



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD POTABILIZADORA DE  
DOS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA, UTILIZADAS EN SITUACIONES DE EMERGENCIA**

**Enrique Antonio Godínez López**

Asesorado por el Msc. Ing. Félix Douglas Aguilar Carrera

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD POTABILIZADORA DE  
DOS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA, UTILIZADAS EN SITUACIONES DE EMERGENCIA**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ENRIQUE ANTONIO GODÍNEZ LÓPEZ**

ASESORADO POR EL MSC. ING. FÉLIX DOUGLAS AGUILAR CARRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD POTABILIZADORA DE DOS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA, UTILIZADAS EN SITUACIONES DE EMERGENCIA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha 16 de julio de 2012.



**Enrique Antonio Godínez López**

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria  
y Recursos Hidráulicos ERIS  
Facultad de Ingeniería

Guatemala, 05 de febrero de 2013.

Director:  
**Hugo Leonel Montenegro Franco**  
Escuela de Ingeniería Civil  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS. El propósito de la presente es informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Enrique Antonio Godínez López**, quien se identifica con carné número **2006-15073**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO".

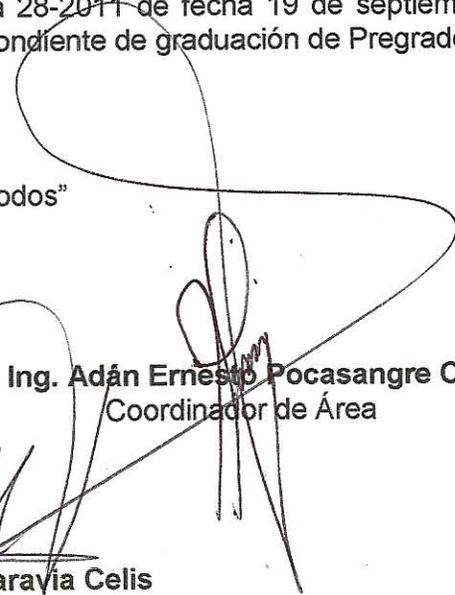
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"

  
**Ing. Félix A. Douglas Aguilar C.**  
**Maestría Ingeniería Sanitaria**  
**Col. 3806**

**M.Sc. Ing. Félix Douglas Aguilar Carrera**  
Asesor

  
**M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos**  
Coordinador de Área



  
**M.Sc. Ing. Pedro Sarayía Celis**  
Director ERIS

Cc.: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,  
18 de febrero de 2013  
Ref. IC. 009.13

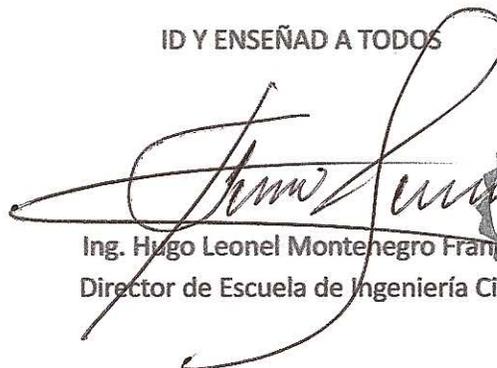
Ingeniero  
Hugo Humberto Rivera Pérez  
Secretario Académico  
Facultad de Ingeniería  
Guatemala

Ingeniero Rivera.

De manera atenta informo a usted que el estudiante Enrique Antonio Godínez López, Carnet No. 200615073, ha cumplido con el proceso de graduación de Licenciatura mediante la modalidad "Estudio de Postgrado", presentando a esta Dirección de Escuela el DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD POTABILIZADORA DE DOS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA, UTILIZADAS EN SITUACIONES DE EMERGENCIA, asesorado por el Msc. Ing. Félix Douglas Aguilar Carrera, debidamente aprobado por la Dirección de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS, por lo que en calidad de Director de la Escuela de Ingeniería Civil, doy mi visto bueno para continuar con el procedimiento correspondiente.

Sin otro particular me suscribo de usted.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de Escuela de Ingeniería Civil



/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE LA CAPACIDAD POTABILIZADORA DE DOS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA, UTILIZADAS EN SITUACIONES DE EMERGENCIA**, presentado por el estudiante universitario Enrique Antonio Godínez López, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, febrero de 2013

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Mi creador. Fuente de inspiración que me guía y da la sabiduría en la realización de todos mis actos. Junto a él todas mis metas han sido y seguirán siendo posibles.
- Mis padres** Marco Antonio Godínez Rivera, Elsa Elvira López de Godínez, por todo su amor, ejemplo vivo y apoyo a lo largo de mi vida y en este nuevo logro de mi carrera. Los amo.
- Mis hermanos** Wendy Godínez, Daniel Godínez y Diego Godínez, núcleo de unidad, quienes me han ayudado y animado para seguir siempre adelante.
- Mis abuelos** Enrique Godínez, Teresa Rivera, Gonzalo López y Elisa López, por todo su amor y apoyo. Qué Dios los tenga en su santa gloria.
- Mi familia** Tíos y primos, por mantener siempre la unión familiar y ese inmenso cariño.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por la vida, la sabiduría, las bendiciones, por abrir las puertas del éxito y permitirme conocer a las personas indicadas para alcanzar esta meta.
- Mis padres** Marco Antonio Godínez Rivera, Elsa Elvira López de Godínez, galardonando su amor, consejos y todos sus sacrificios realizados. Los amo.
- Mis hermanos** Wendy, Daniel y Diego, por su gran apoyo para la realización de este trabajo.
- Mi familia** Tíos, tías, primos y primas de manera muy especial, por su ayuda y ánimos para concluir este trabajo.
- Mi novia** Ilcy Ramírez, por todo su apoyo, amor, cariño y comprensión; por estar a mi lado.
- Mis asesores** Ing. Félix Douglas Aguilar Carrera e Ing. Juan Pablo Oliva Hernández, por su valiosa asesoría y ese gran apoyo para concluir con éxito este proyecto.

**CONRED**

Mi más sincero agradecimiento al personal técnico y administrativo de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, por su valiosa colaboración, por compartir sus experiencias.

**Facultad de  
Ingeniería**

A las Autoridades, docentes y a la Unidad Académica, por brindarme la formación profesional y docta, durante estos maravillosos años.

