



UNIVERSIDAD DEL TURABO
Escuela de Ciencias y Tecnología
Programa Graduado en Ciencias Ambientales

PROGRAMA GRADUADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

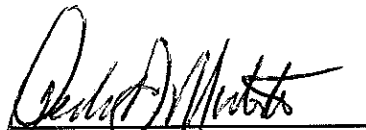
1 de abril de 2008.
Fecha de Defensa

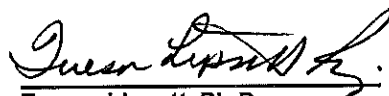
Recomendamos que la tesis de José J. Álvarez Morales
titulada

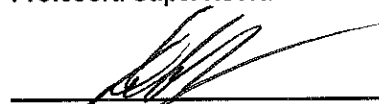
**OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE COMUNITARIOS:
PROPUESTA TÉCNICA**

sea aceptada como requisito parcial para el grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
CON ESPECIALIDAD EN MANEJO AMBIENTAL**


Pedro A. Modesto, M.E.M.
Asesor de Investigación


Teresa Lipsett, Ph.D.
Profesora Supervisora


David Colón Arroyo, M.S.
Miembro


Angel Rivera Collazo, Ph. D.
Decano


Fred C. Schaffner, Ph.D.
Decano Asociado, Estudios Graduados
e Investigación

UNIVERSIDAD DEL TURABO

OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE COMUNITARIOS;
PROPUESTA TÉCNICA

Por

José J. Álvarez Morales
B.S., Ingeniería Mecánica, Universidad de Puerto Rico, Recinto Mayagüez

TESIS

Escuela de Ciencias y Tecnología
Universidad del Turabo
Requisito parcial para el grado de
Maestría en Ciencias Ambientales
Con Especialidad en Manejo Ambiental

Gurabo, Puerto Rico

mayo, 2008

UMI Number: FI 1 F61 1

Copyright 2009 by

UMI: A [] • ERI • ^ ARE

All rights reserved

INFORMATION TO USERS

The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted. Broken or indistinct print, colored or poor quality illustrations and photographs, print bleed-through, substandard margins, and improper alignment can adversely affect reproduction.

In the unlikely event that the author did not send a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if unauthorized copyright material had to be removed, a note will indicate the deletion.

UMI[®]

UMI Microform FI 1 F61 1

Copyright 2008 by ProQuest LLC

All rights reserved. This microform edition is protected against unauthorized copying under Title 17, United States Code.

ProQuest LLC
789 East Eisenhower Parkway
P.O. Box 1346
Ann Arbor, MI 48106-1346

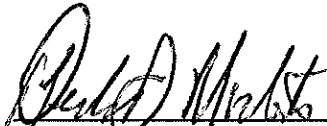
UNIVERSIDAD DEL TURABO

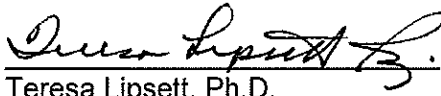
Una tesis sometida como requisito parcial para el grado de
Maestría en Ciencias Ambientales


Optimización de Sistemas de Agua Potable Comunitarios; Propuesta Técnica

José J. Álvarez Morales

Aprobado:


Pedro A. Modesto, M.E.M.
Asesor de Investigación


Teresa Lipsett, Ph.D.
Profesora Supervisora


David Colón Arroyo, M.S.
Miembro

© Copyright 2008
José J. Álvarez Morales. All Rights Reserved

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi Dios Todopoderoso que me ha dado el privilegio y la ayuda de poder alcanzar todas las metas que me trazo en la vida. A mis padres José Álvarez y Ramonita Morales por la incansable dedicación, enseñanza, tiempo, motivación y apoyo que siempre me han brindado. Gracias por estar siempre a mi lado como padres y amigos.

También quiero dedicar esta tesis a dos personas muy importantes en mi vida, mi esposa María Colón por su apoyo incondicional y mi hijo Diego José que es mi fuente de inspiración para seguir trabajando.

