Segunda Prueba.



Fuente: Autor de Tesis

Como se puede observar en la tabla y los gráficos la dosis de Sulfato de Aluminio y polímero que produjeron los mejores resultados fueron la de 5 ppm de sulfato de aluminio al 1% de concentración con 0.1 ppm de polímero al 0.5% de concentración.

Para determinar que concentración es la adecuada se procedió con una segunda prueba de jarras de la misma manera que en la primera muestra usando Sulfato de Aluminio al 0.5%, 1%, 5% y 10%, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

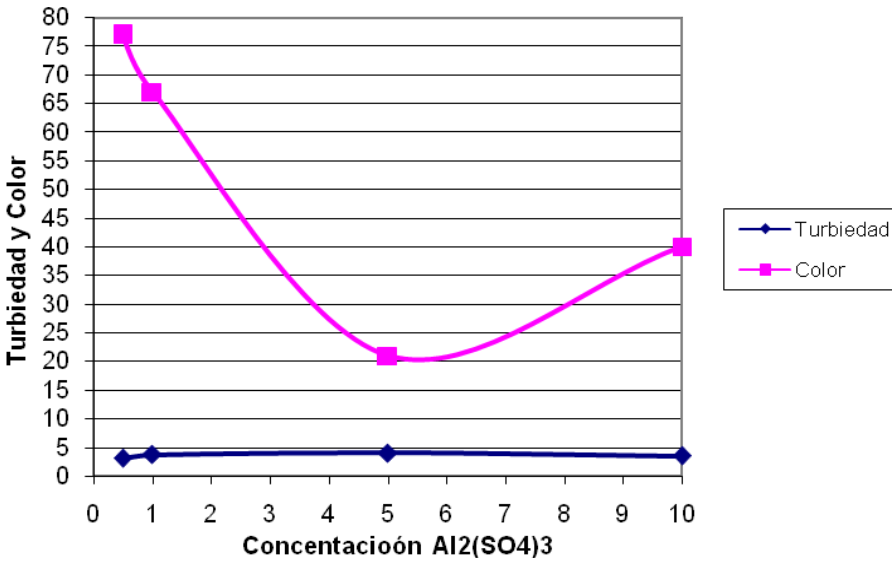
Tabla 18 Resultados a diferentes Concentraciones de Sulfato de Aluminio Segunda Prueba.

PARÁMETROS	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4
	0.5%	1%	5%	10%
Sulfato (5 ppm)	1ml	0.5ml	0.1ml	0.05ml
pH	7,29	7,25	7,19	7,1
Turbiedad(NTU)	3.1	3.7	4	3.5
Color (U Pt/Co)	77	67	21	40
Tamaño del Floc producido	4	6	8	8

Fuente: Autor de Tesis

Con estos resultados y tomando en cuenta Turbiedad y Color se realizó el siguiente gráfico en el cual se muestra de una manera más clara el comportamiento frente a las concentraciones de Sulfato.

Gráfico 3.8 Influencia de la concentración del Sulfato en la Coagulación Segunda Prueba.



Fuente: Autor de Tesis

En este caso la concentración que produjo los mejores resultados fue la de 5%, debido a la menor cantidad de sólidos suspendidos presentes en el agua.

Filtración

Los filtros usados fueron los mismos descritos en la primera prueba, con el mismo tiempo de contacto y cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 19 Análisis Agua Filtrada Segunda Prueba.

PARÁMETROS	AGUA FILTRADA
Turbiedad (NTU)	2,3
pH	7,4
Color (U Pt/Co)	9

Fuente: Autor de Tesis

Desinfección

El proceso de desinfección se lo realizó con Hipoclorito de Sodio usando la misma metodología que la primera prueba, con las mismas dosis y concentraciones, obteniéndose al final una concentración de cloro de 0,4 mg/L.

Los resultados después de las etapas de potabilización realizados de manera experimental se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 20 Resultados Agua Tratada Segunda Prueba.

PARÁMETROS	UNIDAD	RÍO BULU-BULU	NORMA INEN	OBSERVACIÓN
Parámetros Físicos				
Olor		No objetable	No objetable	Si cumple
Turbiedad	NTU	2,3	5	Si cumple
Color	U Pt/Co	9	15	Si cumple
pH		7,4	6.5-8.5	Si cumple
Sólidos Disueltos	mg/L	32	1000	Si cumple
Parámetros Químicos				
Amonio	mg/L	0,35	1	Si cumple
Calcio	mg/L	20	70	Si cumple
Cadmio	mg/L	0,003	0.003	Si cumple
Cloruros	mg/L	81	250	Si cumple
Cloro Libre Residual	mg/L	0,4	0.3-1.5	Si cumple
Cobre	mg/L	1	1	Si cumple
Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0.05	Si cumple
Dureza Total	mg/L	157,3	300	Si cumple
Fosfatos	mg/L	0,1	0.1	Si cumple
Hierro	mg/L	0,2	0.3	Si cumple
Magnesio	mg/L	12,3	30	Si cumple
Manganeso	mg/L	0,1	0.1	Si cumple
Nitritos	mg/L	0	0	Si cumple
Nitratos	mg/L	6,3	10	Si cumple
Plomo	mg/L	0,01	0.01	Si cumple
Sulfatos	mg/L	145	200	Si cumple
Zinc	mg/L	0,05	3	Si cumple
Parámetros Microbiológicos				

Coliformes Totales	NMP	Menor a 2	menor a 2	Si cumple
Coliformes Fecales	NMP	Menor a 2	menor a 2	Si cumple

Fuente: Autor de Tesis

Como se puede observar luego del tratamiento efectuado el agua en esta segunda prueba también cumple con los requisitos que establece la norma para ser considerada como potable.

En las dos pruebas realizadas se logró una potabilización eficaz del agua, en cada etapa las concentraciones de Turbiedad y Color fueron disminuyendo en diferente proporción consiguiéndose al final agua potable.

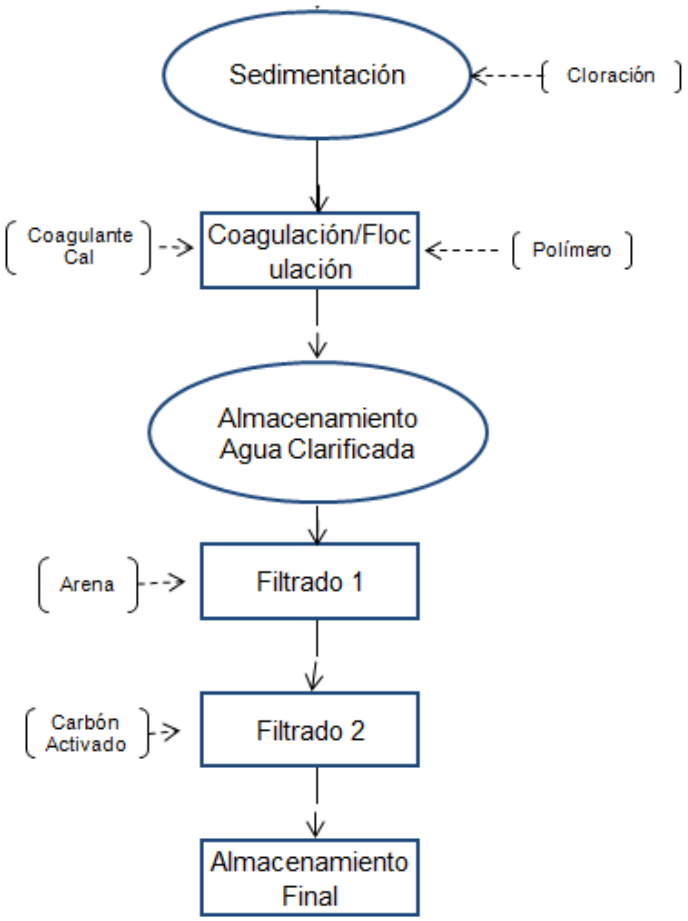
3.5. Capacidad y Selección de Equipos.

Una vez demostrada la factibilidad de la potabilización del agua de río el segundo paso fue determinar la capacidad de los equipos y seleccionar los que mejor de adapten a las dimensiones puesto que la

selección de los equipos esta restringida por el espacio que tiene el contendor cuyas dimensiones se describieron en la Tabla 6.

En el siguiente diagrama se muestra las etapas por las que el agua circularía y en base al cual se determinó capacidades teniendo como referencia la producción de 1 m^3/h.

Figura 3.12 Diagrama de Proceso.



Fuente: Autor de Tesis

Captación de Agua de Río

El agua de río ingresará por una manguera de 1 pulgada por medio de una criba seguida de una válvula check tipo canastilla que impide que cuerpos extraños se introduzcan y que la bomba de succión se quede sin agua, puesto que la fuerza del agua y los cuerpos extraños ejercen mucha presión si se coloca la tubería con la criba sin protección ésta colapsaría, por esta razón en el sitio donde se succione el agua adicional habrá una malla sumergida que rodea la manguera para una doble protección.

Sedimentación

La etapa de sedimentación implica disponibilidad de espacio, de las pruebas experimentales se determinó un tiempo promedio de sedimentación de dos horas, puesto que el caudal es de 1 m^3/h el volumen mínimo del sedimentador será de 2 m^3.

Como sedimentador se optó por una piscina que brinda la facilidad de ser ubicada en cualquier sitio provista de una cubierta plástica.

Para el cálculo de las dimensiones de la piscina de tomó como referencia un volumen de 3 m^3 puesto que adicional a la sedimentación en esta etapa se efectuará la desinfección con Hipoclorito de Sodio, las medidas se calcularon de la siguiente manera:

$$V = Axh$$

En donde:

V: Volumen en metros cúbicos (m^3).

A: Área en metros cuadrados (m^2).

h: Altura en metros (m).

$$3m^3 = Axlm$$

$$A = 3m^3 / 1m$$

$$A = 3m^2$$

Conociendo el área de la piscina se puede determinar el diámetro, el mismo que se lo obtiene usando la siguiente fórmula:

$$A = \pi r^2$$

En donde:

A: Área en metros cuadrados.

π: Factor 3.1416.

r: Radio.

$$3m^2 = 3.1416xr^2$$

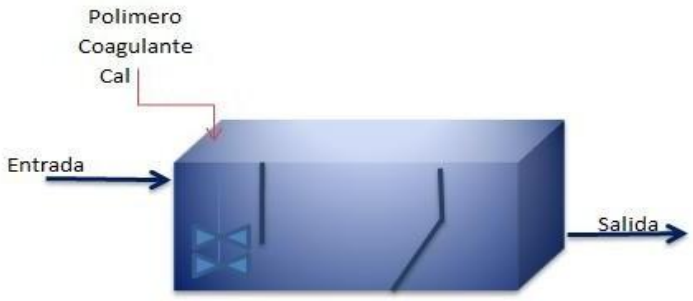
$$r = \sqrt{\frac{3m^2}{3.1416}} = 0.975$$

Conociendo que el radio es la mitad del diámetro se tiene que las medidas de la piscina son: Diámetro 1,95m, alto 1m.

Coagulación y Floculación

Las operaciones de coagulación y floculación se llevarán a cabo dentro de un mismo equipo, de acuerdo al siguiente esquema.

Figura 3.13 Equipo de Coagulación y Floculación.



Fuente: Autor de Tesis

La capacidad de este equipo será de $2m^3$ lo que da el tiempo necesario para que los flocs formados se depositen. Los productos químicos llegarán por medio de bombas dosificadoras.

Almacenamiento Agua Clarificada

Dado que la planta esta en capacidad de trabajar durante el día y la noche, aquí se almacenará el agua que sale del coagulador y que no ha terminado el tratamiento durante las horas de la noche donde el consumo de agua disminuye, esta agua semi-tratada podrá también ser usada para aseo o limpieza.

