



## Diseño de una Planta Móvil de Potabilización de Agua

A. Espinoza C.<sup>1</sup>, E. Martínez L.<sup>2</sup>.

Ingeniera de Alimentos<sup>1</sup>, Ingeniero Mecánico<sup>2</sup>.

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral,

Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador

anita\_lec@hotmail.com, emartine@espol.edu.ec

### Resumen

*El presente trabajo muestra el Diseño de una Planta Móvil de Potabilización de Agua para ser utilizada en situaciones de emergencia o desastre donde el principal requerimiento que se evidencia es la falta de agua potable, brinda la ventaja de ser puesta en operación en pocas horas, de fácil manejo, no requiere de energía eléctrica puesto que cuenta con un generador y que al ser adecuada dentro de un contenedor de 20 pies puede ser fácilmente trasladada de un sitio a otro.*

*Para determinar las etapas de potabilización se tomaron muestras de agua de tres ríos de la provincia del Guayas como son el Bulu-Bulu, Jujan y Chimbo por los antecedentes de desbordamiento que han tenido, la capacidad de la planta se determinó en base al consumo per cápita dado por la OPS para situaciones de emergencia y con lo cual se está en capacidad de abastecer a 300 familias con un caudal de 1m<sup>3</sup>/h.*

*Con el uso de esta planta se consiguió un ahorro del 97% en relación al abastecimiento de agua por medio de garrafrones.*

**Palabras Claves:** *Diseño, Potabilización de Agua, capacidad de operación, adecuación de equipos.*

### Abstract

*The present paper shows the design of mobile plant water purification for use in emergency or disaster situations where the main requirement that evidence is the lack of potable water, provides the advantage of being put into operation in a few hours, easy to use, not requires power because it has a generator and when it is appropriate within a 20 foot container can be easily moved from one place to another.*

*To determine the stages of purification, were taken samples of water from three rivers in the Guayas province, such as the Bulu-Bulu, Jujan and Chimbo for the history of overflow that they have had, the capacity of the plant was determined based on consumption per capita given by PAHO to emergency situations and thus has the capacity to supply 300 families with a flow of 1m<sup>3</sup>/h.*

*With the use of this plant was achieved savings of 97% compared to water by bottles*

**Key words:** *Design, water purification, capacities of operation, equipments adapt.*

## 1. Introducción

Diversos son los desastres naturales sucedidos 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 conllevando 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 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, fácil manejo y de inmediata puesta en operación.

## 2. Situaciones de Emergencia y Desastre en el Ecuador.

Dentro de las situaciones de emergencia que han ocurrido en el Ecuador están los terremotos de los cuales 37 han sido considerados como catastróficos.

Los procesos eruptivos también han afectado a varias poblaciones, la más reciente ocurrida en el 2002 donde el volcán Reventador afectó a 128000 familias.

Sin dejar de mencionar están las inundaciones que de manera más notoria han afectado a las provincias de la costa ecuatoriana obligando al gobierno a declarar en Enero del 2008 una situación de Catástrofe Nacional.

Aunque diversas son las causas que provocan una situación de emergencia, cuatro son los principales requerimientos que las personas que se encuentran en refugios evidencian los cuales son: Salud, Alimentación, Alojamiento y sobre todo Agua Potable.

## 3. Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua instalada en un contenedor de 20 pies.

Las diferentes situaciones ocurridas en el Ecuador y que han puesto en evidencia la falta de alternativas que permitan afrontar las necesidades en especial el aprovisionamiento de agua, han llevado al planteamiento del Diseño de esta planta móvil instalada en un contenedor y para lo cual se consideraron los siguientes parámetros:

El espacio disponible que es un contenedor de 20 pies (5.89m de largo, ancho 2.35m y alto 2.39m) y la calidad de la fuente de agua la cual determina el

tratamiento de potabilización a efectuar y con ello los equipos a requerir.

La capacidad de operación de esta planta es de 1m<sup>3</sup>/h lo que permite abastecer de agua a un promedio de 300 familias teniendo en consideración que el consumo per cápita de agua por persona durante situaciones de emergencia es de 15L/persona/día dato obtenido de la Organización Panamericana de la Salud.