Agradecimiento

Gracias al profesor Pedro Modesto, Asesor de Investigación y presidente del Comité de Tesis por su ayuda y recomendaciones durante mi preparación de la investigación. A la profesora Teresa Lipsett por ser mi Profesor Supervisor y al profesor David Colón por ser Miembro del Comité, muchas gracias por haber confiado en mi y ser parte de mi Comité.

Tabla de Contenido

	página
Lista de Tablas	ix
Lista de Figuras	x
Lista de Apéndices.....	xii
Abstract	xiii
Resumen	xiv
Capítulo Uno: Introducción.....	1
1.01. Sistemas Comunitarios en Puerto Rico	1
1.02. Objetivo	3
1.03. Hipótesis	4
1.04. Preguntas a Investigar.....	5
1.05. Definición de Términos.....	5
Capítulo Dos: Revisión de Literatura.....	10
2.01. Leyes Federales.....	11
Ley de Política Ambiental Nacional Federal (NEPA).....	11
Acta de Agua Limpia.....	11
Acta de Recuperación y Conservación de Recursos.	12
Acta de Control de Sustancias Tóxicas.....	13
Acta de Rodenticida, Fungicida e Insecticida Federal.....	14
Acta de Agua Potable Segura.....	14
Reglas que Regulan el Agua Potable.....	16
Regla de Coliformes Totales.....	17
Regla de Tratamiento de Agua Superficial.....	18
Regla Fase 1, Fase II, Fase IIB y Fase V	19

Regla de Cobre y Plomo.....	20
Regla de Desinfectantes y Sub-Productos de la Desinfección: Etapa 1	21
Regla para el Recirculado del Agua de Retrolavado de Filtro	21
Regla de Informe de Confianza al Consumidor.....	22
Regla de Notificación Pública	23
Regla de Arsénico, Aclaraciones para Cumplimiento y Nuevo Monitoreo de la Fuente.....	24
Regla de Radionucleidos	25
Regla Mejorada de Tratamiento de Agua Superficial – Largo Plazo 1	25
Regla de Agua Subterránea	26
Regla de Radón.....	27
Regla de Desinfectantes y Sub-Productos de la Desinfección: Etapa 2.....	28
Regla Mejorada de Tratamiento de Agua Superficial - Largo Plazo 2	29
2.02. Leyes Estatales.....	29
Ley sobre Política Pública Ambiental de Puerto Rico	29
Ley para Proteger la Pureza de las Aguas Potables de Puerto Rico.....	30
Reglamento #50 del Departamento de Salud	30
2.03. Contaminantes del Agua	31
Cryptosporidium	32
Cólera.....	34
Salmonella.....	34
Nitratos.....	36
Escorrentías y Turbiedad.....	37
Metales Pesados	38

Plomo	40
Radón.....	42
Sustancias Químicas	43
Almacenamiento de Químicos y Sustancias	43
2.04. Problemas en el Agua: ¿Cómo Podemos Identificarlos?	44
2.05. Requisitos para la Construcción de un Sistema Comunitario.....	50
2.06. Componentes de un Sistema Comunitario Superficial	55
Coagulación.....	56
Sedimentación	57
Filtración.....	57
Desinfección	68
Capítulo Tres: Metodología	72
Área de Estudio	72
Descripción de la Población o Muestra	72
Periodo del Estudio.....	72
Fuente de Datos	73
Metodología del Trabajo Investigativo.....	73
3.01. Sistema Comunitario Superficial de Guayabota.....	75
3.02. Sistema Comunitario Superficial de Jácanas 2.....	77
3.03. Sistema Comunitario Superficial el Veinte	78
3.04. Sistema Comunitario Superficial Lijas	78
Capítulo Cuatro: Resultados	84
Introducción.....	84
4.01. Sistema Comunitario Superficial de Guayabota.....	84
4.02. Sistema Comunitario Superficial de Jácanas 2.....	93
4.03. Sistema Comunitario Superficial el Veinte	98