**La Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Grandiosa casa del saber, quien me acogió durante mis años de estudio.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIOS.....	7
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
5. OBJETIVOS.....	11
6. HIPÓTESIS.....	13
7. PROGRAMA DE TRABAJO.....	15
8. MÉTODO Y DISEÑO ESTADÍSTICO.....	21
9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y ECONÓMICO.....	27
10. BIBLIOGRAFÍA.....	31

11. ANEXOS..... 33

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### TABLAS

I.	Descripción de actividades para desarrollar la investigación.....	15
II.	Costos estimados para la operación de las PTAPp.....	29



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Qi</b>	Caudal en litros por segundo
<b>Q<sub>m</sub></b>	Caudal medio
<b>PVC</b>	Cloruro de polivinilo
<b>S</b>	Desviación estándar global
<b>HG</b>	Hierro galvanizado
<b>Ca(ClO)<sup>2</sup></b>	Hipoclorito de Calcio
<b>psi</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>L/s</b>	Litros por segundo
<b>L/Hab/día</b>	Litros por habitante al día
<b>mca</b>	Metro columna de agua
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>Q</b>	Moneda quetzal de Guatemala

<b>U</b>	Nivel de confianza aceptable
<b>N</b>	Número de muestras o ensayos
<b>S%</b>	Pendiente de terreno
<b>pH</b>	Potencial de Hidrógeno
<b><math>Al_2(SO_4)_3</math></b>	Sulfato de Aluminio
<b><math>FeSO_4</math></b>	Sulfato de Hierro
<b>t</b>	t de student para determinar nivel de confianza

## GLOSARIO

<b>Aforo</b>	Operación que consiste en medir un caudal de agua; es la producción de una fuente.
<b>Agua cruda</b>	Agua regularmente contaminada, tal y como se encuentra en la fuente.
<b>Agua potable</b>	Agua sanitariamente segura, que debe ser, además inodora, insípida, incolora y agradable a los sentidos.
<b>Agua tratada</b>	Agua sometida a un proceso de remoción de contaminantes.
<b>Aguas residuales</b>	Agua proveniente de actividades domésticas, comerciales o industriales.
<b>Amenaza</b>	Acontecer que puede producir un daño, provocado por un evento de origen natural o provocado.
<b>Análisis bacteriológico</b>	Evaluación y determinación de los microorganismos presentes en una muestra representativa de agua.
<b>Análisis fisicoquímico</b>	Evaluación y determinación de las características físicas y químicas que posee una muestra representativa de agua.

<b>Bacteria</b>	Organismo microscópico sin clorofila, de varias especies y algunas patógenas.
<b>Calidad del agua</b>	Condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas.
<b>Capacidad potabilizadora</b>	Eficiencia para transformar agua contaminada en agua sanitariamente segura.
<b>Caudal</b>	Volumen de agua que pasa por unidad de tiempo; su simbología es litros por segundo, metros cúbicos por segundo, galones por minuto.
<b>Coagulación</b>	Proceso químico unitario, empleado en el tratamiento de aguas que persigue alterar el estado de los sólidos, para excitarlos y aglomerarlos en partículas de mayor tamaño.
<b>CONRED</b>	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres de origen natural o provocado.
<b>Consumo-agua</b>	Cantidad de agua real que utiliza la persona; es igual a la dotación.
<b>Cuerpos de agua</b>	Fuentes superficiales (ríos, lagos) y subterráneas (pozos).
<b>Desastre natural</b>	Referente a las pérdidas materiales y humanas, ocasionadas por eventos o fenómenos naturales.

<b>Desinfección</b>	Etapa de tratamiento final para agua potable, el cual consiste en la adición de algún desinfectante que elimine los patógenos de dicha masa acuosa.
<b>Dotación-agua</b>	Es el volumen de agua consumido por una persona en el día.
<b>Filtración</b>	Proceso que permite la remoción de sustancias disueltas en el agua, al pasar esta por una serie de materiales granulométricos y adsorbentes.
<b>Floculación</b>	Proceso químico posterior a la coagulación, en el cual se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.
<b>Parámetro</b>	Valor numérico o dato fijo que se considera en el estudio o análisis de una cuestión.
<b>PTAP</b>	Planta de tratamiento de agua potable.
<b>PTAPp</b>	Planta de tratamiento de agua potable portátil.
<b>PTAR</b>	Planta de tratamiento de aguas residuales.
<b>Riesgo</b>	Vulnerabilidad que presentan bienes y elementos ante un posible y potencial daño o perjuicio, procedente de una amenaza.

<b>Salud</b>	Es el estado de bienestar físico, mental y social.
<b>Sedimentación</b>	Proceso en el cual las partículas coloidales aglomeradas en la coagulación y floculación, precipitan al fondo del reservorio, para su posterior extracción.
<b>Situación de emergencia</b>	Escenario que se presenta luego de la ocurrencia de un desastre de origen natural o provocado, requiriendo de acciones urgentes para solventar daños y necesidades.
<b>Tratamiento de agua</b>	Serie de procesos que permiten la transformación de agua contaminada a agua sanitariamente segura.
<b>USAID</b>	Agencia de desarrollo internacional de los Estados Unidos (por sus siglas en inglés).
<b>Variable</b>	Término referente a cada una de las ramas o ciencias estudiadas e incluidas en el desarrollo de una investigación.
<b>Vulnerabilidad</b>	Incapacidad de resistencia, cuando se presenta una amenaza. Puede considerarse como la incapacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre.

## RESUMEN

El tratamiento de agua potable consiste en transformar agua con cierto grado de contaminación, en un líquido que sea apto para el consumo humano. En una situación de emergencia se hace necesario este proceso, para poder brindar agua sanitariamente segura a una comunidad afectada por algún fenómeno de origen natural o provocado.

Existen varias tecnologías que permiten cumplir con lo antes descrito. La presente investigación se enfoca en una de estas tecnologías; se conocerá el funcionamiento de dos plantas de tratamiento de agua portátiles (denominadas así en relación a una planta de tratamiento tradicional), teniéndose como una finalidad principal restaurar dichos equipos y generar un Manual de Operación y Mantenimiento.