Al ser la fuente de agua proveniente de ríos esta tiene niveles variables de turbidez y color así como una alta carga microbiana y para lo cual se requiere que sea sometida a las siguientes etapas:



**Figura 1** Diagrama de Potabilización

### 3.1 Pruebas Experimentales para determinar concentración de productos químicos a usar

Como fuente de agua se tomo muestras de tres ríos de la provincia del Guayas por los antecedentes de desbordamiento que han tenido, de los resultados obtenidos en los análisis se decidió trabajar con el agua del rio Bulu-Bulu por presentar estas características más desfavorables, para realizar las pruebas experimentales se procedió como indica el diagrama de potabilización descrito en la figura No 1. Las muestras del rio Bulu-Bulu se analizaron en dos circunstancias para demostrar la versatilidad de esta planta.

Agua en Época Invernal (Primera Prueba)

Agua en Época de Verano (Segunda Prueba)

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1** Características Físico - Químicas y Microbiológicas Rio Bulu-Bulu

PARAMETROS	PRIMERA PRUEBA	SEGUNDA PRUEBA	NORMA INEN	OBSERVACION
<b>Parámetros Físicos</b>				
Olor	A lodo	Ligero fermentado	No objetable	No cumple
Turbiedad NTU	83	16	5	No cumple
Color U Pt/Co	380	71	15	No cumple
pH	6,7	7,3	6.5-8.5	Si cumple
Sólidos Disueltos mg/L	28,6	35	1000	Si cumple
<b>Parámetros Químicos</b>				
Amonio mg/L	9,7	9,7	1	No cumple
Calcio mg/L	20	20	70	Si cumple
Cadmio mg/L	0,12	0,12	0,003	No cumple
Cloruros mg/L	61	92	250	Si cumple
Cloro Libre Residual mg/L	0	0	0.3-1.5	No cumple
Cobre mg/L	0,9	1	1	Si cumple
Cromo mg/L	0,05	0,05	0,05	Si cumple
Dureza Total mg/L	197,7	157,3	300	Si cumple
Fosfatos mg/L	0,1	0,1	0,1	Si cumple
Hierro mg/L	2	2	0,3	No cumple
Magnesio mg/L	12,3	12,3	30	Si cumple
Manganeso mg/L	0,15	0,2	0,1	No cumple
Nitritos mg/L	0	0	0	Si cumple
Nitratos mg/L	6,3	6,3	10	Si cumple
Plomo mg/L	0,01	0,01	0,01	Si cumple
Sulfatos mg/L	120	160	200	Si cumple
Zinc mg/L	0,05	0,05	3	Si cumple
<b>Parámetros Microbiológicos</b>				
Coliformes Totales NMP	40	60	menor a 2	No cumple
Coliformes fecales NMP	40	52	menor a 2	No cumple

Determinados los parámetros iniciales se procedió con las siguientes etapas:

#### *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 turbidez, 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 cloro. El desinfectante escogido fue Hipoclorito de Sodio por sus propiedades desinfectantes, disponibilidad en el mercado y bajo costo.

#### *Coagulación y Floculación:*

Para la etapa de coagulación y floculación se requirió de la Prueba de Jarras la misma que permitió determinar que dosis Sulfato de Aluminio y Polímero deben ser adicionados para que se produzca la desestabilización de los sólidos suspendidos presentes en el agua.

La Prueba de Jarras consistió en adicionar a 6 jarras dosis variables de Sulfato de Aluminio, Polímero y cal (la cal permite aumentar el pH), con agitación rápida

(100RPM) durante un minuto seguido de agitación lenta (40 RPM) durante quince minutos.

Una segunda Prueba de Jarras permitió determinar que concentración de sulfato es la adecuada, las concentraciones de sulfato de aluminio fueron de 0.5%, 1%, 5% y 10%.

En el caso de la Primera Prueba la dosis y concentración que produjo los mejores resultados fue la de 5 ppm de Sulfato de Aluminio al 1%, 10 ppm de cal al 1% y 0.1 ppm de polielectrolito al 0.5%. En la segunda prueba la dosis y concentración que produjo los mejores resultados fue la de 5ppm de sulfato de aluminio al 5%, cal 5ppm al 1% y polímero 0,1ppm al 0,5%.