Para almacenar el agua se optó también por una piscina, esta vez con capacidad para 6 m^3 y diámetro de 2.76 m, este reservorio contará con una cubierta que impida que el agua se contamine.

Filtrado

Se empleará un filtro de Lecho mixto, arena y grava de 10 pulgadas de diámetro y 54 pulgadas de alto con un flujo de 7.5 GPM (1.7m^3/h) con control manual para enjuagues y retrolavado con difusor y colector y un filtro de Carbón activado de iguales características a las del Filtro de Lecho mixto.

Almacenamiento Final

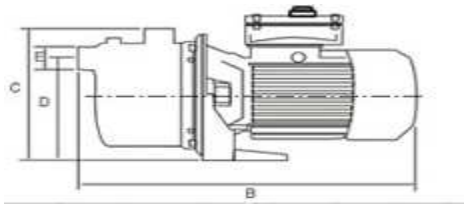
El agua potabilizada se almacenará en un tanque de polietileno de alta densidad, puesto que la distribución es permanente la capacidad de este tanque será de 3 m^3.

Equipos y Materiales Accesorios

Bombas: Se requerirá de tres bombas, la primera que será la encargada de succionar el agua del río para ser llevada al reservorio de agua cruda, la segunda que llevará el agua al equipo de coagulación-floculación y la tercera que trasladará el agua del

reservorio de agua tratada a los filtros, de acuerdo a las características del agua y al caudal, las bombas que mejor se adaptan a las necesidades son las Bombas Jet con una potencia de 1 HP para la de succión de agua de río y de ½ HP para las bombas restantes. El esquema de la bomba se muestra a continuación:

Figura 3.14 Bomba.



Fuente: Comercial Ginatta S.A

Válvulas: Las válvulas se emplearán con el fin de regular el flujo y además permitir que el fluido se detenga cuando las bombas requieran mantenimiento, las válvulas que mejor se adaptan son las de tipo Globo y de tipo compuerta para la eliminación de lodos, el esquema de las válvulas se muestra a continuación:

Figura 3.15 Válvulas.

Globo Compuerta

Fuente: Comercial Ginatta S.A

Además de las válvulas globo también se requerirá de válvulas Check de retención y tipo canastilla, que evitarán que las bombas se queden sin agua durante los periodos que no estén funcionando.

Tuberías: Las tuberías que trasladaran el agua serian de PVC por presentar este tipo de tuberías mayor resistencia y también bajo costo.

Kit de análisis para Cloro: Este equipo permitirá conocer la concentración de cloro libre residual, el procedimiento que se debe seguir para manejar este Kit así como para corregir cualquier desviación se detalla en el Apéndice B**.**

Turbidímetro: Dadas las variaciones de turbiedad el control de este parámetro debe ser constante, el manejo del mismo se detalla en el Apéndice B.

Recipientes para los Productos Químicos: Estos recipientes serán los usados para guardar las soluciones ha ser dosificadas en el equipo de coagulación y floculación con capacidad para 20 litros cada uno, lo que abastecerá para una semana de trabajo. La preparación de soluciones se detalla en el Apéndice B.

Balanza: El procedimiento para su manejo se encuentra en el Apéndice B.

Los siguientes equipos accesorios serán de uso del técnico responsable pero que también son considerados como parte del diseño de la planta móvil de potabilización.

- Equipo para pruebas de jarras.
- Peachímetro.
- Colorímetro.

- Equipo para destilación de Agua.

3.6. Estructura y Adecuación del Contenedor.

Deben existir condiciones apropiadas para que las operaciones puedan llevarse a cabo así como para que las personas puedan trabajar.

Las paredes laterales serán abatibles y cada una dividida en secciones, se dispondrá de una escalera móvil que será colocada a nivel del piso para tener acceso al contenedor la misma que al desarmarse se ubicará en un compartimento bajo el contenedor.

En un extremo del contenedor hacia la parte de afuera se dispondrá de rejas donde se colocará los recipientes para combustible.

Adicional el contenedor contará con iluminación y acondicionador de aire, un mesón para las actividades de preparación de soluciones y análisis al agua.

3.7. Distribución de los Equipos y demás Accesorios.

En la parte interna del contenedor estarán ubicados la mayoría de los equipos a excepción de los dos reservorios para agua.

Una vez seleccionados los equipos con los volúmenes a requerir se procedió a distribuirlos dentro del contenedor como se puede apreciar en el Apéndice C.

Cada equipo en las diferentes etapas requerirá diversos accesorios que permitan su funcionamiento, así se tiene:

Captación

La manguera de succión tendrá 1 pulgada de diámetro provista de una válvula check tipo canastilla, en el lugar donde se capte el agua se colocará al contorno una malla.

Reservorio para Sedimentación y Desinfección

Para que el agua llegue a este reservorio se requerirá de un bomba, por las características del agua se escogió una bomba de 1 HP de potencia, con encendido manual y eléctrico conectada a una boya eléctrica que emitirá una señal cuando el reservorio haya completado su capacidad, adicional se dispondrá de una válvula check de retención para evitar que la bomba se quede sin agua, el agua ingresará al reservorio por la parte superior, mientras que el lodo sedimentado será evacuado por la parte inferior por medio de una tubería de 3 pulgadas de diámetro provista de una válvula de compuerta.

El desinfectante llegará a la piscina por medio de una manguera que vendrá de la bomba dosificadora situada dentro del contenedor. Adicional el reservorio contará con una cubierta que impida nuevamente el ingreso de cuerpos extraños.

Equipo para Coagulación y Floculación

El agua ingresará a este equipo por medio de una bomba de ½ HP, la succión desde el reservorio de sedimentación se hará por la parte superior por medio de una tubería de 1 pulgada en cuyo extremo se tendrá otra válvula check tipo canastilla, el ingreso de agua al equipo de coagulación será por la parte superior donde se ubicará una válvula check de retención y una válvula tipo globo para regular el flujo. El equipo para coagulación constará de tres secciones, en la primera sección se adicionará el sulfato de aluminio, cal y polímero, en la segunda sección el agua asciende mientras los flocs se van formando y depositando en el fondo donde se ubicará una tubería de descarga para la eliminación de lodo de 3 pulgadas provista de una válvula de compuerta la misma que podrá ser abierta o cerrada las veces que se crea necesario, en la tercera sección se producirá la salida del agua clarificada por medio de una tubería de ¾ de pulgada.

El coagulante, la cal y el floculante llegarán a este equipo por medio de bombas dosificadoras.

Reservorio Agua Clarificada

Este reservorio permitirá que haya mayor tiempo para que los flocs formados en la etapa previa se depositen, obteniendo agua clarificada que también podrá ser usada para fines de aseo o limpieza, el agua llegará al reservorio por medio de una tubería de 3/4 de pulgada, cuando el tanque de almacenamiento este lleno, la boya eléctrica en su interior enviará una señal y la bomba que alimenta el equipo de Coagulación y Floculación se apagará. Este reservorio también contará con una cubierta plástica.

Filtros

El agua que alimenta el filtro de arena provendrá del reservorio de agua clarificada por medio de una bomba de ½ HP y por una tubería de ¾ provista de una válvula check tipo canastilla, el agua que sale del filtro de arena pasará al filtro de carbón activado y saldrá por una tubería de 1 pulgada hacia el tanque de almacenamiento, en el caso de los filtros hay que tener presente que se deberá efectuar el retrolavado lo que consiste en invertir el sentido del flujo, se requerirá de agua del tanque de almacenamiento para efectuar el retrolavado,

de la parte inferior del tanque saldrá una tubería de ¾ que se conectará a la bomba que succiona agua para alimentar a los filtros, para efectuar este procedimiento se deberá cerrar la válvula 15 y abrir la válvula 16, para los filtros se tiene:

Filtro de Arena cerrar válvulas 4, 7,9 y abrir válvulas 5, 6,8.

Filtro de carbón activado cerrar válvulas 10, 13 y abrir válvulas 9, 11, 12,13.

Después del filtro de carbón se tomará muestras para análisis de turbiedad y cloro residual.

Tanque para Almacenamiento

El agua proveniente del filtro de carbón llegará a este tanque por la parte superior, dispondrá de una boya eléctrica para que cuando el tanque haya llegado a su capacidad se apague la bomba de alimentación de los filtros. De este tanque de almacenamiento se realizará la distribución a las personas afectadas y será otro punto para la toma de muestras para análisis.

3.7.1. Sistema de Generación de Energía.

Si existen las condiciones y se dispone de energía eléctrica, las conexiones se pueden hacer directamente, pero durante las situaciones de emergencia y desastres usualmente también falla la distribución de energía, por lo cual es necesario contar con un generador.

En el caso de contar con energía eléctrica o que se requiera el uso de un generador se debe conocer cuanta energía es la necesaria de acuerdo a los equipos a usar, valores que se detallan a continuación:

Bombas

Potencia de las bombas 1 HP y ½ HP

$$2\text{HP}\,\text{x}\frac{0.7457\text{Kw}}{1\text{HP}}\,\text{x}24\text{h} = 35.8\text{Kw/h/día}$$

Equipo para Coagulación y Floculación

Este valor se estimó en 25 Kw/h/día.

Filtros

Filtros de 260W de potencia.

$$0.26\text{Kwx}24\text{h} = 6.24\text{Kw/h/día}$$

Iluminación

Se contará con 2 luminarias de 100W cada una, considerando que solo están encendidas por doce horas se tiene:

$$0.1\text{Kwxl}2\text{h} = 1.2\text{Kw/h}$$

$$1.2\text{Kw/hx}2 = 2.4\text{Kw/h/día}$$

Ventilación

Se usará un acondicionador de aire con capacidad de enfriamiento de 18000 BTU/h.

$$2\text{Kwx}24\text{h} = 48\text{Kw/h/día}$$

Equipos de Laboratorio

Para equipos de laboratorio se estimó 10 Kw/h/día.

La siguiente tabla muestra un resumen del consumo de energía:

Tabla 21 Energía Eléctrica a Requerir.

CANTIDAD	EQUIPO	CONSUMO KW/H/DÍA
3	Bombas	35,80
1	Equipo para Coagulación y Floculación	25
2	Filtros	12,48
2	Luminarias	2,4
1	Acondicionador de Aire	48
	Equipos de Laboratorio	10
Total		133,68

Fuente: Autor de Tesis

Si las circunstancias ameritan el uso de un generador de energía éste tendrá una potencia de 7 Kw que cubrirá los requerimientos de energía de los equipos.

La ubicación completa de los equipos y demás accesorios se muestran en el Apéndice C correspondiente a los planos.

CAPÍTULO 4

4. COSTOS.

La inversión siempre es un factor importante que es preciso tomar en cuenta, el objetivo de esta planta no solo es proporcionar agua potable a las comunidades afectadas por diversas situaciones de emergencia, sino también que este sistema tenga un costo de inversión que pueda ser cubierto por aquellas instituciones que decidan contar con una planta de este tipo.

La determinación de los costos implicó costos de Inversión y Costos de Funcionamiento, cada uno de los mismos con subdivisiones que se analizan en el presente capítulo.

4.1. Costos de Inversión.

Dentro de este tipo de costos están los relacionados a todos los equipos y demás accesorios previos al funcionamiento de la planta.

Para una mejor comprensión de los costos de inversión, en la siguiente tabla se detalla cada uno de los mismos con las respectivas unidades a requerir.

Tabla 22 Costos de Inversión.