Dentro del propósito de restaurar y generar un instructivo que permita el buen uso y mantenimiento de los equipos de tratamiento de agua, se considera determinar la capacidad potabilizadora que poseen las plantas de tratamiento, para establecer de qué fuentes superficiales (que son las que mayor contaminación poseen) puede ser extraída agua para su posterior tratamiento, en función de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos presentes en estos cuerpos de agua.

La toma de muestras de agua y la realización de exámenes en algunos cuerpos superficiales de agua del país, son parte fundamental de esta investigación.



## 1. INTRODUCCIÓN

Cada año los desastres naturales se suscitan con mayor frecuencia, sus impactos son cada vez mayores y las pérdidas asociadas siguen en aumento. En la región, esto contribuye a que la infraestructura de agua y saneamiento se encuentre expuesta a niveles de riesgo cada vez más altos y con cada nuevo desastre son más los sistemas que resultan dañados.

Generalmente, las poblaciones a las cuales es necesario dotar de servicios, se encuentran asentadas en las zonas marginales de las ciudades y en las áreas rurales. A menudo, esta ubicación coincide con una mayor exposición a las amenazas naturales y una mayor vulnerabilidad de los sistemas a construir.

La presente investigación se enfoca en un medio de abastecimiento de agua potable, utilizado en situaciones de emergencia. Se implementará una Planta de Tratamiento de Agua Potable –PTAP- portátil (PTAPp), denominada así de aquí en adelante, debido a sus pequeñas dimensiones en relación a una PTAP tradicional. El sistema comprende mecanismos de una planta tradicional, con procesos de mezcla rápida para el efecto de coagulación, también incluye las fases de floculación, filtración y desinfección, así como, de disposición del agua ya tratada en un tanque de almacenamiento (igualmente portátil). Cabe mencionar que la etapa de sedimentación es la ausente en este sistema.

La Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) cuenta con dos PTAPp, las cuales fueron donadas por la Agencia de Desarrollo Internacional de Los Estados Unidos (USAID) (por sus siglas en inglés) y fabricadas por LMS France World Water Treatment, fabricante francés de estaciones de tratamiento de agua destinadas a las urgencias humanitarias. Sin embargo, ambas estaciones de tratamiento se encuentran varadas ante la carencia del conocimiento de la operación de estas y la falta de insumos.

Este estudio posee como fin principal restaurar, hacer funcionar y tener en disposición inmediata las dos plantas antes descritas. Se realizarán análisis físico-químicos y bacteriológicos para el agua cruda y tratada y así determinar la Capacidad Potabilizadora de estos dos equipos móviles de tratamiento. De igual forma, se desarrollará un Manual de Operación y Mantenimiento para el adecuado funcionamiento y sostenimiento de las PTAPp, optimizándose así los recursos humanos y económicos.

Cabe mencionar que las PTAPp consideran como fuentes de abastecimiento ríos y lagos de agua dulce, por lo que, para determinar la capacidad potabilizadora de las plantas, se caracterizarán varias fuentes o cuerpos de agua del país aplicables, de acuerdo a sus parámetros físicos, químicos y bacteriológicos. El agua subterránea (pozos) tiende a presentar menos contaminación que el agua superficial, razón por la cual se consideran como fuentes críticas o modelo, los cuerpos superficiales.

## 2. ANTECEDENTES

Según indica la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en uno de sus boletines, el impacto del huracán Mitch (1998) afectó directamente a 60 servicios de agua y saneamiento en la región de Guatemala.

Los daños en la infraestructura de saneamiento básico apuntan, en los países más afectados, que aproximadamente 80% de la población enfrentó o sigue enfrentando dificultades con el suministro de agua potable, tanto en las zonas rurales como urbanas y en especial periurbanas.

“Después del Mitch, aproximadamente 328 comunidades informaron daños en sus sistemas de agua potable, teniendo por lo menos 60 de ellos necesidades de reconstrucción; también se reportaron 21 000 letrinas y 10 sistemas de alcantarillado dañados; se identificaron necesidades adicionales de vigilancia de la calidad del agua, desinfección de pozos y sistemas de agua potable y de educación sanitaria.”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Organización Panamericana de la Salud. Boletín Impacto del Huracán Mitch. 1998. [http://www.paho.org/spanish/sha/epibul\\_95-98/bs984mitch.htm#saneamiento](http://www.paho.org/spanish/sha/epibul_95-98/bs984mitch.htm#saneamiento). Consulta: 20 de octubre de 2012.

“En el caso de la tormenta tropical Stan, se reportaron 127 sistemas de agua potable como proyectos de reconstrucción.”<sup>2</sup>

“El impacto de la tormenta Stan en el agua para consumo humano se dio en dos ámbitos: en los sistemas de abastecimiento y en los pozos artesanales que sufrieron daños, afectando aproximadamente a 1,02 millones de habitantes.”<sup>3</sup>

Por su parte, la tormenta tropical Agatha (mayo de 2010), vino a afectar gran parte del territorio nacional. A la fecha, no se cuenta con un dato preciso de cuántos sistemas de abastecimiento o tratamiento de agua fueron dañados a causa del fenómeno. Sin embargo, abastecer de agua sanitariamente segura a varias comunidades fue necesario, al quedarse varios poblados sin este servicio básico.

Las referencias antes descritas han sido parcial o totalmente solventadas, al aplicar tecnologías diversas que permiten brindar agua a comunidades afectadas. Actualmente, en el municipio de Panajachel, departamento de Sololá, se encuentra una de las dos PTAPp con las que cuenta la CONRED.