4.04. Sistema Comunitario Superficial Lijas	104
4.05. Selección de Filtración y Desinfección	116
Métodos de Desinfección.....	116
Métodos de Filtración	118
Capítulo Cinco: Discusión.....	131
5.01. Objetivos e Hipótesis del Estudio	131
5.02. Preguntas de la Investigación.....	132
5.03. Conclusiones.....	134
5.04. Recomendaciones.....	136
5.05. Aportaciones del Estudio.....	137
Literatura Citada	139
Apéndices.....	149

Lista de Tablas

		página
Tabla 2.01.	Muestreo y Frecuencias de un Sistema Comunitario Superficial en Puerto Rico	46
Tabla 2.02.	Tamaños Relativos en Micrones de Algunos Contaminantes Comunes de los Sistemas Comunitarios de Agua Superficial	68
Tabla 3.01.	Estimados de Costos para Medidas Necesarias de Operación y Mantenimiento del Sistema Comunitario Superficial de Guayabota	77
Tabla 3.02.	Estimados de Costos para Medidas Necesarias de Operación y Mantenimiento del Sistema Comunitario Superficial de Lijas	82
Tabla 4.01.	Costo Estimado de Algunos Métodos de Filtración.....	119
Tabla 4.02.	Tabla de Peso para Seleccionar el Método de Filtración ..	121
Tabla 4.03.	Costo de Implementación del Sistema de Filtración y Desinfección.....	128
Tabla 4.04.	Costo de Operación Anual del Sistema de Filtración y Desinfección.....	129

Lista de Figuras

	página
Figura 4.01.	Sistema de Distribución de Agua de Guayabota85
Figura 4.02.	Pozo #2 – Comunidad Guayabota.....86
Figura 4.03.	Represa #2 – Comunidad Guayabota87
Figura 4.04.	Represa #1 – Comunidad Guayabota88
Figura 4.05.	Tanque del Pozo #1 – Comunidad Guayabota.....89
Figura 4.06.	Oficina – Comunidad Guayabota.....89
Figura 4.07.	Número de Muestras Positivas de Coliformes Totales por Año en el Sistema Comunitario Guayabota.....90
Figura 4.08.	Turbiedad por Año en el Sistema Comunitario Guayabota92
Figura 4.09.	Sistema de Distribución de Agua de Jácanas 2.....94
Figura 4.10.	Tanque de Distribución – Comunidad Jácanas 295
Figura 4.11.	Represa – Comunidad Jácanas 295
Figura 4.12.	Número de Muestras Positivas de Coliformes Totales por Año en el Sistema Comunitario Jácanas 2.....96
Figura 4.13.	Turbiedad por Año en el Sistema Comunitario Jácanas 2.....97
Figura 4.14.	Sistema de Distribución de Agua del Sector El Veinte.....99
Figura 4.15.	Tanque de Distribución – Sector El Veinte 100
Figura 4.16.	Represa con Caja de “Stainless Steel” – Sector El Veinte 101
Figura 4.17.	Clorador de Tabletas – Sector El Veinte..... 101
Figura 4.18.	Número de Muestras Positivas de Coliformes Totales por Año en el Sistema Comunitario El Veinte..... 102
Figura 4.19.	Turbiedad por Año en el Sistema Comunitario El Veinte..... 103

Figura 4.20.	Sistema de Distribución de Agua de Lijas	105
Figura 4.21.	Filtros Lentos de Arena – Comunidad Lijas	106
Figura 4.22.	Clorador – Comunidad Lijas	107
Figura 4.23.	Válvula de Llenado – Comunidad Lijas.....	107
Figura 4.24.	Tubería sin Rosca – Comunidad Lijas.....	108
Figura 4.25.	Agua Turbia Proveniente de los Filtros Lentos de Arena – Comunidad Lijas	109
Figura 4.26.	Arena de Sílica Proveniente de los Filtros Lentos de Arena – Comunidad Lijas	109
Figura 4.27.	Tanque #3 con Fuga de Agua – Comunidad Lijas.....	110
Figura 4.28.	Represa del Tanque #3 con mallas de retención – Comunidad Lijas	111
Figura 4.29.	Canal de la Represa #3 con Mallas de Retención Rústicas – Comunidad Lijas	111
Figura 4.30.	Tanque #2 con Malla de Protección en la Parte Superior - Comunidad Lijas	112
Figura 4.31.	Tanque #1 con Represa – Comunidad Lijas.....	113
Figura 4.32.	Número de Muestras Positivas de Coliformes Totales por Año en el Sistema Comunitario Lijas.....	113
Figura 4.33.	Turbiedad por Año en el Sistema Comunitario Lijas.....	115
Figura 4.34.	Diseño del Sistema Comunitario con Filtración y Desinfección.....	126