NOMBRE DEL EQUIPO/ACCESORIO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Contenedor de 20 pies	1	2000	$ 2.000
Adecuación del contenedor		500	$ 500
Equipo para Coagulación y Floculación	1	800	$ 800
Filtro de Lecho Mixto Arena y Grava	1	1100	$ 1.100
Filtro de Carbón Activado	1	1300	$ 1.300
Reservorios para Agua Cruda y Tratada (piscinas plásticas)	2	600	$ 1.200
Tanque para Almacenamiento	1	500	$ 500
Bombas Jet	3	280	$ 840

Bombas Dosificadoras	4	80	$320
Válvulas Globo	17	15	$ 255
Válvula Check	3	25	$ 75
Válvula Compuerta	2	15	$30
Tuberías (1x6)	20	44	$ 880
Cubiertas para los reservorios (metros)	10	25	$ 250
Equipos de Laboratorio		1.100	$ 1.100
Luminarias	2	15	$ 30
Acondicionador de Aire	1	700	$ 700
Recipientes varios		100	$ 100
Gastos adicionales		100	$ 100
TOTAL			$ 12.080

Fuente: Autor de Tesis

Adicional a los costos descritos en la tabla anterior también se consideró los gastos como mano de obra para la instalación de la planta, diseño y depreciación de los equipos, los mismos que se detallan a continuación:

Mano de Obra: Aquí se consideró un total de $900 que incluye el personal necesario para hacer la instalación de la planta.

Diseño: Se consideró un valor de $800.

Los costos totales de inversión se detallan a continuación:

Tabla 23 Total Costos de Inversión

EQUIPOS Y ACCESORIOS	$ 12.080
Mano de Obra	$ 900
Diseño	$ 800
TOTAL	$ 13.780

Fuente: Autor de Tesis

Este valor no incluye el generador de energía que podrá ser necesitado, costo adicional de $4000 que se suma al valor total obtenido anteriormente obteniendo un nuevo total de $17.780.

Depreciación: La depreciación para el contenedor y los equipos varía entre 7 y 14 años, para los cálculos se tomó un valor referencial de 12 años con un valor de desecho del 20% del valor de la planta.

$$\text{Depreciación Anual} = \frac{\text{Costo} - \text{Valor Desecho}}{\text{Vida Útil}}$$

$$\text{Depreciación Anual} = \frac{17780 - 3556}{12}$$

$$\text{Depreciación Anual} = \$1185$$

$$\text{Depreciación Anual} = \frac{\$1185}{1\text{año}} \text{x} \frac{1\text{año}}{360\text{dias}}$$

$$\text{Depreciación} = \$3.29/\text{día}/22\text{m}^3/\text{día}$$

$$\text{Depreciación} = \$0.15/\text{m}^3$$

4.2. Costos de Funcionamiento.

Dentro de los Costos de Funcionamiento están los relacionados a Mano de Obra de Operación, Insumos Químicos, Energía Eléctrica Mantenimiento de Equipos y Personal Administrativo.

Mano de Obra: Puesto que esta planta es semiautomática solo se requerirá de una persona encargada, al funcionar la planta las 24

horas las personas responsables serían dos, una para el turno del día y la segunda para el turno de la noche. Considerando el salario básico por pago a sus servicios más beneficios se tiene:

$$Salario = (Salario básico x meses de trabajo) + Decimotercer sueldo + Decimocuarto sueldo$$

$$Salario = (240 x 12 meses) + 240 + 240$$

$$Salario = \$3360 / anual$$

Este valor multiplicado por el número de empleados da un total de $6720, con el cual se procede hacer los siguientes cálculos:

$$Salario = \frac{\$6720}{1 año} x \frac{1 año}{360 dias}$$

$$Salario = \$18.7 / día$$

$$Costo = \$18.7 / día / 22 m^3 / día$$

$$Costo = \$0.85 / m^3$$

Insumos Químicos: Dentro de los insumos se encuentra el Sulfato de Aluminio, Polímero, Cal, Hipoclorito de Sodio, costos que se determinaron a partir de las dosis obtenidas de las pruebas experimentales.

1. *Sulfato de Aluminio:* De acuerdo a las pruebas experimentales la dosis que produjo los mejores resultados fue de 5ppm al 1% de concentración en aguas más turbias y de 5ppm al 5% de concentración en aguas menos turbias, para el cálculo de los costos de sulfato de aluminio se trabajó con la concentración del 5%. Con una producción de 22m^3 al día de agua se tiene:

$$Al_2(SO_4)_3 = 22m^3/día \, x \frac{1000Lt}{1m^3} \, x0.1ml$$

$$Al_2(SO_4)_3 = 2200ml \, x \frac{1Lt}{1000ml}$$

$$Al_2(SO_4)_3 = 2.2Lt/día$$

Para 22 m^3 al día de agua se necesitará de 2,2 L de $Al_2(SO_4)_3$, teniendo en consideración que el Kg de sulfato de aluminio cuesta $0.72 para preparar 2,2 L de solución al 5% el costo será de $0.08.

$$Costo Al_2(SO_4)_3 = \$0.08/día/22m^3/día$$

$$Costo Al_2(SO_4)_3 = \$0.004/m^3$$

EL costo por m^3 de agua coagulada será de $0.004.

2. *Polímero:* En el caso del polímero la concentración con la que se realizó las pruebas experimentales fue del 0.5%, con una dosis de 0.1ppm.

$$\text{Polímero} = 22\text{m}^3/\text{día} \text{x} \frac{1000\text{Lt}}{1\text{m}^3} \text{x} 0.02\text{ml}$$

$$\text{Polímero} = 440\text{ml}$$

Para un día de trabajo se requerirá de 440 ml de polímero al 0.05% de concentración, para calcular el costo por metro cúbico se tiene:

$$\text{CostoPolímero} = \$0.022/\text{día}/22\text{m}^3/\text{día}$$

$$\text{CostoPolímero} = \$0.001/\text{m}^3$$

Cada metro cúbico de agua tendrá una inversión de $0.001 por concepto de polímero.

3. *Cal:* Para los cálculos del costo de cal se tomó como referencia la dosis de cal usada en el agua más turbia que fue de 10ppm por presentar menor pH.

$$\text{Cal} = 22\text{m}^3/\text{día} \text{x} \frac{1000\text{Lt}}{1\text{m}^3} \text{x} 1\text{ml}$$

$$Cal = 22000ml x \frac{1Lt}{1000ml}$$

$$Cal = 22Lt/día$$

Con un costo de $0.45 por Kg se tiene:

$$CostoCal = \$0.01/día/22m^3/día$$

$$CostoCal = \$0.0005/m^3$$

Cada metro cúbico de agua tendrá una inversión de $0.0005 por concepto de cal.

4. *Hipoclorito de Sodio:* La dosis sobre la cual se realizó los cálculos fue de 6ppm de cloro al 5% que comúnmente se encuentra en el mercado.

$$NaClO = 22m^3/día x \frac{1000Lt}{1m^3} x0.12ml$$

$$NaClO = 2640ml/día$$

El costo por litro de cloro en el mercado se encuentra en $0.50.

$$CostoNaClO = 2.6Lx\$0.5$$

$$CostoNaClO = \$1,3/día/22m^3/día$$

$$CostoNaClO = \$0.06/m^3$$

Cada metro cúbico de agua tendrá una inversión de $0.06 por concepto de hipoclorito de sodio.

5. *Reactivo para medir Cloro libre residual:* La medición de cloro puede realizarse dos veces en el día, el costo de las 100 unidades de reactivo es de $28, realizando los cálculos se tiene:

$$\text{CostoReactivo} = \$0.56/\text{día}/22\text{m}^3/\text{día}$$

$$\text{CostoReactivo} = \$0.03/\text{m}^3$$

6. *Carbón Activado:* El cambio de carbón activado va a depender principalmente de la calidad del agua, generalmente el cambio oscila entre los seis meses y dos años, para los cálculos se tomó como promedio 12 meses.

De acuerdo a las dimensiones del filtro se estima un volumen de carbón de 0.04m^3, con la densidad se calculó el peso para proceder hacer el cálculo de los costos.

$$\rho = \frac{\text{m}}{\text{V}}$$

En donde:

ρ: Densidad.

m: Masa.

V: Volumen.

$$450Kg/m^3 = \frac{m}{0.04m^3}$$

$$m = 0.04m^3 x 450Kg/m^3$$

$$m = 18Kg$$

Este valor dividido para el tiempo estimado de cambio se tiene:

$$\frac{18Kg}{12meses} x \frac{1mes}{30dias} = 0.05Kg/díaCarbónActivado$$

El costo del Kg de carbón es de $5 con lo que se tiene:

$$CostoCarbónActivado = \frac{0.05Kg * \$5}{1Kg} = \$0.25/díaCarbónActivado$$

$$CostoCarbónActivado = \$0.25/díaCarbónActivado/22m^3/día$$

$$CostoCarbónActivado = \$0.01/m^3$$

7. *Arena:* Es aconsejable el cambio de arena cada doce o veinticuatro meses, el tiempo va a variar dependiendo de la

calidad del agua, para los cálculos se tomó como referencia dieciocho meses.

$$\frac{170Kg}{18meses} x \frac{1mes}{30dias} = 0.31Kg/día Arena$$

El costo del Kg de arena es de $0.05 con lo que se tiene:

$$Costo Arena = 0.31Kg x \$0.05 = \$0.02/día Arena$$

$$Costo Arena = \$0.016/día Arena/12m^3/día$$

$$Costo Arena = \$0.001/m^3$$

Energía Eléctrica: Con la cantidad de energía requerida que fue calculada en la sección 3.7.1 se calculó el costo por metro cúbico de agua con un promedio de $0.08 el Kw/h.

$$Costo Energía Eléctrica = 133.68 \frac{Kw/h}{día} x \frac{\$0.08}{1Kw/h} = \$10.7/día Energía Eléctrica$$

$$Costo Energía Eléctrica = \$10.7/día Energía Eléctrica/22m^3/día$$

$$Costo Energía Eléctrica = \$0.48/m^3$$

Asumiendo el caso que la energía eléctrica sea suministrada por un generador de energía con un consumo de 8 galones de combustible por 9 horas de operación se tiene:

$$CostoEnergíaEléctrica = 18galx\$1.20$$

$$CostoEnergíaEléctrica = \$21.6/22m^3/día$$

$$CostoEnergíaEléctrica = \$0,98/m^3$$

Con los resultados se tiene que cuando se use energía eléctrica convencional el costo por metro cúbico de agua será de $0.48, pero cuando sea necesario el uso de un generador de energía el costo por metro cúbico de agua se incrementará a $0.98.

Mantenimiento: Para los cálculos el mantenimiento se estima en un valor del 1 al 3% del costo de la construcción, se tomó como base 1%.

$$CostoMantenimiento = 1\%(CostoPlanta)$$

$$CostoMantenimiento = 1\%(\$17100)$$

$$CostoMantenimiento = \$171anual$$

$$CostoMantenimiento = \frac{\$171}{año} x \frac{1año}{360dias}$$

$$CostoMantenimiento = \$0.48/22m^3/día$$

$$CostoMantenimiento = \$0.02/m^3$$

Costos Administrativos: Los costos administrativos están relacionados con la persona encargada del control de personal así como del buen funcionamiento de la planta, coordinar el mantenimiento y pedidos de productos químicos, generalmente el número de administradores depende de la tecnología de la planta y del número de habitantes, en este caso puesto que se trata de una planta pequeña un administrador podrá prestar sus servicios a tres plantas aledañas con lo que los costos disminuyen. Los costos de mano de obra se calcularon tomando como referencia un salario de $400 con 8 horas laborables.

$$Salario = (Salario básico x meses de trabajo) + Decimotercer sueldo + Decimocuarto sueldo$$

$$Salario = (400x12) + 240 + 400$$

$$Salario = \$5540/anual$$

Adicional a este valor se consideró un 10% adicional por concepto de gastos generales.

$$Costo Administrativo = \$5540 + (5540x10\%)$$

$$Costo Administrativo = \$6094/anual$$

$$Costo Administrativo = \frac{\$6094}{1año} x \frac{1año}{360dias}$$

$$Costo Administrativo = \$16,9/día$$

$$Costo Administrativo = \$16,9/día \div 3$$

$$Costo Administrativo = \$5,6 / día / 22 m^3 / día$$

$$Costo Administrativo = \$0.25 / m^3$$

Una vez obtenido todos lo valores relacionados a los Costos de Funcionamiento se procedió a realizar la sumatoria para saber cual es el costo por metro cúbico de gua tratada.