---

<sup>2</sup> Segundo Informe de Monitoreo y Auditoría Social del Programa de Reconstrucción Nacional: “Reconstrucción post Stan, 11 meses después”. Fondo de Inversión Social (FIS). 2006. [https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:oyMGBsDx\\_5oJ:transition.usaid.gov/gt/docs/2\\_informe\\_reconstr.pdf+Segundo+Informe+de+Monitoreo+y+Auditor%C3%ADa+Social+del+Programa+de+Reconstrucci%C3%B3n+Nacional:+%E2%80%9CReconstrucci%C3%B3n+post+Stan,+11+meses+despu%C3%A9s%E2%80%9D.+Fondo+de+Inversi%C3%B3n+Social+\(FIS\).&hl=es&gl=gt&pid=bl&srcid=ADGEESjWZZUza5hsX3Hg0PMBBx4krt9gj3aubzyssSGn4SRw\\_-WmMoteOhBYTQ\\_h0HIsIzcWZnvJHP1gVh0UOBMwuZm23cgiLFUDW3g4wzmvxEFjd8We3B4T4cgaTEdTuvDT8IjJu-dW&sig=AHIEtbQVzMLxBcyL0s8I3jevSC7oqngKfA](https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:oyMGBsDx_5oJ:transition.usaid.gov/gt/docs/2_informe_reconstr.pdf+Segundo+Informe+de+Monitoreo+y+Auditor%C3%ADa+Social+del+Programa+de+Reconstrucci%C3%B3n+Nacional:+%E2%80%9CReconstrucci%C3%B3n+post+Stan,+11+meses+despu%C3%A9s%E2%80%9D.+Fondo+de+Inversi%C3%B3n+Social+(FIS).&hl=es&gl=gt&pid=bl&srcid=ADGEESjWZZUza5hsX3Hg0PMBBx4krt9gj3aubzyssSGn4SRw_-WmMoteOhBYTQ_h0HIsIzcWZnvJHP1gVh0UOBMwuZm23cgiLFUDW3g4wzmvxEFjd8We3B4T4cgaTEdTuvDT8IjJu-dW&sig=AHIEtbQVzMLxBcyL0s8I3jevSC7oqngKfA). Consulta: 20 de octubre de 2012.

<sup>3</sup> Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres -CONRED-. Boletín informativo. 2005. [http://conred.gob.gt/www/index.php?option=com\\_content&view=article&id=194&Itemid=64](http://conred.gob.gt/www/index.php?option=com_content&view=article&id=194&Itemid=64). Consulta: 20 de octubre de 2012.

Este equipo fue trasladado al referido municipio para solventar el problema de escases del vital líquido luego del paso de la tormenta tropical Agatha, la cual averió infraestructura vital del referido municipio.

La otra estación de tratamiento se implementó en Haití, luego del sismo ocurrido en enero del 2010. Cabe mencionar que ambos equipos se pusieron en funcionamiento en los sitios mencionados dada la colaboración de entidades, quienes colaboraron con insumos y personal técnico especializado en el tema. Lamentablemente, dentro de la región se carece de este conocimiento, de los insumos y de un manual que permita maniobrar y mantener el equipo en óptimas condiciones. Derivado de esto, actualmente las dos PTAPp se encuentran sin funcionamiento, devaluándose y reduciéndose su vida útil.



### **3. JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIOS**

Considerando los antecedentes del apartado anterior, referentes a la alta vulnerabilidad a los desastres que caracterizan al país, en concordancia con lo vital de disponer de agua de calidad, en especial en situaciones de emergencia, donde el objetivo principal es atenuar las enfermedades y decesos; se justifica el restaurar, operar y mantener un sistema de tratamiento y abastecimiento de agua potable móvil, que servirá especialmente para atender casos de urgencia humanitaria o bien donde se requiera el servicio de agua potable.

Se razona el interés y el objetivo principal de esta investigación, dada la carencia del conocimiento de la operación y mantenimiento de las estaciones de tratamiento. Así mismo, se justifica otro de los objetivos del presente estudio, el cual consiste en evaluar o determinar la capacidad de purificación que poseen las Estaciones portátiles de tratamiento, para identificar los contaminantes que eliminan los procesos utilizados. Al cumplir este objetivo podrán optimizarse recursos (humanos y económicos) y se podrán establecer lugares y fuentes de abastecimiento en donde puedan implementarse las PTAPp.

Se beneficiarán poblaciones carentes de un sistema de abastecimiento de agua o bien, comunidades con sistemas colapsados parcial o totalmente. Las PTAPp también pueden ser aplicadas en casos donde el servicio de suministro de agua no exista (asentamientos humanos o invasiones, colonias con suministro discontinuo o suspendido y albergues), siempre que se cuente con una fuente de abastecimiento cercana, que clasifique dentro de los rangos de capacidad potabilizadora que posean las estaciones de tratamiento.

Como favorecidos con la realización de la investigación estaría primeramente el Centro de Investigaciones de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –CIERIS- (USAC) y de igual forma las instituciones que brindarán apoyo para la elaboración del estudio.

#### **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En 1969, surgió el Comité Nacional de Emergencias (CONE). Tenía la finalidad de dar atención a una emergencia y brindar asistencia a la población en caso de desastres.

Posteriormente, surgió la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) en 1996, la cual fue creada como la entidad encargada de prevenir, mitigar, atender y participar en la rehabilitación y reconstrucción de los daños derivados de la presencia de los desastres (Decreto 109-96 del Congreso de la República).

Dentro de esta institución se encuentra la Dirección de Logística, encargada de las funciones operativas que comprenden todas las actividades necesarias para la obtención y administración de los bienes y servicios propios y ajenos a la CONRED.

El Licenciado Walter López, subdirector del Área de Logística (entrevistas no estructuradas) conjuntamente con personal técnico de la CONRED, indicaron que esta institución cuenta con dos plantas móviles para tratamiento de agua potable, las cuales fueron donadas por organizaciones internacionales para ser utilizadas en situaciones de emergencia. Asimismo, mencionaron que no se posee el conocimiento acerca del funcionamiento y mantenimiento para dichos equipos de tratamiento de agua, ya que las veces que las máquinas fueron implementadas en situaciones de urgencia humanitaria, la gestión y el manejo fue por parte de otros entes.

A raíz de esto, las dos plantas potabilizadoras se encuentran varadas, dada la carencia del conocimiento de su funcionamiento e insumos para la operación de las estaciones.

Es así como surgió la necesidad de:

- Conocer el funcionamiento de las plantas de tratamiento.
- Conocer técnicas que permitan conservar las plantas en óptimas condiciones.
- Determinar la capacidad potabilizadora o la capacidad que poseen las plantas para la remoción de contaminantes del agua cruda, para establecer donde pueden ser aplicados dichos equipos.

Lo antes expuesto es requerido con el objeto de restaurar, operar, mantener y tener en disposición inmediata las plantas de tratamiento, en caso sean requeridas ante cualquier eventualidad.