#### *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. Posterior al filtro de arena se usó un filtro de carbón activado con el que se removió el excedente de cloro.

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:

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

En donde:

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

Q= Flujo del agua expresado en litros/min

0,9997 es un factor de multiplicación

#### *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 realiza es 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.

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.

Una vez concluidas las etapas de potabilización se realizaron nuevos análisis que dieron como resultado

agua potable, estos resultados se muestran a continuación:

**Tabla 2** Resultados Agua Tratada

PARAMETROS	UNIDAD	PRIMERA PRUEBA	SEGUNDA PRUEBA	NORMA INEN	OBSERVACION
<b>Parámetros Físicos</b>					
Olor		No Objetable	No objetable	No objetable	Si cumple
Turbiedad	NTU	1,5	2,3	5	Si cumple
Color	U Pt/Co	8	9	15	Si cumple
pH		6,9	7,4	6,5-8,5	Si cumple
Sólidos Disueltos	mg/L	10	32	1000	Si cumple
<b>Parámetros Químicos</b>					
Amonio	mg/L	0,35	0,35	1	Si cumple
Calcio	mg/L	20	20	70	Si cumple
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,003	Si cumple
Cloruros	mg/L	55	81	250	Si cumple
Cloro Libre Residual	mg/L	0,4	0,4	0,3-1,5	Si cumple
Cobre	mg/L	0,9	1	1	Si cumple
Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,05	0,05	Si cumple
Dureza Total	mg/L	197,7	157,3	300	Si cumple
Fosfatos	mg/L	0,1	0,1	0,1	Si cumple
Hierro	mg/L	0,2	0,2	0,3	Si cumple
Magnesio	mg/L	12,3	12,3	30	Si cumple
Manganeso	mg/L	0,08	0,1	0,1	Si cumple
Nitritos	mg/L	0	0	0	Si cumple
Nitratos	mg/L	6,3	6,3	10	Si cumple
Plomo	mg/L	0,01	0,01	0,01	Si cumple
Sulfatos	mg/L	110	145	200	Si cumple
Zinc	mg/L	0,05	0,05	3	Si cumple
<b>Parámetros Microbiológicos</b>					
Coliformes Totales	NMP	menor a 2	menor a 2	menor a 2	Si cumple
Coliformes fecales	NMP	menor a 2	menor a 2	menor a 2	Si cumple

### 3.2 Capacidad y Selección de los 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 se adapten a las dimensiones que tiene el contenedor. A continuación se describe cada etapa con la capacidad y equipos a requerir.

#### Captación de Agua de Río

El agua de río ingresara 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 esta colapsaría, por esta razón en el sitio donde se succione el agua adicional abra 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 determino un tiempo promedio de sedimentación de dos horas, puesto que el caudal es de 1 m<sup>3</sup>/h el volumen mínimo del sedimentador será de 2 m<sup>3</sup>.

Como sedimentador se opto por el uso de una piscina que brinda la facilidad de ser ubicada en cualquier sitio y que estará provista de una cubierta plástica.

Para el cálculo de las dimensiones de la piscina se tomo como referencia un volumen de 3 m<sup>3</sup> puesto que adicional a la sedimentación en esta etapa se efectuara la desinfección con Hipoclorito de sodio, con lo cual tenemos que las medidas de la piscina son de 1.95 m de diámetro y 1m de alto.

#### Coagulación y Floculación

Las operaciones de coagulación y floculación se llevaran a cabo dentro de un mismo equipo, la capacidad de este equipo será de 2m<sup>3</sup> lo que da el tiempo necesario para que los flocs formados se depositen. Los productos químicos llegan a este equipo 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 captara el agua que sale del coagulador y que no ha terminado su tratamiento durante las horas de la noche donde el consumo de agua disminuye, esta agua semi-tratada puede también ser usada para aseo o limpieza.

Para almacenar el agua se opto también por una piscina, esta vez con capacidad para 6 m<sup>3</sup> y diámetro de 2.76 m, este reservorio contara con una cubierta que impida que el agua se contamine.