Tabla 24 Costos Totales por m^3.

RUBRO	COSTO POR METRO CÚBICO
Mano de Obra	$ 0,85
Insumos Químicos	
*Sulfato de Aluminio	$ 0,004
*Polímero	$ 0,001
*Cal	$ 0,0005
*Hipoclorito de Sodio	$ 0,06
*Reactivo para lectura de Cloro	$ 0,03
Carbón Activado	$ 0,01
Arena	$ 0,001
Energía Eléctrica	$ 0,48
Mantenimiento	$ 0,02
Depreciación	$0,15
Administración	$ 0,25
Total	**$ 1,71**

Fuente: Autor de Tesis

Cada metro cúbico obtenido por medio de esta planta móvil tendrá un costo de $1,71.

Tomando el ejemplo del albergue que se situó en el Km 26 en el cual para abastecer de agua a 420 personas se requeriría 3,2 m^3 de agua al día, la inversión sería de:

$$3{,}2\text{m}^3 \text{x} \$1{,}71 = \$5{,}47/\text{día}$$

Si se considera el abastecimiento por medio de garrafones de 20 litros cuyo costo se estima en $1.20 la inversión sería de:

$$3200\text{L} \text{x} \frac{1\text{garrafon}}{20\text{L}} = 160\text{garrafones/día}$$

$$160\text{garrafones} \text{x} \$1.20 = \$192/\text{día}$$

En base a estos resultados es posible calcular el ahorro con el uso de este sistema de potabilización de agua, el mismo que se detalla a continuación:

$$\Delta\% = \frac{V_f - V_o}{V_o}$$

$$\Delta\% = \frac{5.47 - 192}{192}$$

$$\Delta\% = 97$$

Con lo cual se tiene un ahorro del 97% en comparación con el costo de abastecimiento de agua por medio de garrafones durante situaciones de emergencia y desastre.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La planta ha sido diseñada lo más compacta posible lo que da la facilidad de ser trasladada de un sitio a otro y ser puesta en operación en pocas horas luego de su instalación.

2. El contenedor esta estructurado de tal manera que sus laterales sean abatibles y divididos lo que brinda la facilidad de abrir solo las secciones que se necesite, además cuenta con escaleras móviles y desarmables que serán ubicadas en un compartimento bajo el contenedor y una rejilla en la parte superior donde se colocará los recipientes destinados a almacenar el combustible en el caso de requerir el generador de energía.

3. Para la alimentación de agua en los diferentes equipos se optó por bombas de 1 HP y ½ HP de potencia tipo Jet por ser las más apropiadas para trabajar con agua, la primera bomba de mayor potencia permitirá succionar agua desde el río, la segunda y tercera bomba servirán para llevar el agua hacia el equipo de coagulación y hacia los filtros respectivamente, para el traslado de agua se seleccionó tuberías de PVC por ser livianas y resistentes, para regular el flujo las válvulas tipo globo son las más adecuadas por su robustez y cierre hermético , las válvulas tipo compuerta permiten la eliminación completa de lodos al dar la facilidad de abrirse totalmente y las válvulas check retienen agua para que las bombas no se queden sin agua y además evitan el retorno del fluido.

4. Para las etapas de Potabilización se seleccionó equipos sencillos, en el caso del sedimentador y para el almacenamiento de agua clarificada al requerir mayor espacio se optó por el uso de piscinas con cubiertas plásticas que se ubicarán fuera del contenedor y que al momento de trasladarse podrán ser recogidas y ubicadas dentro del mismo.

5. Dentro de las etapas de potabilización, la sedimentación se realizará como primera operación puesto que el agua al ser proveniente de ríos presenta altos niveles de sólidos suspendidos de los cuales los de

mayor tamaño pueden sedimentar simplemente por las fuerzas de asentamiento gravitacional.

6. La desinfección se realizará en conjunto con la sedimentación para evitar que los equipos en las etapas subsiguientes se contaminen, además de permitir que el hipoclorito de sodio disponga de mayor tiempo de contacto lo que asegurará la destrucción de microorganismos patógenos causantes de las enfermedades de origen hídrico.

7. Para el proceso de coagulación y floculación se optó por un mismo equipo, puesto que la coagulación al ser una reacción de desestabilización de partículas que dura solo fracciones de segundo requiere que inmediatamente sea añadido el floculante para que las partículas desestabilizadas se unan y formen coágulos más grandes, por otra parte el volumen y división del equipo permitirán que mientras el agua ascienda los flocs formados se vayan depositando en el fondo para que puedan ser eliminados.

8. Con la capacidad de producción de esta planta y al estar en condiciones de operar las 24 horas será posible abastecer de agua potable a un promedio de 300 familias teniendo en consideración un

consumo per-cápita de 15L/persona/día cumpliendo el propósito de que el agua sea suficiente, salubre y accesible.

9. Esta planta estará en la capacidad de trabajar donde no exista energía eléctrica puesto que cuenta con un generador de energía de 7 Kw que cubre los requerimientos de energía de los equipos.

10. Dentro de los costos para el funcionamiento como son insumos químicos, energía eléctrica, depreciación y mano de obra, se logró un costo por metro cúbico de agua potable de $1.71 lo que representa un ahorro del 97% en relación al abastecimiento de agua por medio de garrafones.

11. Previo al funcionamiento de la planta se recomienda que el técnico responsable realice el sistema de simulación del proceso de coagulación para con ello determinar la dosis y concentración de coagulante y floculante a ser adicionados en el agua.

12. Se recomienda que en el lugar donde estará ubicado el generador de energía exista la mayor ventilación posible puesto que al generarse gases por combustión estos puede contaminar el agua durante el proceso de potabilización.

13. Se recomienda que exista una base actualizada de datos sobre la calidad química del agua de ríos lo que permitirá determinar la factibilidad de potabilización.

APÉNDICE A

ANÁLISIS

Características Físico Químicas y Microbiológicas del agua de tres ríos de la Provincia del Guayas

PARÁMETROS	UNIDAD	RÍO BULU-BULU	RÍO JUJAN	RÍO CHIMBO	NORMA INEN	OBSERVACIÓN
Parámetros Físicos						
Olor		A lodo	Ligero a lodo	Ligero a lodo	No objetable	No cumple
Turbiedad	NTU	83	50	72	5	No cumple
Color	U Pt/Co	380	180	320	15	No cumple
Ph		6,7	7,7	7,3	6,5-8,5	Si cumple
Sólidos Disueltos	mg/L	28,6	22,4	20,3	1000	Si cumple
Parámetros Químicos						
Amonio	mg/L	9,7	6,3	5	1	No cumple
Calcio	mg/L	20	20	15	70	Si cumple
Cadmio	mg/L	0,12	0,08	0,1	0,003	No cumple
Cloruros	mg/L	61	8,6	9,7	250	Si cumple
Cloro Libre Residual	mg/L	0	0	0	0,3-1,5	No cumple
Cobre	mg/L				1	
Cromo hexavalente	mg/L				0.05	
Dureza Total	mg/L	197,7	169,5	158,2	300	Si cumple

Fosfatos	mg/L	0,1	0,09	0,09	0,1	Si cumple
Hierro	mg/L	2	1,8	1,6	0,3	No cumple
Magnesio	mg/L	12,3	10	8,8	30	Si cumple
Manganeso	mg/L				0,1	
Nitritos	mg/L	0	0	0	0	Si cumple
Nitratos	mg/L	6,3	6,2	6	10	Si cumple
Plomo	mg/L				0,01	
Sulfatos	mg/L				200	
Zinc	mg/L	0,05	0,03	0,06	3	Si cumple
Parámetros Microbiológicos						
Coliformes Totales	NMP	40	30	30	menor a 2	No cumple
Coliformes fecales	NMP	40	40	35	menor a 2	No cumple

Fuente: Autor de Tesis

APÉNDICE B

PROCEDIMIENTOS

PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO AL 1%

Procedimiento:

Para preparar 20 litros de Solución

1. Pesar 200 gramos (1 taza al ras) de Sulfato de Aluminio en polvo.
2. En un recipiente pequeño disolver el sulfato de aluminio con agua destilada.
3. Verter esta solución en un envase con capacidad para 20 litros y completar el volumen con agua destilada.
4. Tapar bien y rotular el envase con el nombre de Sulfato de Aluminio al 1% más la fecha en la cual fue elaborado.
5. Colocar cuando se requiera en el tanque dosificador de la bomba.

Observaciones:

La cantidad preparada abastecerá para una semana de trabajo.

Los envases que contengan las soluciones deben estar debidamente rotulados y bien tapados.

PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO AL 5%

Procedimiento:

Para preparar 20 litros de Solución

1. Pesar 1000 gramos de Sulfato de Aluminio en polvo.
2. En un recipiente mediano disolver el sulfato de aluminio con agua destilada.
3. Verter esta solución en un envase con capacidad para 20 litros y completar el volumen con agua destilada.
4. Tapar bien y rotular el envase con el nombre de Sulfato de Aluminio al 5% más la fecha en la cual fue elaborado.
5. Colocar cuando se requiera en el tanque dosificador de la bomba.

Observaciones:

La cantidad preparada abastecerá para una semana de trabajo.

Los envases que contengan las soluciones deben estar debidamente rotulados y bien tapados.

PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE POLÍMERO AL 0.5%

Procedimiento:

Para preparar 20 litros de Solución

1. Pesar 100 gramos de Polímero en polvo.
2. En un recipiente mediano disolver el sulfato de aluminio con agua destilada.
3. Verter esta solución en un envase con capacidad para 20 litros y completar el volumen con agua destilada.
4. Tapar bien y rotular el envase con el nombre de Polímero al 0,5% más la fecha en la cual fue elaborado.
5. Colocar cuando se requiera en el tanque dosificador de la bomba.

Observaciones:

La cantidad preparada abastecerá para una semana de trabajo.

Los envases que contengan las soluciones deben estar debidamente rotulados y bien tapados.

PROCEDIMIENTO PARA PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE CAL AL 1%

Procedimiento:

Para preparar 20 litros de Solución

1. Pesar 200 gramos de cal en polvo.
2. En un recipiente pequeño disolver la cal con agua destilada.
3. Verter esta solución en un envase con capacidad para 20 litros y completar el volumen con agua destilada.
4. Tapar bien y rotular el envase con el nombre de Cal al 1% más la fecha en la cual fue elaborado.
5. Colocar cuando se requiera en el tanque dosificador de la bomba.

Observaciones:

Los envases que contengan las soluciones deben estar debidamente rotulados y bien tapados.