De no restaurarse las plantas de tratamiento, estas no podrán operarse, derrochando así el valioso equipo. Igualmente, al estar el equipo varado, surgirán pérdidas de algunos elementos o componentes de las estaciones móviles, incidiendo en costos para futuras reparaciones. Aumentarán costos para soluciones alternas (en caso se requiera atender cierta emergencia), se incrementarán las necesidades, el equipo se devaluará, habrá daño parcial o total en las plantas y se reducirá la vida útil de estas. Todo esto generará incompetencia ante el requerimiento o necesidad de las plantas de tratamiento, principalmente en una situación de emergencia.

## **5. OBJETIVOS**

### **General**

Conocer el funcionamiento, la operación y la forma de brindar mantenimiento adecuado a dos plantas móviles de tratamiento de agua potable, utilizadas en situaciones de emergencia.

### **Específicos**

1. Determinar la capacidad potabilizadora que poseen las dos Plantas de Tratamiento de Agua Potable Portátil PTAPp.
2. Definir y efectuar procesos convencionales para tratamiento de agua potable, acoplándolos a las características propias de las plantas portátiles a utilizar.
3. Generar un Manual de Operación y Mantenimiento para las estaciones móviles de tratamiento de agua, el cual permita el adecuado funcionamiento de estas y la optimización de recursos; enfocado al usuario u operador.
4. Restaurar y tener en disposición inmediata, dos equipos móviles eficientes para el tratamiento de agua potable.



## 6. HIPÓTESIS

### De trabajo

1. Es posible extraer y potabilizar agua de las fuentes superficiales de la región, con el uso de las Plantas de Tratamiento Portátiles.
2. Las plantas de tratamiento de agua portátiles, son capaces de extraer y potabilizar agua de ciertas fuentes superficiales de la región, en función de la calidad o grado de contaminación que dichas fuentes poseen.

### Nula

1. No es posible potabilizar agua de las fuentes superficiales de la región con el uso de las plantas de tratamiento portátiles, dada la alta contaminación que presentan estos cuerpos de agua.
2. Las plantas de tratamiento de agua portátiles, no son capaces de potabilizar agua de ciertas fuentes superficiales de la región, dada la mala calidad o grado de contaminación que dichas fuentes poseen.



## 7. PROGRAMA DE TRABAJO

Tabla I. Descripción de actividades para desarrollar la investigación

<b>No.</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>1</b>	Investigación bibliográfica (definición de conceptos y variables involucradas en el tema).	Proceso de búsqueda de información en documentos que contengan las definiciones de las variables que componen el tema principal. Los aspectos relacionados con dicho tema, de igual forma son comprendidos en esta actividad.
<b>2</b>	Montaje de planta de tratamiento.	Contabilización de los componentes de la planta de tratamiento. Ensamblaje de los componentes para armar la planta portátil de tratamiento de agua.

**Continuación de la tabla I.**

<b>3</b>	Revisión de funcionamiento del sistema (pruebas al equipo).	Inspección en reposo y en funcionamiento del sistema y sus componentes. Esta etapa incluye las reparaciones o cambio de elementos necesarios para la labor eficiente del equipo.
<b>4</b>	Caracterización inicial de fuentes de abastecimiento o cuerpos de agua establecidos.	Identificación de fuentes o cuerpos de agua (muestras) que se consideren aptas para su tratamiento mediante la PTAPP. La etapa estará en función de un parámetro físico del agua cruda, que generalmente puede ser la turbiedad.
<b>5</b>	Traslado de planta de tratamiento a fuentes de abastecimiento establecidas.	Prosiguiendo de la identificación de fuentes idóneas, se trasladará el equipo hacia estas fuentes y así proceder con la siguiente etapa.

**Continuación de la tabla I.**

<b>6</b>	Implementación de sistema de tratamiento.	Fase del estudio en el que se pondrá en funcionamiento la estación de tratamiento. Se observará el comportamiento hidráulico y mecánico del sistema. Se considera dentro de esta etapa los ajustes o calibración de los elementos que lo requieran o de la planta en general.
<b>7</b>	Análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua cruda.	Toma de muestras directamente de las fuentes o cuerpos de agua seleccionados. Traslado de muestras al laboratorio para posterior realización de exámenes.
<b>8</b>	Análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua tratada.	Toma de muestras de la masa de agua tratada. Traslado de muestras al laboratorio para posterior realización de exámenes.

**Continuación de la tabla I.**

<b>9</b>	Tabulación de datos.	Proceso de recolección de datos provenientes de resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua cruda y tratada y anteriores actividades.
<b>10</b>	Determinación de capacidad potabilizadora del sistema.	Mediante el estudio de los datos obtenidos de los diversos análisis de las muestras de agua, tomadas en las distintas fuentes y a la salida de la estación, se estimará la eficiencia que posee esta planta de tratamiento portátil, para potabilizar agua de determinada fuente, generalmente en función de un parámetro físico (turbiedad).

**Continuación de la tabla I.**

<b>11</b>	Clasificación de fuentes o cuerpos receptores tratables mediante PTAPp.	Con base en la eficacia potabilizadora que se estime posea la planta de tratamiento, se establecerán rangos o clasificaciones para identificar fuentes o cuerpos de agua tratables, mediante la implementación de la PTAPp.
<b>12</b>	Generación de Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta Potabilizadora.	Con la finalidad de darle vida y durabilidad al proyecto, optimizar los recursos y aprovechar al máximo la funcionalidad del equipo, se creará un manual de operación y mantenimiento, enfocado en el operador.

Fuente: elaboración propia.



## 8. MÉTODO Y DISEÑO ESTADÍSTICO

- Método estadístico

El presente apartado abarca una secuencia del procedimiento para el manejo de los datos tanto cuantitativos como cualitativos, que se generarán en el desarrollo de la investigación.

Con el manejo de los datos, se comprobará la hipótesis planteada para este estudio.

El método estadístico de la investigación estará definido en las siguientes etapas:

- Recolección (medición)

En esta fase tal y como su nombre lo indica, se recolectarán los datos cualitativos y cuantitativos considerando cantidades, magnitudes y otros aspectos, llevándose a cabo de igual forma la medición de las variables involucradas.

Dicha recolección y medición se realizará mediante observaciones y experimentos o ensayos en determinados períodos de tiempo.