#### Filtrado

Se empleara 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<sup>3</sup>/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 almacenara en un tanque de polietileno de alta densidad, puesto que la distribución es permanente la capacidad de este tanque será de 3 m<sup>3</sup>.

#### Equipos y Materiales Accesorios

**Bombas:** Se requiere de tres bombas, la primera que es la encargada de succionar el agua del río para ser llevada al reservorio de agua cruda, la segunda para llevar el agua al equipo de coagulación-floculación y la tercera que trasladara el agua del reservorio de agua clarificada a los filtros, de acuerdo a las características del agua y al caudal, las bombas que mejor se adaptaban a las necesidades son las Bombas Jet con una potencia de 1 HP para la succión de agua de río y de ½ HP para las bombas restantes.

**Válvulas:** Las válvulas se emplean con el fin de regular el flujo y además permiten detener el fluido cuando las bombas requieran mantenimiento, las válvulas que mejor se adaptan son las del tipo Globo y de tipo compuerta para la eliminación de lodos.

Además se requiere de válvulas Check de retención y tipo canastilla, que evitan que las bombas se queden sin agua durante los periodos que no este funcionando.



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

**Kit de análisis para Cloro:** Este equipo permite conocer la concentración de cloro libre residual.

**Turbidímetro:** Dadas las variaciones de turbidez el control de este parámetro debe ser constante

**Balanza:** Para el peso de sustancias químicas.

Los siguientes equipos accesorios serian 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

### 3.3 Estructura y adecuación de Contenedor

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

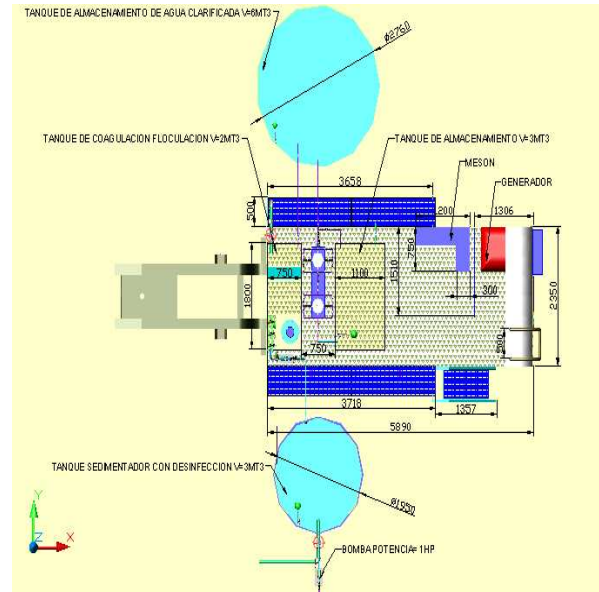
Las paredes laterales serán abatibles y cada una dividida en dos secciones, se dispondrá de una escalera móvil que será colocada a nivel del piso para tener acceso al contenedor la misma que al desarmarse se ubicara en un compartimento bajo el contenedor.

En un extremo del contenedor hacia la parte de afuera se dispondrán de rejas donde se colocara los recipientes para combustible, adicional el contenedor contara con iluminación y acondicionador de aire, un mesón para las actividades de preparación de soluciones y análisis al agua.

### 3.4 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 de la siguiente manera:



Cada equipo en las diferentes etapas requiere diversos accesorios que permitan su funcionamiento, así tenemos:

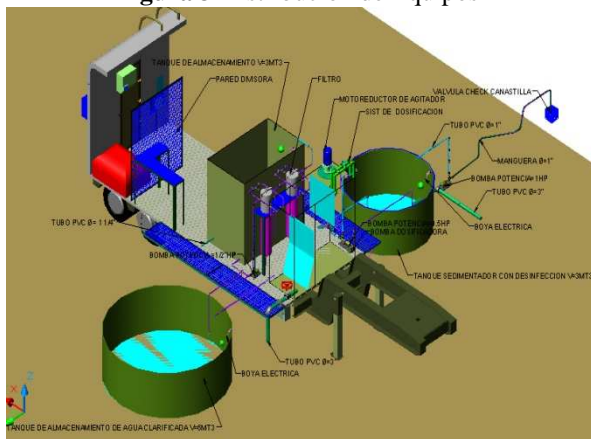
**Captación:** La manguera de succión tendrá 1 pulgada de diámetro provista de una válvula check tipo canastilla, en el lugar donde se capte el agua se colocará al contorno una malla.