PROCEDIMIENTO PARA LECTURA DE CLORO LIBRE RESIDUAL

Procedimiento:

La muestra de agua debe ser analizada con el KIT de cloro HACH

1. Tomar dos muestras de agua en los tubos del kit de medición de cloro.

2. Colocar a uno de los tubos el contenido de un sobre de Reactivo para cloro residual y agitar.

3. Colocar en el kit el disco de color.

4. Colocar en la primera ranura el tubo que no tiene reactivo y en la segunda ranura el tubo con el reactivo.

5. Proceder a leer, el contenido de cloro debe ser mayor o igual a 0.3 mg/L y menor a 1 mg/L.

6. Si al medir el cloro la lectura da por debajo de 0.3 mg/L proceder adicionar cloro, para conocer el volumen a añadir usar la siguiente formula:

$$V_1 = \frac{0.9 x V_2}{50000}$$

Donde:

V_1: Volumen en mililitros (ml) de cloro a ser añadido en el reservorio de agua cruda.

V_2: Volumen en mililitros (ml) de agua que esta almacenada en el reservorio de agua cruda.

Observaciones:

Aunque el rango de la concentración de cloro va desde 0.3 mg/L a 1.5mg/L se aconseja mantener un valor de 0.4 mg/lt, concentraciones superiores le confieren al agua sabor desagradable a cloro.

Frecuencia:

Al inicio y fin de turno.

PROCEDIMIENTO PARA LECTURA DE TURBIEDAD

Procedimiento:

La lectura de turbiedad se hará al agua que ingresa al equipo de coagulación y al agua después de filtrada, para lo cual se procederá de la siguiente manera:

1. Recolectar las muestras de agua en los envases que contiene el equipo de turbiedad.
2. Encender el equipo e inmediatamente proceder a calibrar con la muestra en blanco existente (muestra sin turbiedad) y presionar el botón Zero.
3. Quitar el blanco e introducir la muestra recolectada, tapar y esperar a la lectura.

Observaciones:

Los valores de turbiedad en el agua cruda son variables, mientras más alta sea la turbiedad la dosis de coagulante será menor, en cambio mientras más baja sea la turbiedad la dosis de coagulante a adicionar será mayor.

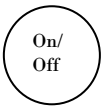
Los valores de turbiedad para el agua filtrada deben ser inferiores a 5, si hay un aumento de este valor los filtros deben ser retro lavados.

Frecuencia

Cada tres horas.

PROCEDIMIENTO PARA EL MANEJO DE LA BALANZA

Procedimiento:

1. Prender la balanza con el botón 

2. Colocar el recipiente vacio sobre el cual se va a poner la sustancia a pesar.
3. Presionar el botón

y la lectura nuevamente se pondrá en cero.
4. Una vez encerada la balanza proceder a pesar.
5. Apagar el equipo cuando no se este utilizando.

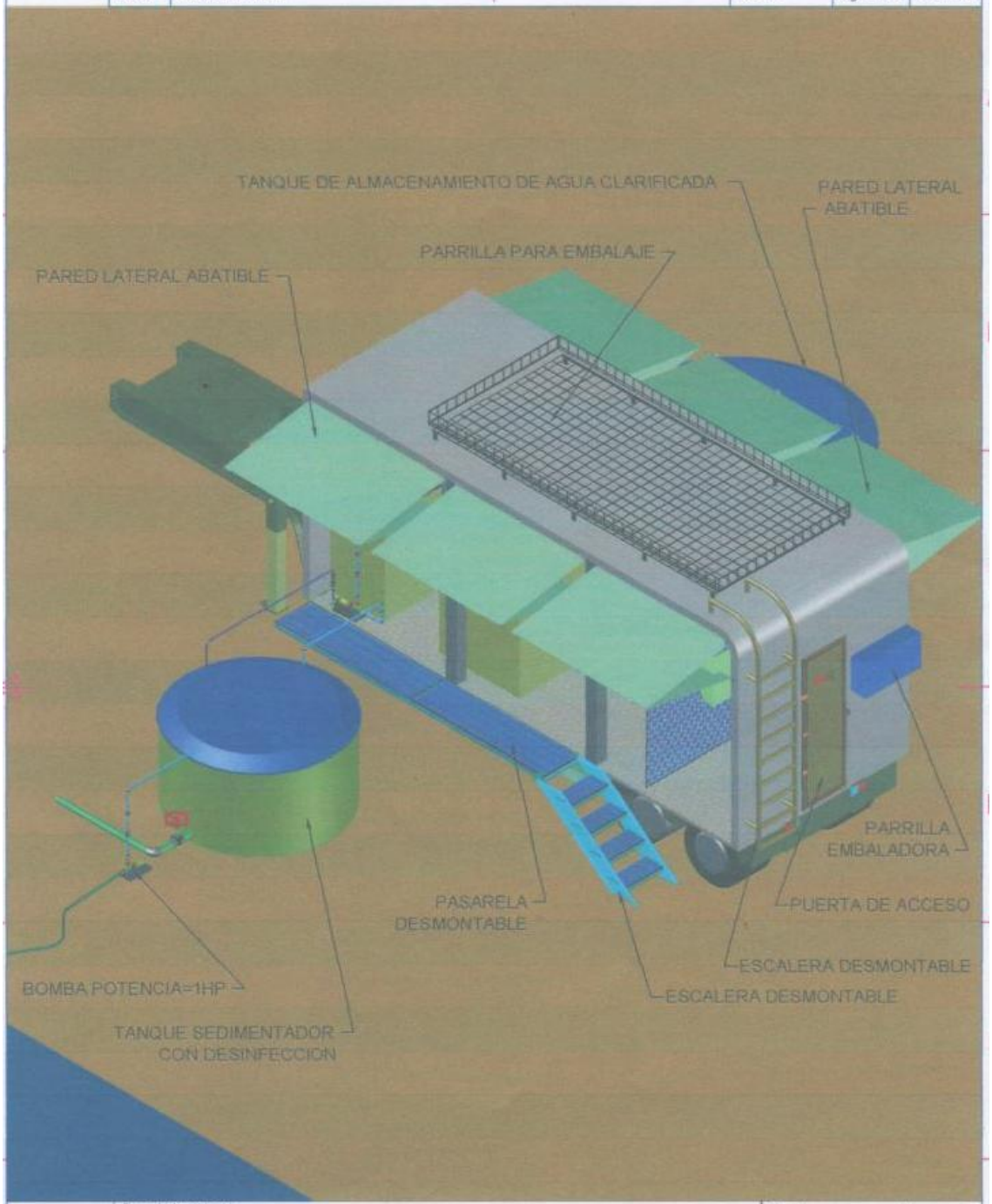
Observaciones:

El peso no deberá exceder la capacidad de la balanza.