Para esta investigación, los datos a recolectar son los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos que resultarán de los exámenes realizados al agua cruda y al agua tratada. Caudales, volúmenes, velocidades, dosificaciones, entre otros, son más de los datos que se recolectarán.

- Recuento (cómputo)

Luego de la recolección de datos y medición de las variables, se procederá con la revisión, clasificación y cómputo numérico. Se tabularán datos de manera simple en donde sea necesario (conteos simples) y también mediante software que permita el manejo de bases de datos.

Los datos obtenidos en la etapa de recolección serán sometidos a una inspección, comparándolos con normativas existentes para el caso, para su posterior clasificación. Dado que el manejo y proceso de datos no resulta complejo, se considera la implementación del Software Microsoft Office. De igual forma no se descarta alguna otra programación que facilite la realización de la investigación.

- Presentación

Etapa que abarcará la elaboración de cuadros, gráficas y diseños que permitirán una inspección precisa y rápida de los datos obtenidos de ensayos. Se acomodarán dichos datos de tal forma que puedan ser apreciados e inspeccionados por el lector o interesado, así mismo, revisados. Por su parte, los gráficos ayudarán a representar visualmente la información o resultados obtenidos.

Aforos, parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, tiempos, resultados, entre otros, serán los datos que irán representados o graficados en los cuadros y diagramas dentro de la investigación.

- Síntesis

Se hace necesario resumir datos obtenidos de los ensayos o experimentos. Esto con la finalidad de condensar datos finales, que serán los utilizados para cumplir objetivos planteados y abarcar los aspectos citados en la hipótesis de la investigación.

El compendio de datos se expresará en porcentajes, dimensionales o unidades que permitan la fácil interacción entre receptores de la información plasmada.

Se considera que dentro de este estudio, de todas las pruebas que se realicen, se tomarán primordialmente las más críticas o significativas, descartando las que den valores muy elevados o muy bajos con respecto a un modelo o patrón específico (algún parámetro físico o químico del agua cruda y tratada, como la turbiedad, color, olor, etcétera).

- Análisis

Esta última fase estará definida en función de comparar los datos resumidos de los que trata el apartado anterior (síntesis). Dichas comparaciones estarán relacionadas con normativas y parámetros de diseño existentes para la región. Con tales verificaciones se identificará la concordancia existente con la hipótesis planteada. De este análisis de datos, surgirán ciertas conclusiones con respecto al estudio.

Esta etapa incide directamente sobre uno de los objetivos de este estudio, determinar la capacidad potabilizadora de las PTAPp, dado que se refiere a la discusión y análisis de resultados obtenidos luego de varias pruebas realizadas al agua cruda y sin tratar. Lo antes descrito irá asociado a las normas vigentes para procesar agua sanitariamente segura y otros reglamentos aplicables a la región.

- Diseño estadístico

Se realizarán N ensayos y en cada uno de estos se tomarán N muestras para su respectivo análisis. N (ensayos y muestras) se determinará usando el Método 1060B indicado en Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales de la Editorial Díaz de Santos; que presenta la ecuación y la gráfica de confiabilidad, mostradas en los Anexos del presente documento.

Como valores constantes (los cuales se revisarán y ajustarán en el desarrollo de la investigación), se tomó una desviación estándar, S, de 0,020 y un nivel de confianza, U, de 0,015, obteniéndose para la relación s/U un valor de 1,33. Dicho resultado se interpoló en la Curva para determinación de número de muestras (mostrada en anexos), para un nivel de confianza del 90% (estimado para los ensayos y muestras). Se obtuvo que el número de muestras necesarias sea aproximadamente 7.

- Diseño de la investigación

El trabajo de investigación tendrá un diseño de tipo:

Experimental: la investigación pretende determinar la capacidad potabilizadora que poseen las Plantas de Tratamiento Portátil para Agua Potable, implementándolas en cuerpos de agua con características determinadas.

Cuantitativo: datos como cantidades, concentraciones, volúmenes, velocidades, tiempos, entre otros, serán determinados o medidos dentro del desarrollo de la investigación.

Cualitativo: principalmente, las características y parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las masas de agua cruda y agua tratada, serán abarcadas y descritas dentro del estudio. Aspectos de las plantas de tratamiento se comprenden dentro de este diseño.

Longitudinal: se descarta que la investigación sea transversal, ya que la información no será recogida en una sola ocasión, sino que será recolectada en ciertos períodos de tiempo o en varios eventos durante todo el desarrollo de la investigación.

- Enfoque de la investigación

El enfoque de la presente investigación se considera de tipo descriptivo-correlacional, ya que la investigación determinará características, propiedades y otros parámetros que permitirán llegar al objetivo principal. Así mismo, existirán relaciones entre dos o más variables teniéndose una perspectiva armoniosa entre dichas variables.



## 9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y ECONÓMICO

- Análisis estadístico

Para que el análisis de la investigación sea correcto, debe seguirse cierto orden y secuencia en los aspectos que se describen a continuación:

- ¿Cómo se distribuye cada variable?

La distribución de las variables involucradas en la investigación estarán fundamentadas en los valores y dimensionales que tendrán estas incógnitas. A partir de los valores mencionados las variables se clasificarán en cualitativas y cuantitativas. Con la distribución también se buscará reducir el volumen de datos que se tengan, reduciendo estos a pocos índices que representen la distribución original.

- Generar nuevas variables a partir de las originales

A partir del procesamiento de datos (por ejemplo, parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua cruda y tratada), surgirán otras variables consecuentes de los resultados o manejo de las variables originales. Para la presente investigación, la implementación de software común o sofisticado puede ser una herramienta que contribuya con el surgimiento de nuevas variables, las cuales se abarcarán de manera general o específica, según se considere necesario dentro del desarrollo y alcance de la investigación.

- Describir los principales aspectos de la muestra

Los cuerpos o fuentes de agua de donde se extraerá la masa acuosa para el tratamiento, serán seleccionados en función de recursos disponibles y parámetros que se deseen encontrar. Esto quiere decir, que los cuerpos de agua a estimar (sus parámetros físicos, químicos y bacteriológicos) pueden ser desde pocos hasta varios. De acuerdo al número de fuentes de agua caracterizadas (muestra), se seleccionarán y describirán los aspectos más sobresalientes e importantes de la muestra de la forma más precisa y exacta para que esta sea representativa de la población.