Lista de Apéndices

	página
Apéndice Uno.	Contaminantes Regulados bajo el Acta de Agua Potable Segura..... 149
Apéndice Dos.	Sistema de Filtración Convencional con Recirculado . 150
Apéndice Tres.	Proyecto de Demostración de Tecnología Filtros Lentos de Arena 151

Abstract

José J. Álvarez Morales. (M.S., Environmental Science)

Optimization of Community Potable Water Systems: Technical Proposal.

(May/2008)

Abstract of a master dissertation at the Universidad del Turabo.

Dissertation supervised by Professors Pedro A. Modesto, M.E.M. and Teresa Lipsett, Ph.D.

No. of pages in text 138

In Puerto Rico there are communities and sectors that obtain drinkable water from Surface Community Systems. These are operated and managed by their own community members. Most of the Surface Community Systems do not meet the maximum levels established for turbidity and coliform bacteria by a series of reasons like improvements to the system, education, lack of operator certifications, bad preventive maintenance practices and others.

In this research, four Surface Community Systems were studied. They are located in the east area of Puerto Rico: Sector el Veinte, Comunidad Guayabota and Jácanas 2 Surface Community Systems, located in Yabucoa and Lijas Surface Community System is located in Las Piedras. The purpose of this investigation is to find a cost effective and useful filtration system for Surface Community Systems to meet EPA and Government turbidity and coliform standards.

Resumen

José J. Álvarez Morales. (M.S., Ciencias Ambientales)

Optimización de Sistemas de Agua Potable Comunitarios; Propuesta Técnica.

(May/2008)

Resumen de una disertación de maestría de la Universidad del Turabo.

Disertación Supervisada por los Profesores Pedro A. Modesto, M.E.M. and Teresa Lipsett, Ph.D.

No. de páginas en el texto 138

En Puerto Rico hay comunidades y sectores que obtienen agua potable de Sistemas Comunitarios Superficiales. Estos son operados y manejados por las mismas comunidades. La mayoría de los Sistemas Comunitarios Superficiales no cumplen con los niveles máximos permitidos de turbiedad y coliformes, por una serie de razones como mejoras al sistema, educación y certificación de los operadores y malas prácticas de mantenimiento preventivo, entre otros.

En este estudio, se tomó en consideración los Sistemas Comunitarios Superficiales Sector el Veinte, Comunidad Guayabota y Jácanas 2, localizados en el pueblo de Yabucoa y Comunidad Lijas, localizado en el pueblo de Las Piedras. La idea de este trabajo investigativo es recomendar una alternativa costo efectiva y útil de filtración para que los Sistemas Comunitarios Superficiales cumplan con los estándares de turbiedad y coliformes.

Capítulo Uno

Introducción

A través de la historia, el ser humano, ha dejado legados tecnológicos por generaciones con el propósito de disfrutar de una vida más cómoda. Uno de estos avances es el suministro de agua potable a hogares y otros lugares donde el ser humano tenga necesidad del preciado líquido.

1.01. Sistemas Comunitarios en Puerto Rico

En Puerto Rico el recurso Agua es suministrado por La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico a un 97% de la población (PRASA por sus siglas en inglés). Cerca de un 3% de la población restante utiliza los Sistemas Comunitarios (Rodríguez 1996). Los Sistemas Comunitarios son sistemas operados por las comunidades. De acuerdo a la reglamentación Federal y Local, los Sistemas Comunitarios deben operar de la misma manera que los sistemas de La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, pues les aplica la misma reglamentación.