APÉNDICE C

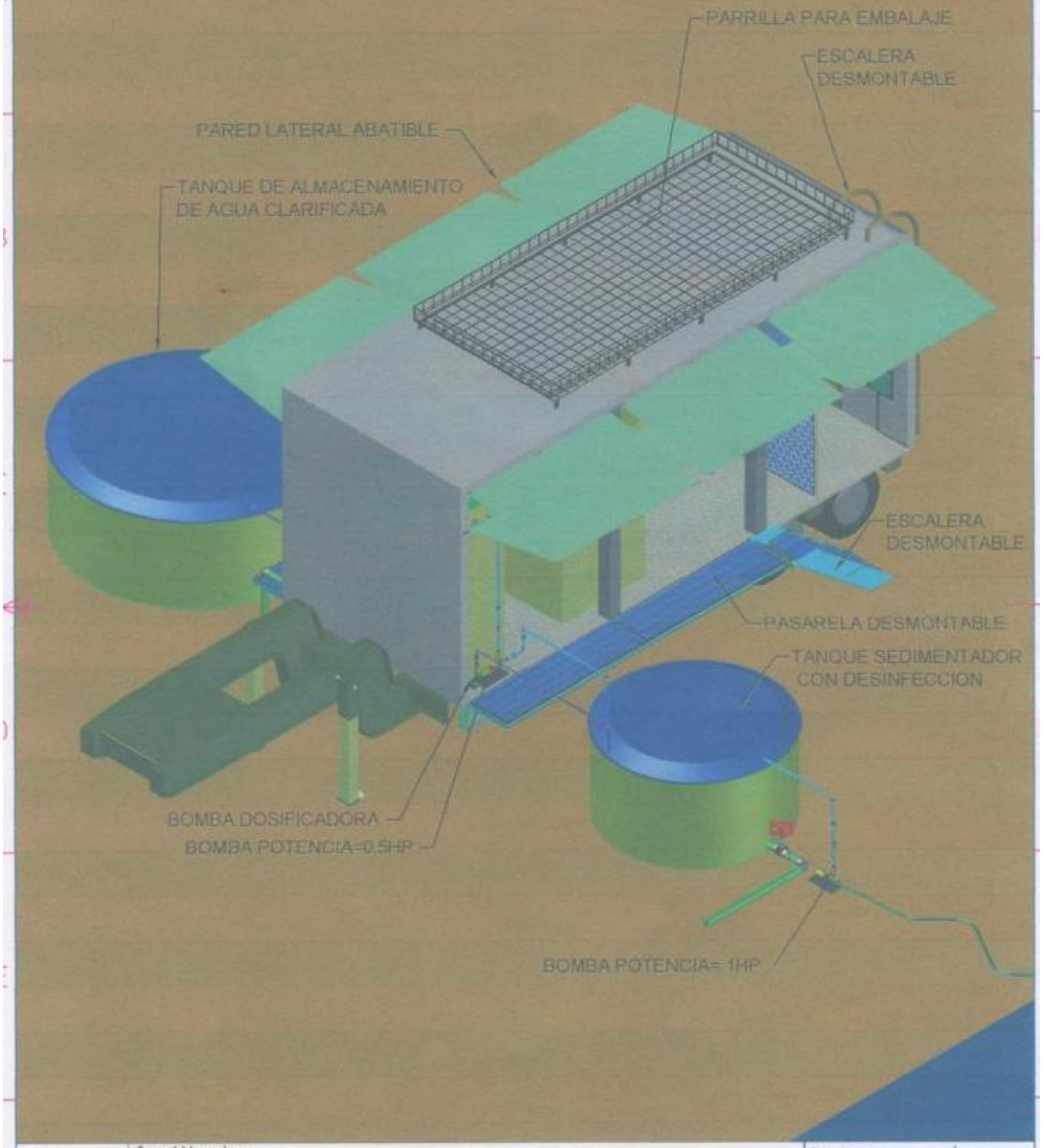
PLANOS DE LA PLANTA

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



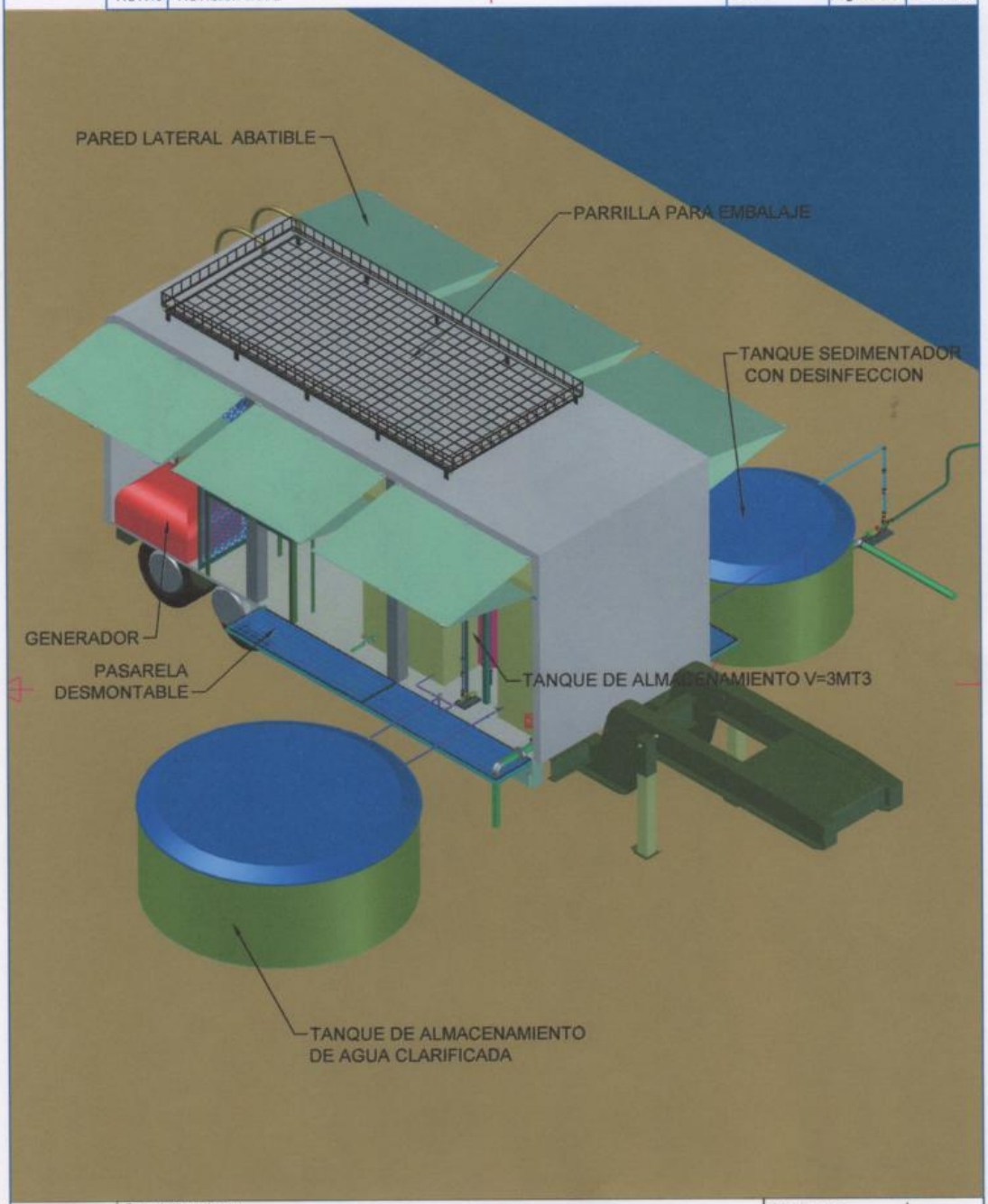
Institucion: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		Sistema:
Tema: DISEÑO DE UNA PLANTA MOVIL DE POTABILIZACION DE AGUA	Diseñado por: ANA ESPINOZA C	Lamina: A4-1/9
Descripcion: ISOMETRICO DEL SISTEMA	Aprobado por: Ing. ERNESTO MARTINEZ	Escala: 1:50

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



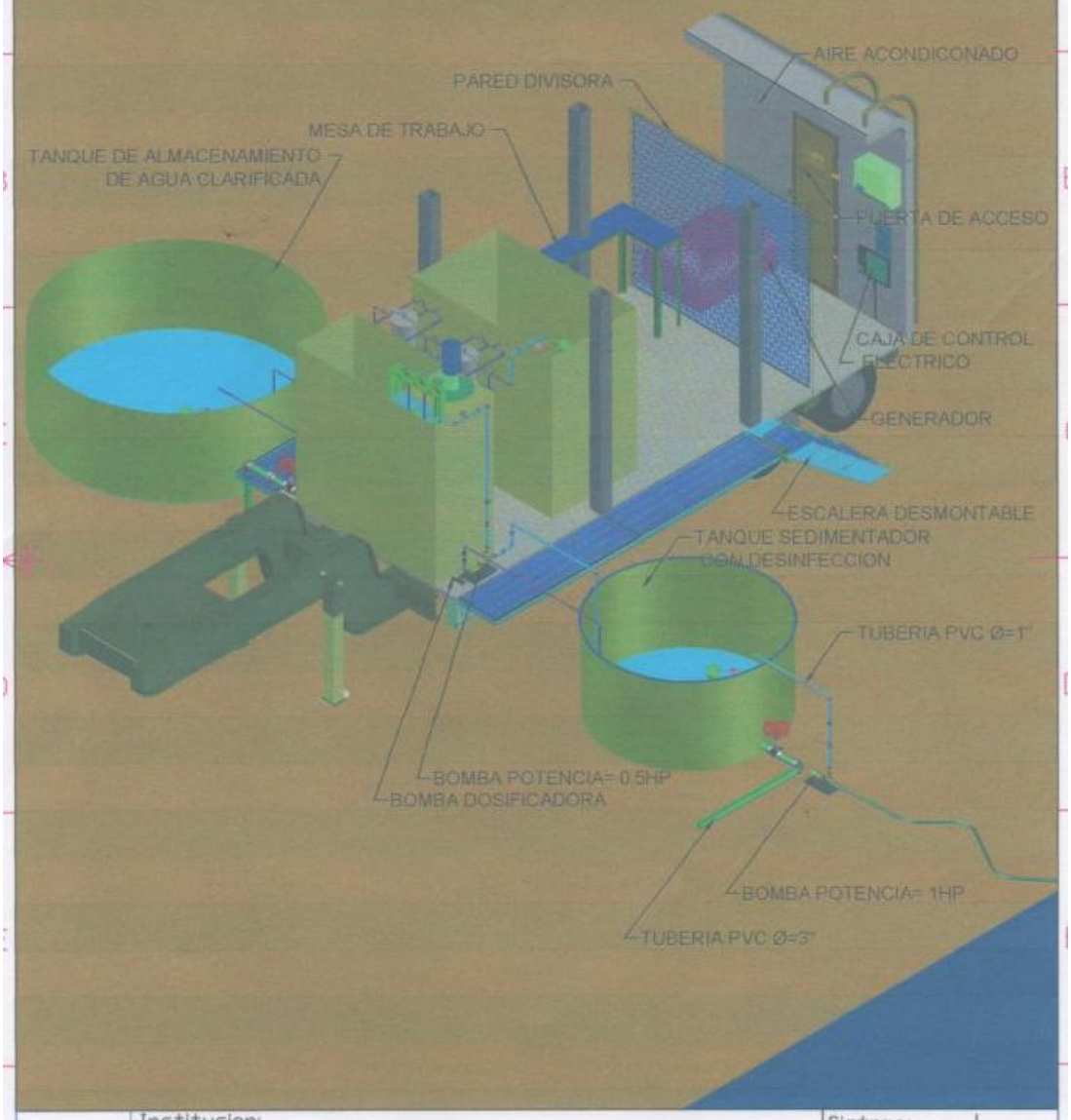
Institucion: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		Sistema:
Tema: DISEÑO DE UNA PLANTA MOVIL DE POTABILIZACION DE AGUA	Diseñado por: ANA ESPINOZA C	Lamina: A4-2/9
Descripcion: ISOMETRICO DEL SISTEMA	Aprobado por: Ing. ERNESTO MARTINEZ	Escala: 1:50

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



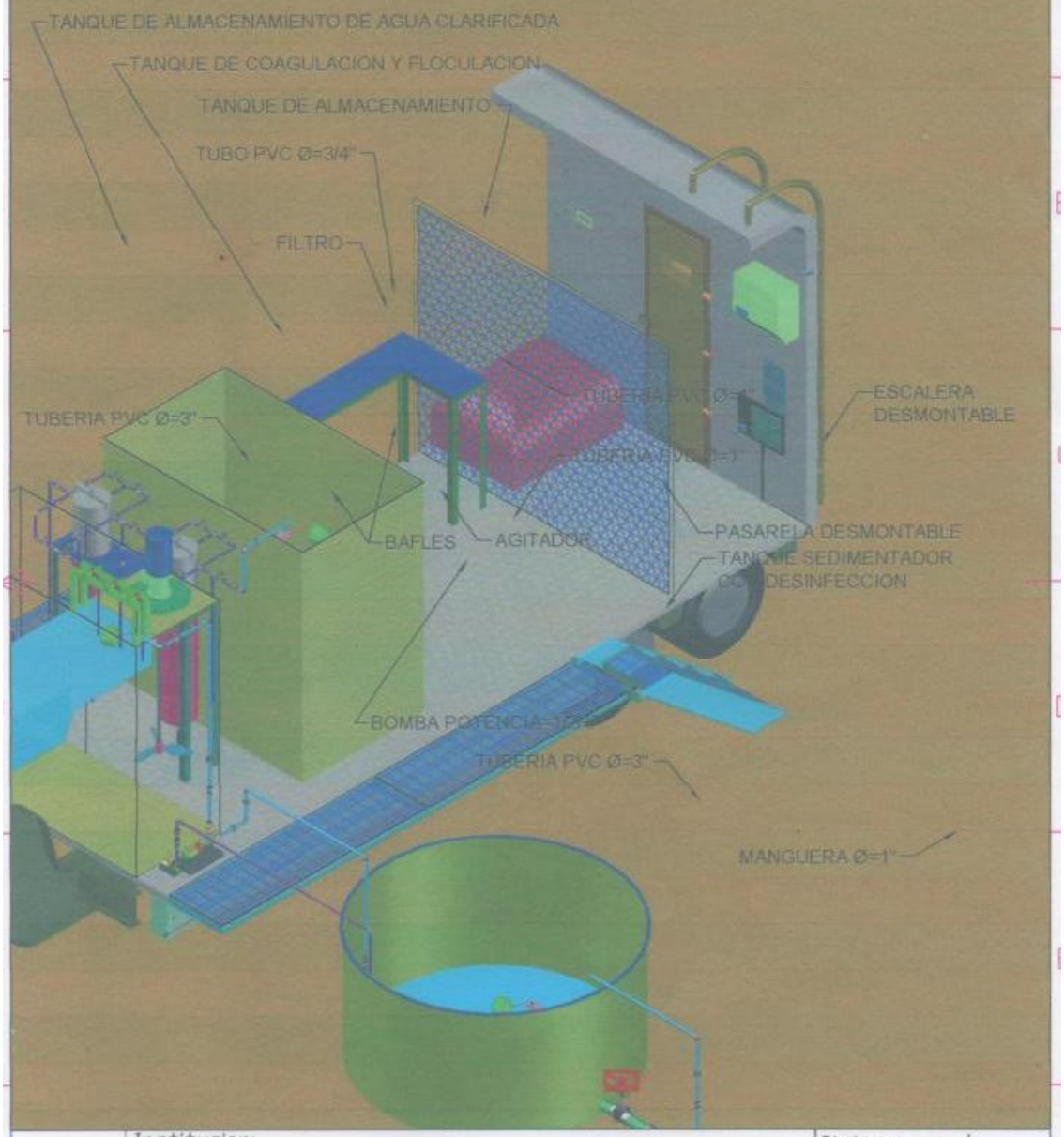
Institucion: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		Sistema:
Tema: DISEÑO DE UNA PLANTA MOVIL DE POTABILIZACION DE AGUA	Diseñado por: ANA ESPINOZA C	Lamina: A4-3/9
Descripcion: ISOMETRICO DEL SISTEMA	Aprobado por: Ing. ERNESTO MARTINEZ	Escala: 1:50