- Estudiar la relación existente entre variables

Como se mencionó anteriormente, el enfoque de la investigación será descriptivo-correlacional, ya que existirán relaciones entre las variables involucradas, surgiendo unas a partir de otras, mediante el manejo y procesamiento de datos o como lo expresan los dos incisos antes descritos.

- Valorar la necesidad de otro tipo de análisis

De ser necesario, ante el no cumplimiento de objetivos o la no concordancia con la hipótesis planteada, puede optarse por la aplicación de otro tipo de análisis, el cual permita abarcar todos los aspectos que se planificaron para el estudio.

- Análisis económico

El presente apartado proyecta una estimación de los costos necesarios para la implementación de las Plantas de Tratamiento Portátil de Agua Potable.

Dicha implementación consiste en brindar a la estación de tratamiento los insumos requeridos por esta para tratar el agua cruda, considerando desde el combustible para hacer funcionar el motor de succión, hasta los químicos que se utilizarán para la transformación del agua.

El análisis económico se plantea de manera general, asumiendo que las plantas no requieren de reparaciones o repuestos. De ser necesario lo antes descrito, se describirá en el desarrollo de la investigación, en seguimiento a las limitantes planteadas en este documento.

**Tabla II. Costos estimados para la operación de las PTAPp**

<b>No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (Q)</b>	<b>Precio Total (Q)</b>
1	Combustible (diesel)	Galones	10	35,00	350,00
2	Aceite (diesel)	Galones	2	175,00	350,00
3	Coagulante	Tabletas/tubo	4	90,00	360,00
4	Floculante	Tabletas/tubo	4	70,00	280,00
5	Hipoclorito de calcio	Tabletas/cubeta	2	400,00	800,00
6	Arena fina	m <sup>3</sup>	2	325,00	650,00
7	Grava 1/4	m <sup>3</sup>	2	335,00	670,00
8	Grava 1/2	m <sup>3</sup>	2	335,00	670,00
9	Carbón activado	m <sup>3</sup>	2	1 025,00	2 050,00
10	Envío (Francia-Guatemala)	Global	1	1 500,00	1 500,00
	Total				7 680,00

Fuente: elaboración propia.

Los precios unitarios descritos en la tabla anterior están sujetos a cambio, ya que son derivados de costos originales en Euros, proporcionados directamente por la empresa Francesa LMS World Water Treatment, vía electrónica.

Además, se consideró el costo de envío de los primeros 5 productos descritos, ya que los precios son para venta dentro de Francia.

Cabe resaltar que tampoco se contempló un paquete de insumos (ajeno a los utilizados en las pruebas que determinarán la capacidad potabilizadora de las PTAPp). En el desarrollo de la investigación se indicará cierta cantidad de insumos que permitan a las estaciones de tratamiento estar en disposición inmediata ante la ocurrencia de cualquier eventualidad o necesidad.

Los costos se estima que son para cinco ensayos, aproximadamente. Esto sería implementar una PTAP en cinco cuerpos de agua, extrayendo una cantidad considerable de muestras para analizar.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. CANTER, Larry. *Manual de evaluación de impacto ambiental: técnicas para la elaboración de estudios de impacto*. 2a ed. Madrid: McGraw-Hill, 1998. 841 p.
2. FUENTES DE LEÓN, Hamilton Manuel. *Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para la aldea San Sebastián, municipio de San Marcos, departamento de San Marcos*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 173 p.
3. Instituto de Fomento Municipal, Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales. *Guía para el diseño de abastecimiento de agua potable a zonas rurales*. Guatemala: INFOM, UNEPAR; 1997. 85 p.
4. MORALES CUSTODIO, Ana José. *Diseño de abastecimiento de agua potable, pavimento rígido, drenaje sanitario y pluvial del barrio El Recuerdo, y drenaje sanitario y pluvial para la colonia Las Victorias, municipio de Jocotenango, Sacatepéquez*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 198 p.
5. Organización Panamericana de la Salud (OPS). *Guía para el diseño de acueductos en zonas rurales*. Guatemala: OPS, 1994. 67 p.

6. \_\_\_\_\_. *Impacto del Huracán Mitch en Centro América*. [en línea]. Boletín epidemiológico, Volumen 19, Número 4. [ref. diciembre de 1998]. Disponible en Web: <[http://www.paho.org/spanish/sha/epibul\\_95-98/bs984mitch.htm](http://www.paho.org/spanish/sha/epibul_95-98/bs984mitch.htm)>.
7. \_\_\_\_\_. Oficina regional para Europa. División de salud y ambiente. *El agua en situaciones de emergencia*. [en línea]. <http://www.paho.org>. [Consulta: 15 de agosto de 2012].
8. PÉREZ CARRIÓN, José. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente (CEPIS/OPS). *Operación de Plantas de tratamiento de agua potable en situaciones de emergencia*. [en línea]. Manuales de la CEPIS, capítulo 4. Archivo electrónico en PDF, 41 p. [http://www.paho.org/spanish/hep/hes/hes\\_cepis.htm](http://www.paho.org/spanish/hep/hes/hes_cepis.htm). [Consulta: enero - julio de 2012].
9. REYNAGA OBREGÓN, Jesús. *El método estadístico*. [en línea]. <<http://www.facmed.unam.mx/deptos/salud/censenanza/spii/antologia/04REYNAGA1Y2.pdf>> [Consulta: 30 de junio de 2012].
10. UNDA OPAZO, Francisco. *Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública*. México: Unión Tipográfica Hispano-Americana, 1969. 870 p.
11. United States Agency International Development (USAID). *Segundo informe de reconstrucción Post Stan*. [en línea]. [ref. noviembre de 2005]. Disponible en Web: <[http://www.usaid.gov/gt/docs/2\\_informe\\_reconstr.pdf](http://www.usaid.gov/gt/docs/2_informe_reconstr.pdf)>.

## **11. ANEXOS**



Anexo 1. **Una de las PTAPp con las que cuenta la CONRED**



Fuente: Salón comunal en el casco urbano de Panajachel, Sololá.