Durante la investigación se analizarán cuatro Sistemas Comunitarios de agua superficial localizados en los municipios de Las Piedras y Yabucoa; los cuales tienen Órdenes Administrativas emitidas por la EPA. Las alternativas seleccionadas para mejorar la calidad del agua de estos Sistemas Comunitarios podrán ser utilizadas como modelos generales para todos los demás Sistemas de Agua superficiales. La pertinencia de este trabajo estriba en que los niveles máximos de turbiedad y coliformes deben cumplirse para proteger la salud y la calidad de vida de los usuarios.

La Ley de Agua Potable Segura define a los sistemas públicos de agua potable como un sistema que entrega agua por medio de tubería a por lo menos 25 personas o 15 conexiones de servicio por al menos 60 días de cada año. Hay dos tipos de Sistemas Públicos de Agua: Los Sistemas Comunitarios y los Sistemas no Comunitarios. Los Sistemas Comunitarios son clasificados por la fuente de abastecimiento, que son superficial o subterráneos. Estas clasificaciones son más específicas: Sistemas servidos por aguas superficiales y Sistemas servidos por pozos. En el 1996, se estimaba que en la isla de Puerto Rico había 234 Sistemas Comunitarios de agua superficial y subterráneos (Rodríguez 1996). Bajo el mandato de la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés), la Autoridad de Acueducto y Alcantarillado hizo un estudio más reciente donde se pudieron contabilizar 239 Sistemas Comunitarios Superficiales y Subterráneos en Puerto Rico (AAA 2004a).

Dentro de los Sistemas Públicos (No Comunitarios) hay dos categorías; los Transitorios y los No Transitorios. Los No Transitorios son sistemas no comunales de agua que suministran agua potable a las mismas personas por más de seis meses en un periodo de un año (EPA 2003a). Ejemplos de estos sistemas son las escuelas e industrias que tienen su propio sistema de agua potable. Los Transitorios son sistemas no comunales de agua que suministran agua potable al público, pero no a los mismos individuos durante un período mayor de seis meses (EPA 2003a). Ejemplos de estos sistemas son estaciones de gasolinas y campamentos. Esta investigación estará enfocada completamente a los Sistemas Comunitarios Superficiales ya que son los que podrían afectar la salud de la población de manera significativa por enfermedades causadas por parásitos, bacterias, virus, metales pesados y otros.

La problemática principal de estos sistemas es que la mayoría no cuentan con métodos de filtración establecidos en el 40 CFR 141.73 y la Regla Mejorada de Tratamiento de Agua Superficial – Largo Plazo 1 del 40 CFR 141, Subparte T (EPA 2007a, b), ni el presupuesto para poder cumplir con los niveles máximos de contaminantes establecidos por la EPA bajo la Regulación de Agua Potable Primaria Nacional. Al presente, el 41% de los Sistemas Comunitarios no cumplen con los parámetros bacteriológicos del Departamento de Salud, ni poseen los recursos financieros y técnicos para cumplir con los mismos (Juarbe 2007). Minnigh et al (2004) exponen que la mayoría de los Sistemas pequeños de agua potable en Puerto Rico, no cumplen con los estándares de agua potable a consecuencia mayormente de la carencia de información epidemiológica confiable.

Otro factor importante es que las personas que administran estos Sistemas Comunitarios a veces no tienen un nivel escolar adecuado (Juarbe 2007). Lo más alarmante es que estos sistemas sirven a una población aproximada de 125,000 personas (AAA 2004a) de los 3,808,610 habitantes en Puerto Rico (DCEU 2002). Esto representa un 3.28% de la población total. Además, las actividades relacionadas a ellos, pueden causar un gran efecto negativo en la calidad del agua.

1.02. Objetivo

El objetivo de esta investigación técnica es buscar las mejores alternativas que tienen las comunidades que utilizan Sistemas Comunitarios de suministro de aguas superficiales y como pueden optimizar estos sistemas para poder cumplir con los niveles máximos de turbiedad y coliformes de la Ley Federal de Agua

Potable Segura del 1974, según enmendada en el 1996. Las mejores alternativas serán seleccionadas basadas en efectividad y costo.