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



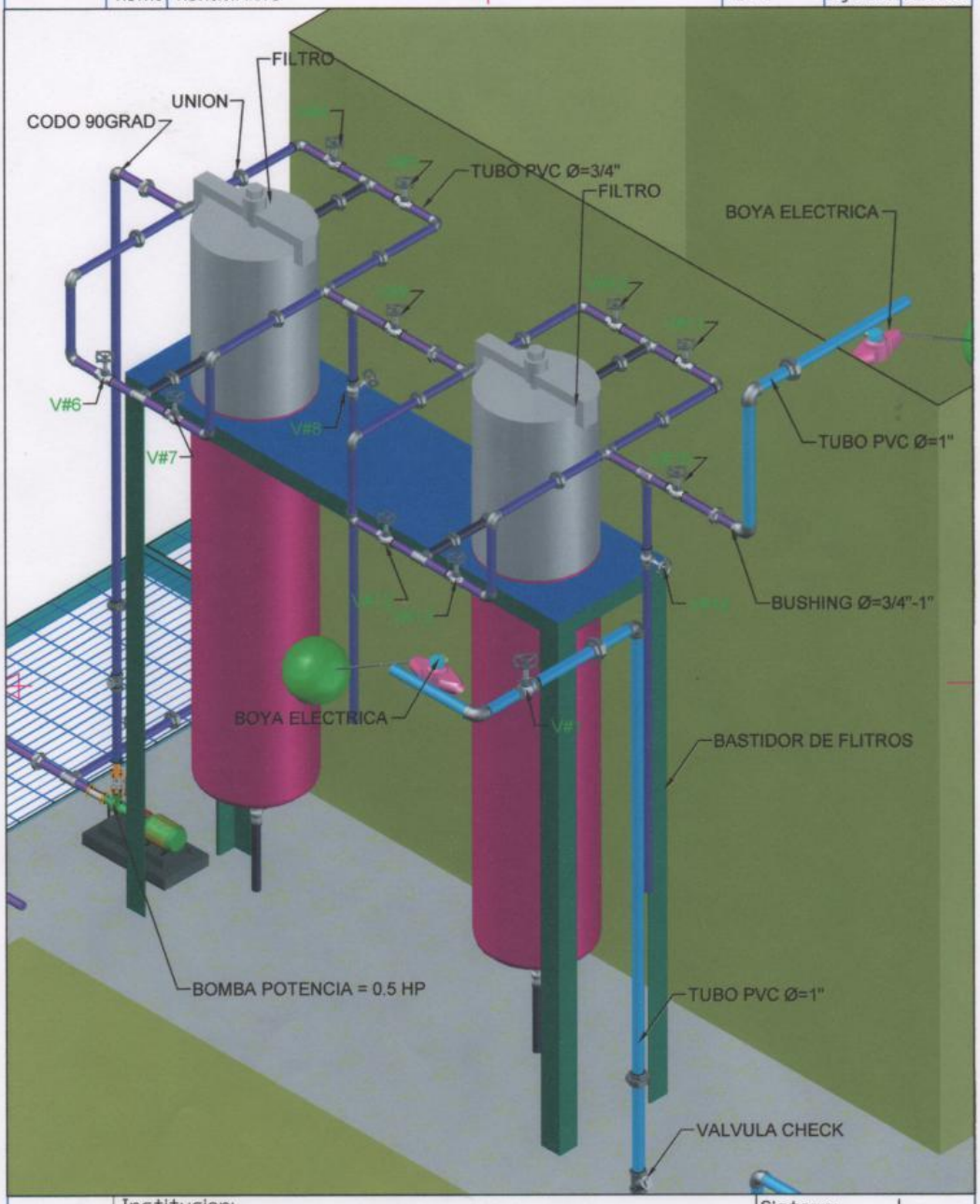
Institucion: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		Sistema:
Tema: DISEÑO DE UNA PLANTA MOVIL DE POTABILIZACION DE AGUA	Diseñado por: ANA ESPINOZA C	Lamina: A4-4/9
Descripcion: ISOMETRICO DEL SISTEMA	Aprobado por: Ing. ERNESTO MARTINEZ	Escala: 1:50

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



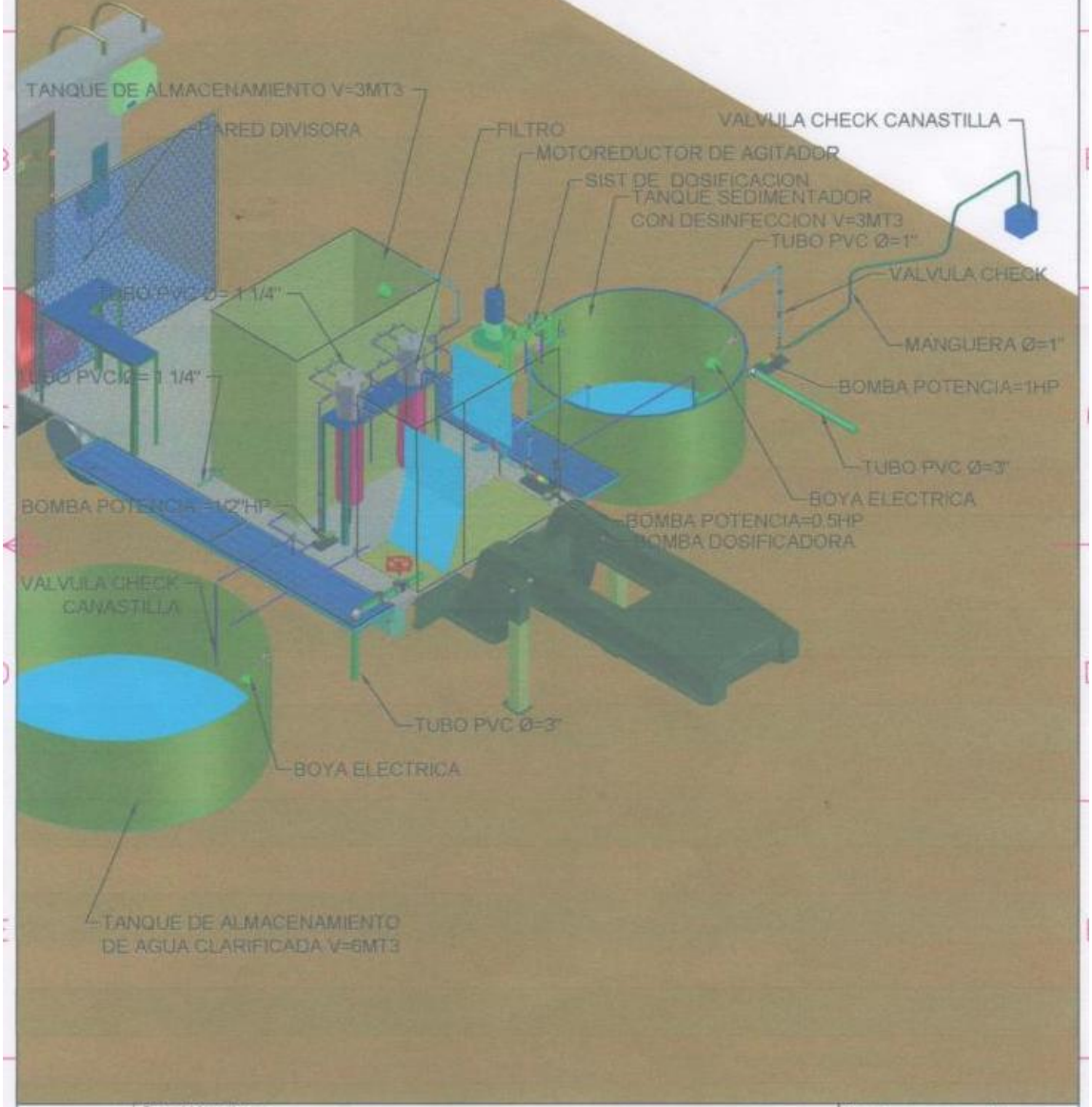
Institucion: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		Sistema:
Tema: DISEÑO DE UNA PLANTA MOVIL DE POTABILIZACION DE AGUA	Diseñado por: ANA ESPINOZA C	Lamina: A4-5/9
Descripcion: ISOMETRICO DEL SISTEMA	Aprobado por: Ing. ERNESTO MARTINEZ	Escala: 1:50

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

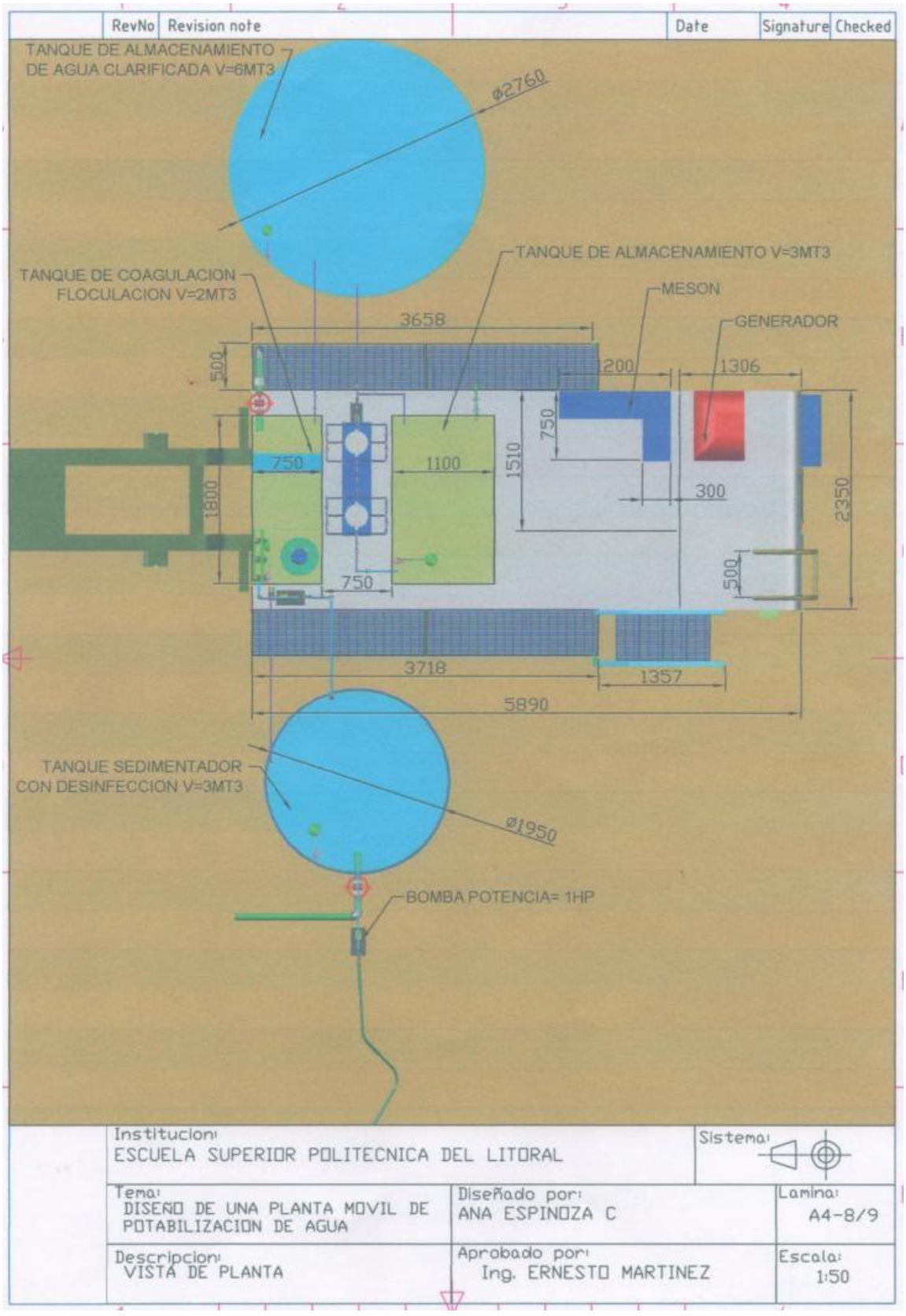


Institucion: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		Sistema:
Tema: DISEÑO DE UNA PLANTA MOVIL DE POTABILIZACION DE AGUA	Diseñado por: ANA ESPINOZA C	Lamina: A4-6/9
Descripcion: ISOMETRICO DEL SISTEMA	Aprobado por: Ing. ERNESTO MARTINEZ	Escala: 1:10