**Anexo 2. Una de las PTAPp en operación**



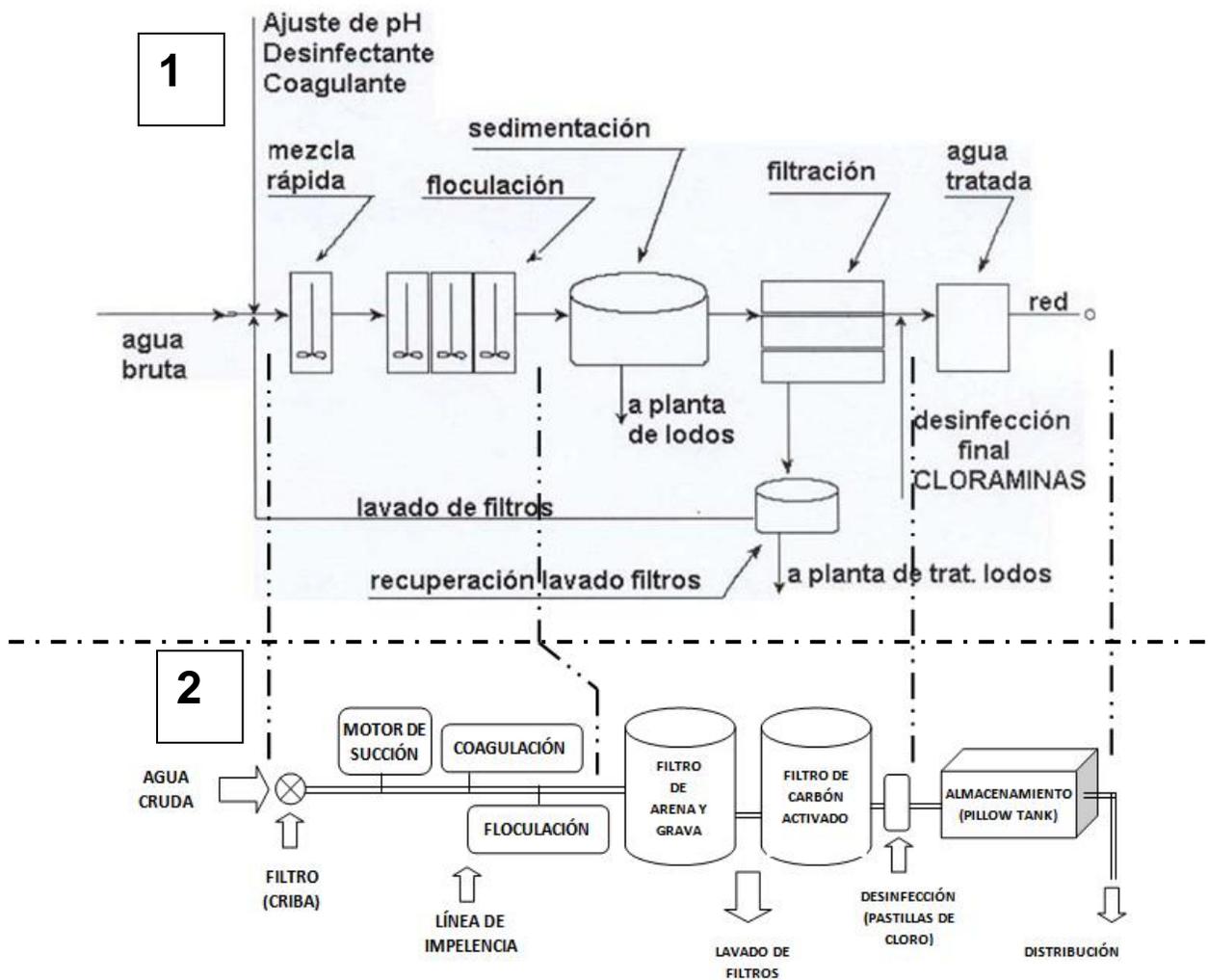
Fuente: LMS France World Water Treatment. <http://old.lms-water.com/phototheque.php>  
Consulta: julio 2012.

**Anexo 3. Se aprecia el “Pillow Tank”, el cual es un reservorio o tanque de almacenamiento flexible y portátil**



Fuente: LMS France World Water Treatment. <http://old.lms-water.com/phototheque.php>  
Consulta: julio 2012.

Anexo 4. **Procesos de tratamiento de agua potable en una planta tradicional (1), relacionados con las plantas móviles a implementar (2)**



Fuente: elaboración propia.

Anexo 5. **Método 1060B. Estimación del número de ensayos y muestras de agua a realizar y recolectar, respectivamente**

$$N \geq \left( \frac{tS}{U} \right)^2$$

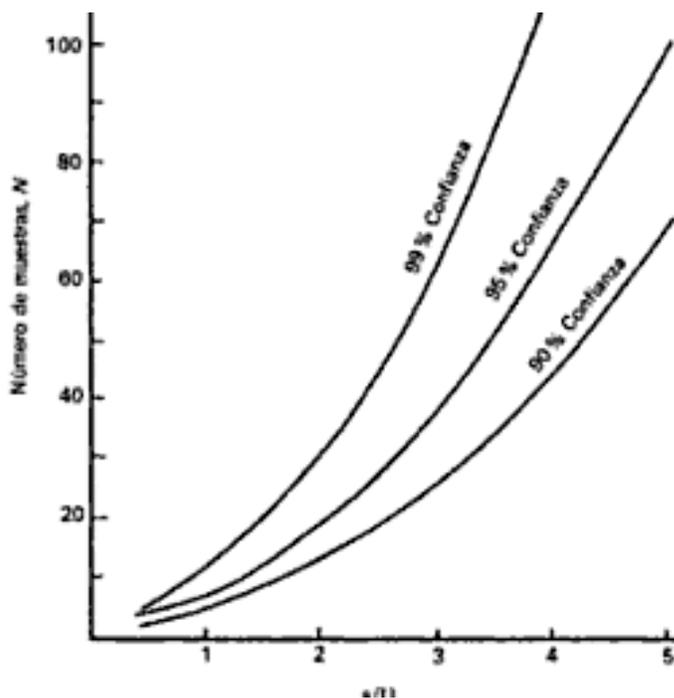
Siendo:

N = número de muestras

t = es la t de student para un nivel de confianza determinado

S = desviación estándar global

U = nivel de confianza aceptable



Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, Editorial Díaz de Santos.