1.03. Hipótesis

Hay aspectos importantes que afectan la calidad del agua de los Sistemas Comunitarios luego de su fase de construcción. Estos son: Actividades Aledañas, Fuente de Agua superficial o subterránea, Directiva del Sistema Comunitario, Conocimiento de la Directiva y Técnicos de los Sistemas Comunitarios, Monitoreo, Presupuesto Disponible para Operar el Sistema y Mantenimiento Preventivo.

Las actividades aledañas son un factor importante para los Sistemas Comunitarios de agua superficial, ya que si el manantial, quebrada o riachuelo (DSA et al 1993) de donde se abastece el sistema es usado para descargar contaminantes, ya sea del sector público o privado, éstos impactarán la calidad del agua del Sistema Comunitario. La contaminación de un cuerpo de agua no ocurre solamente por descarga, ya que puede ocurrir por escorrentías o filtración a través del terreno.

Al momento de hacer mejoras a un Sistema Comunitario es necesario conocer los obstáculos y dificultades que tiene el sistema. En este caso se estudiarán sistemas superficiales que tienen órdenes administrativas emitidas por la EPA. Los sistemas superficiales están expuestos a todo tipo de actividades naturales y humanas que los pueden contaminar; mientras que en los sistemas subterráneos, el agua esta confinada bajo capas de terreno que trabajan como filtros.

Todo Sistema Comunitario debe tener una directiva que tenga conocimiento técnico de los sistemas y que puedan administrar correctamente para mantener el sistema operando en óptimas condiciones. Además, el técnico o

los técnicos que le dan mantenimiento al sistema deben conocer cuáles son los contaminantes o sustancias químicas que amenazan el sistema, monitorear según el ciclo que establece la ley y tener un itinerario de mantenimiento preventivo según el fabricante.

Mantener operando un Sistema Comunitario que cumpla con los Estándares del Acta de Agua Potable Segura implica una serie de gastos que la comunidad beneficiada debe sufragar. Los Sistemas Comunitarios de agua superficial que son operados incorrectamente, afectarán la salud pública de los consumidores, ya que suministran agua que no cumple con los niveles máximos de turbiedad y coliformes, establecidos por las leyes federales y estatales.

1.04. Preguntas a Investigar

1. ¿Por qué en la actualidad hay Sistemas Comunitarios de Agua Superficial que no tienen filtración?
2. ¿Estarán los Sistemas Comunitarios de Agua Superficial tan deteriorados como para no poder cumplir con los niveles máximos de turbiedad y coliformes?
3. ¿Qué alternativas están proponiendo las comunidades de estos sistemas para mejorar la calidad del agua?
4. ¿Cuán comprometidos están los administradores y las comunidades para mantener operando los Sistemas Comunitarios en óptimas condiciones?

1.05. Definición de Términos

Ácido – Cualquier material químico en estado líquido, sólido o gas que genera una disociación en agua formando iones de hidrógeno. El pH de los ácidos va desde 0 hasta 6.9 (Hackman et al 2002).

Acuífero – Una capa subterránea natural, frecuentemente compuesta de arena o grava, que contiene agua (EPA 2003a).

Afluente – Entrada

Agua Subterránea – El agua que se bombea y se trata de un acuífero (EPA 2003a).

Agua Superficial – El agua que se bombea y se trata de fuentes expuestas al ambiente, tales como los ríos, los lagos y las represas (EPA 2003a).

Base o alcalinos – Sustancias que usualmente liberan el anión hidróxido (OH cuando es disuelto en agua. El pH de las bases va desde 7.1 a 14 (Hackman et al 2002).

Capacidad de Sistema – Bajo el Acta de Agua Potable Segura es definida como la habilidad de hacer un plan para alcanzar y mantener en cumplimiento los sistemas de agua potable siguiendo los estándares de agua segura aplicables.