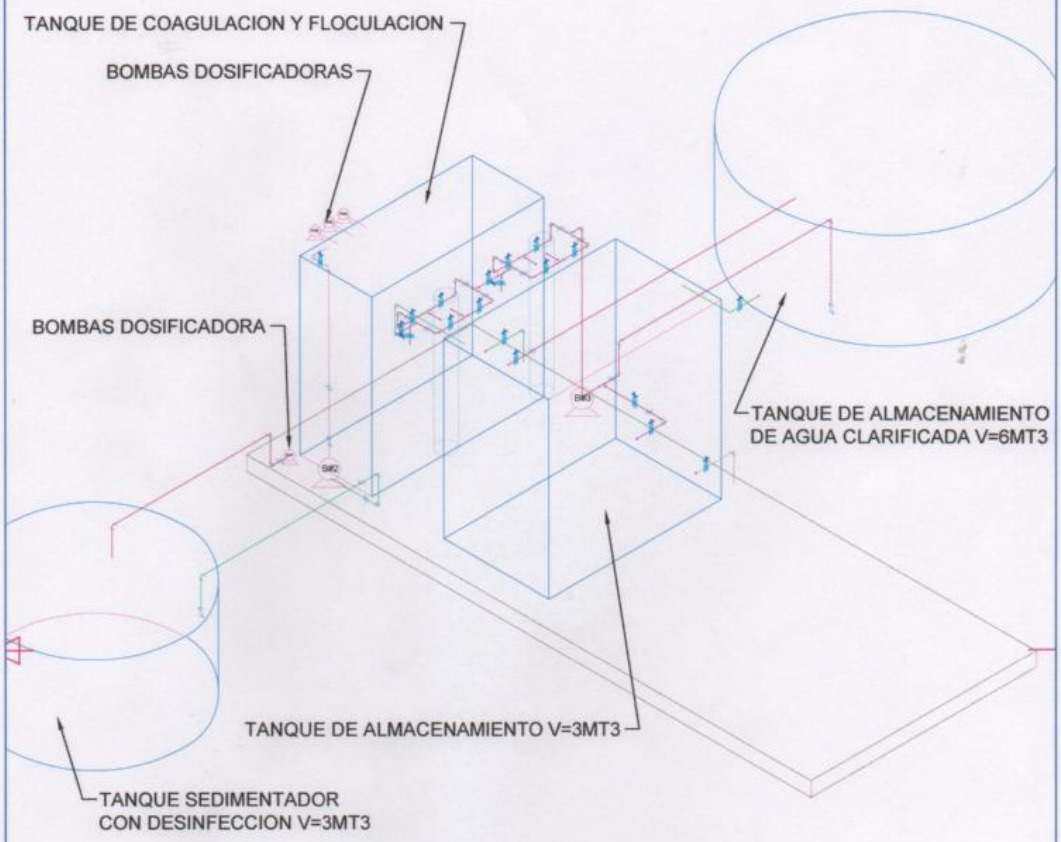
RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



Institucion: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		Sistema:
Tema: DISEÑO DE UNA PLANTA MOVIL DE POTABILIZACION DE AGUA	Diseñado por: ANA ESPINOZA C	Lamina: A4-7/9
Descripcion: ISOMETRICO DEL SISTEMA	Aprobado por: Ing. ERNESTO MARTINEZ	Escala: 1:50


RevNo
Revision note
Date
Signature
Checked
TANQUE DE ALMACENAMIENTO
DE AGUA CLARIFICADA V=6MT3
ø2760
TANQUE DE ALMACENAMIENTO V=3MT3
TANQUE DE COAGULACION
FLOCULACION V=2MT3
MESON
GENERADOR
3658
500
200
1306
750
1510
1100
300
2350
1800
750
500
750
3718
1357
5890
TANQUE SEDIMENTADOR
CON DESINFECCION V=3MT3
ø1950
BOMBA POTENCIA= 1HP
Institucion:
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Sistema:
Tema:
DISEÑO DE UNA PLANTA MOVIL DE POTABILIZACION DE AGUA
Diseñado por:
ANA ESPINOZA C
Lamina:
A4-8/9
Descripcion:
VISTA DE PLANTA
Aprobado por:
Ing. ERNESTO MARTINEZ
Escala:
1:50

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



CODIGO DE COLORES DE TUBERIA

- TUBERIA PVC Ø=3/4"
- TUBERIA PVC Ø=1"
- TUBERIA PVC Ø=3"
- TUBERIA PVC Ø=1 1/4"
- MANGUERA Ø=1"

Institucion: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		Sistema:
Tema: DISEÑO DE UNA PLANTA MOVIL DE POTABILIZACION DE AGUA	Diseñado por: ANA ESPINOZA C	Lamina: A4-9/9
Descripcion: ISOMETRICO DEL SISTEMA	Aprobado por: Ing. ERNESTO MARTINEZ	Escala: 1:50

BIBLIOGRAFÍA

1. INSTITUTO GEOFÍSICO DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL [en línea]. Ecuador [consulta: 06 Agosto 2009]. Disponible en < http://www.igepn.edu.ec/>

2. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Erupciones Volcánicas en Ecuador [en línea] Ecuador [consulta: 06 Agosto 2009]. Disponible en <http://www.paho.org/Spanish/PED/ecu-volcano02.htm>

3. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Efectos de la Erupción del Volcán Reventador (2002) en los Sistemas de Agua y Alcantarillado**.** [en línea]. Ecuador [consulta: 10 de Enero 2010]. Disponible en: <http://www.paho.org/Spanish/dd/PED/efectosErupcRevent.htm>

4. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Crónicas de desastres: Fenómeno El Niño 1997-1998. [en línea]. Ecuador [consulta: 20 Agosto 2009]. Disponible en < http://www.paho.org/spanish/ped/ElNino.htm>

5. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Informe de Inundaciones en Ecuador 17 de Abril del 2008. [en línea]. Ecuador [consulta: 20 Agosto 2009]. Disponible en: <http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/ecuador_emergencia.htm>

6. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Inundaciones en Ecuador Situación de Salud 7 de Marzo del 2008. [en línea]. Ecuador [consulta: 15 Septiembre 2009]. Disponible en: <http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/ecuador_emergencia.htm>

7. COMISIÓN DE ESTUDIOS PARA EL DESARROLLO DE LA CUENCA DEL RÍO GUAYAS Y PENÍNSULA DE SANTE ELENA [en línea]. Ecuador [consulta: 22 Julio 2009]. Disponible en: < http://www.cedege.gov.ec/>

8. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Saneamiento y Salud [en línea]. USA [consulta: 20 Agosto 2009]. Disponible en: < http://www.paho.org/default_spa.htm>

9. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guía para la Calidad del Agua Potable [en línea] Ginebra [consulta: 10 Agosto 2009]. Disponible en: <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3sp.pdf>

10. MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA DEL ECUADOR [en línea]. Ecuador [consulta: 28 Julio 2009]. Disponible en: < http://www.msp.gov.ec/>

11. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD Los Desastres Naturales y la Protección de la Salud [en línea]. USA [consulta: 20 Agosto 2009]. Disponible en: <http://www.paho.org/spanish/Ped/PC575/PC575_C1.pdf>

12. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Situación en Agua y Saneamiento 26 de febrero del 2008 [en línea]. Ecuador [consulta: 29 Agosto 2009]. Disponible en: <http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/ecuador_emergencia.htm>

13. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD .Guía para la Vigilancia y Control de la Calidad del Agua en Situaciones de Emergencia y Desastre 2007 [en línea] Ecuador [consulta: 23 Junio 2009]. Disponible en: <http://www.paho.org/Spanish/DD/PED/VigilanciaCalidadAgua.pdf>

14. ROMERO, Mynor. Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua [en línea] Guatemala [consulta: 23 Junio 2009]. Disponible en: <http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_08_ING02.pdf.>

15. KEMMER, Frank N y CALLION, John. Manual del Agua Tomo I. México.

16. ARBOLEDA, Jorge Teoría y Práctica de la Purificación de Agua Tomo I. Colombia

17. ARBOLEDA, Jorge Teoría y Práctica de la Purificación de Agua Tomo II. Colombia

18. WATER TREATMENT SOLUTIONS. Desinfección del Agua. [en línea] Holanda [consulta: 24 Junio 2009]. Disponible en: <http://www.lenntech.com/espanol/Desinfeccion-del-agua/Que-es-desinfeccion.htm>

19. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES El Agua Potables segura es Esencial. [en línea] USA [consulta: 25 Junio 2009]. Disponible en: <http://www.drinking-water.org/html/es/Treatment/Chemical-Disinfection-Oxidants-technologies.html#tech0>

20. PORTAL EDUCATIVO DE AMÉRICA. Filtros de Agua. [en línea] Puertorico [consulta: 20 Junio 2010]. Disponible en: <http://www.salonhogar.com/ciencias/naturaleza/elagua/filtrosdeagua.htm>

21. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua [en línea] [consulta: 18 Septiembre 2010]. Disponible en: <http://bvsde.per.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-08c.pdf>

22. WIKILIBROS Ingeniería de Aguas Residuales/Desinfección de las Aguas Residuales. [en línea] [consulta: 18 Septiembre 2010]. Disponible en: <http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Desinfecci%C3%B3n_de_las_aguas_residuales#5.4_._Radiaci.C3.B3n>

23. WATER TREATMENT SOLUTIONS. Factores para la Desinfección [en línea] USA [consulta: 18 Septiembre 2010]. Disponible en: < http://www.lenntech.com/espanol/Desinfeccion-del-agua/Factores-definfeccion-agua.htm>

24. ESPINOZA, Kleber. Tratamiento de Agua de Río. Guayaquil.

25. EJÉRCITO ECUATORIANO, Desastres Naturales [en línea] Ecuador [consulta: 18 Septiembre 2010]. Disponible en: <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador%20pdf/08.%20Capitulo%206.%20Desastres%20naturales.pdf>

26. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY Hipoclorito de Calcio, Hipoclorito de Sodio [en línea] USA [consulta: 18 Septiembre 2010]. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts184.pdf>

27. QUIMPAC, Hipoclorito de Calcio [en línea] Perú [consulta: 18 Septiembre 2010]. Disponible en: <http://www.quimpac.com.pe/hipocalcio.html>

28. CENTRO REGIONAL DE INFORMACIÓN SOBRE DESASTRES AMÉRICA, Sismo en Pujili [en línea] Ecuador [consulta: 10 Septiembre 2009]. Disponible en: <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc9323/doc9323.htm>

29. INSTITUTO GEOFÍSICO ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Boletín Sísmico Especial No 07 [en línea]. Ecuador [consulta: 18 Septiembre 2010]. Disponible en:<http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/documentos/ECU_IGEPN_BolEspSismico_12082010.pdf >

30. PROTECT, Hipoclorito de Sodio [en línea] Italia [consulta: 18 Septiembre 2010]. Disponible en: <http://www.pqs.org/espa.htm>

31. SANCHEZ, Rafael. Procesos de Tratamientos de Agua. Gran Canarias.