**Reservorio de Sedimentación y Desinfección:** Para que el agua llegue a este reservorio se requiere de una 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 ingresara 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 llegara a la piscina por medio de una manguera que viene de la bomba dosificadora situada dentro del contenedor. Adicional el reservorio contara con una cubierta que impida nuevamente el ingreso de cuerpos extraños.

**Equipo de Coagulación y Floculación:** El agua ingresara a este equipo por medio de una bomba de 1/2 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 ubicara una válvula check de retención y una válvula tipo globo para regular el flujo. El equipo de coagulación consta de tres secciones en la primera sección se adicionan el sulfato de aluminio, cal y polímero, en la segunda sección el agua asciende mientras los flocs se

**Figura 3** Distribución de Equipos



van formando y depositando en el fondo donde se ubicara una tubería de descarga para la eliminación de lodo de 3 pulgadas provista de una válvula de compuerta la misma que puede ser abierta o cerrada las veces que se crea necesario, en la tercera sección se produce la salida del agua clarificada por medio de una tubería de ¾ de pulgada.

El coagulante, cal y floculante llegaran a este equipo por medio de bombas dosificadoras.

**Reservorio Agua Clarificada:** Este reservorio permite que haya mayor tiempo para que los flocs formados en la etapa previa se depositen obteniendo agua clarificada que también puede ser usada para fines de aseo o limpieza, el agua llega al reservorio por medio de una tubería de ¾ de pulgada, cuando el tanque de almacenamiento este lleno, la boya eléctrica en su interior enviara una señal y la bomba que alimenta el equipo de Coagulación y Floculación se apagara. Este reservorio también contará con una cubierta plástica

**Filtros:** El agua que alimenta el filtro de arena proviene 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 pasa al filtro de carbón activado y sale por una tubería de 1 pulgada hacia el tanque de almacenamiento, en el caso de los filtros hay que tener presente que se debe efectuar el retrolavado lo que consiste en invertir el sentido del flujo, se requiere de agua del tanque de almacenamiento para efectuar el retrolavado, de la parte inferior del tanque saldrá una tubería de ¾ que se conectara a la bomba que succiona agua para alimentar a los filtros, para efectuar este procedimiento se debe cerrar la válvula 15 y abrir la válvula 16, para los filtros tenemos:

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 tomara muestras para análisis de turbidez y cloro residual

**Tanque de Almacenamiento:** El agua proveniente del filtro de carbón llegara 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.

### 3.4.1 Sistema de Generación de Energía.

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

## 4. Costos

Los costos se dividieron en Costos de Inversión y Costos de Funcionamiento.

Dentro de los costos de Inversión están todos los equipos y accesorios previos al funcionamiento como son el contenedor y su adecuación, los equipos, bombas, reservorios, tuberías, válvulas, equipos de laboratorio, etc. Adicional se suma los costos de mano de obra por adecuación de la planta y generador de energía los cuales suman un total de \$17800.

Los costos de Funcionamiento en cambio tienen que ver con los insumos que se requieren, mano de obra, mantenimiento, etc. Este valor se lo calculó por metro cúbico de agua potable producida.

En la siguiente tabla se muestra los costos de Funcionamiento tomados en consideración.

**Tabla 3** Costos de Funcionamiento

RUBRO	COSTO POR METRO CUBICO
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
<b>Total</b>	<b>\$ 1,71</b>

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

Tomando el ejemplo del albergue situado en el Km 26 en el cual para abastecer de agua a 420 personas se requiere 3,2m<sup>3</sup> de agua al día, la inversión seria de:

$$3,2 m^3 \times \$ 1,71 = \$ 5,47 / dia$$

Si consideramos el abastecimiento por medio de garrafones de 20 litros cuyo costo se estima en \$1.20 la inversión seria de:

$$3200 L \times \frac{1 \text{ garrafon}}{20 L} = 160 \text{ garrafones} / dia$$

$$160 \text{ garrafones} \times \$ 1.20 = \$ 192 / dia$$

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 por abastecimiento de agua



por medio de garrafones durante situaciones de emergencia y desastre.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

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.

El contenedor está estructurado de tal manera que sus laterales son abatibles y divididos lo que brinda la facilidad de abrir solo las secciones que se necesite, además cuenta con una escalera móvil y desarmable que será ubicada en un compartimento bajo el contenedor y una rejilla en la parte superior donde se colocaría los recipientes destinados a almacenar el combustible en el caso de requerir el generador de energía.

Para la alimentación de agua en los diferentes equipos se optó por las 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 permite succionar agua desde el río, la segunda y tercera bomba sirven 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 evitan el retorno del fluido.

Para las etapas de Potabilización se usó 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 ubicaron fuera del contenedor y que al momento de trasladarse pueden ser recogidas y ubicadas dentro del mismo.

Dentro de las etapas de potabilización la sedimentación se realizó 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.

La desinfección se realizó 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 asegura la destrucción de microorganismos patógenos causantes de las enfermedades de origen hídrico.

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 permiten que mientras el agua asciende los flocs formados se vayan depositando en el fondo para que puedan ser eliminados.

Con la capacidad de producción de esta planta y al estar en condiciones de operar las 24 horas es 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.

Esta planta está en la capacidad de trabajar donde no exista energía eléctrica puesto que cuenta con un generador de energía de 135 Kw que cubre los requerimientos de energía de los equipos.

Dentro de los costos que se requieren 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.

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.

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

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.

## 6. Agradecimientos

A la Ing. Silvia Espinoza, Ing. Rubén Ascencio, Ing. Gastón Mendoza, Ing. Kleber Espinoza, Ing. Marco Medina, Dra. Ibelisse Molina por su importante ayuda y contribución para la realización de esta tesis.

## 7. Referencias

- [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] COMISION DE ESTUDIOS PARA EL DESARROLLO DE LA CUENCA DEL RIO GUAYAS Y PENINSULA DE SANTE ELENA [en línea]. Ecuador [consulta: 22 Julio 2009]. Disponible en: <<http://www.cedege.gov.ec/>>
- [6] ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Saneamiento y Salud [en línea]. USA [consulta: 20 Agosto 2009]. Disponible en: <[http://www.paho.org/default\\_spa.htm](http://www.paho.org/default_spa.htm)>
- [7] 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](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3sp.pdf)>
- [8] 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](http://www.paho.org/spanish/Ped/PC575/PC575_C1.pdf)>
- [9] 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>>
- [10] 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](http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_08_ING02.pdf)>
- [11] KEMMER, Frank N y CALLION, John. Manual del Agua Tomo 1. México
- [12] ARBOLEDA, Jorge Teoría y Practica de la Purificación de Agua Teoría Tomo 1. Colombia
- [13] ARBOLEDA, Jorge Teoría y Práctica de la Purificación de Agua Teoría Tomo 2. Colombia
- [14] 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>>
- [15] 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>>
- [16] PORTAL EDUCATIVO DE AMERICA. Filtros de Agua. [en línea] Puerto Rico [consulta: 20 Junio 2010]. Disponible en: <<http://www.salonhogar.com/ciencias/naturaleza/elagua/filtrosdeagua.htm>>
- [17] 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>>
- [18] 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>>
- [19] EJERCITO 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>>
- [20] 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](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts184.pdf)>
- [21] CENTRO REGIONAL DE INFORMACION SOBRE DESASTRES AMERICA, Sismo en Pujili [en línea] Ecuador [consulta: 10 Septiembre 2009]. Disponible en: <<http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc9323/doc9323.htm>>
- [22] INSTITUTO GEOFISICO DE LA ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, Boletín Sísmico Especial No 07 [en línea]. Ecuador [consulta: 18 Septiembre 2010]. Disponible en: <[http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/documentos/EQU\\_IGEPN\\_BolEspSi smico\\_12082010.pdf](http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/documentos/EQU_IGEPN_BolEspSi smico_12082010.pdf)>
- [23] SANCHEZ, Rafael. Procesos de Tratamientos de Agua. Gran Canarias.