Capacidad Financiera – Habilidad de adquirir, generar y manejar suficientes recursos monetarios para el sistema de agua y así cubrir gastos de operación, mantenimiento y mejoras con el fin de cumplir con los requisitos del Acta de Agua Potable Segura (DSA 1999).

Capacidad de Manejo – Conocimiento requerido del personal que va a administrar las operaciones del sistema de agua (DSA 1999).

Capacidad Técnica – Capacidad, mantenimiento y operación de la infraestructura del sistema de agua (DSA 1999).

Cilindros de gas – contenedores llenos de sustancias en estado gaseoso que generalmente se encuentran bajo presión.

Cloradores de Tableta – Cloradores de Erosión

Cloro libre – Es el cloro aplicado al agua en forma líquida o gas, que al mezclarse con agua (hidrólisis) forma cloro disponible (EPA 2003b).

Cloro residual – Es la cantidad de cloro disponible en el agua después de un periodo de contacto (EPA 2003b).

Cloro combinado – Es la diferencia entre el cloro total y el cloro libre. El cloro libre reacciona fácilmente con amoníaco formando cloraminas y algunos compuestos de nitrógenos para formar el cloro combinado (EPA 2003b).

Coliformes – Una familia de bacterias cuya presencia en el agua potable puede indicar contaminación por heces fecales.

Contaminante – Cualquier sustancia que se encuentra en el agua (incluyendo los microorganismos, radionucleidos, químicos, minerales, etc.) que pueda ser dañina a la salud humana (EPA 2003a).

Cryptosporidium – Microorganismo que se encuentra comúnmente en los lagos y ríos, el cual es altamente resistente a la desinfección (EPA 2003a).

Efluente – Salida

Estándares de agua potable – son regulaciones establecidas por la EPA para controlar el nivel de contaminantes en el agua potable de la nación (EPA 2000a).

Filtración Convencional – según lo establece el 40 CFR 141.2, es una serie de procesos incluyendo la coagulación, floculación, sedimentación y filtración, resultando en una considerable remoción de partículas (DSA 2003).

Filtración Directa – según lo establece el 40 CFR 141.2, es una serie de procesos incluyendo la coagulación y la filtración, pero excluye la sedimentación, resultando en una considerable remoción de partículas (DSA 2003).

Flamable – Nombre dado a materiales que tienen potencial de combustión (Hackman et al 2002).

Fuente De Agua – Agua en su estado natural, antes de cualquier tratamiento para hacerla potable como lagos, arroyos y agua subterránea (EPA 2003a).

gpm – Galones por minuto

KPa – Kilo Pascal

Materiales Radioactivos – Materiales o sustancias que espontáneamente les ocurre un decaimiento radioactivo (Hackman et al 2002).

Microorganismos – Son pequeños organismos vivos que solamente se pueden ver bajo el microscopio; algunos ocasionan problemas de salud agudos cuando se consumen en el agua potable (EPA 2003a).

Nivel De Acción – Es el nivel de plomo y cobre que, de ser excedido, activa el tratamiento para su control u otros requisitos que el sistema de agua deberá seguir (EPA 2003a).

Nivel Máximo del Contaminante – Es el máximo nivel permitido de un contaminante en agua potable (EPA 2003a).

Oxidantes – Sustancias que reaccionan con oxígeno y otros oxidantes (Hackman et al 2002). Un oxidante es un compuesto químico que oxida a otra sustancia en reacciones electroquímicas conocidas como redox (Transferencia de electrones de una especie a otra). El oxidante se reduce y el reductor se oxida (Reger et al 1997).

Patógenos – Organismos que ocasionan enfermedades (EPA 2003a).

pH – Escala de 0 a 14 representando la acidez o alcalinidad relativa de una solución acuosa (Hackman et al 2002).

Pirofóricos – Materiales que se incendian espontáneamente en el aire, a temperaturas por debajo de los 130°F (Hackman et al 2002).

ppb – Partes por billón

psi – Libras por pulgada cuadrada

PVC – Poly Vinyl Chloride (Hackman et al 2002).

Radionucleidos – Partículas radioactivas provenientes de fuentes naturales y de actividades humanas. Son considerados contaminantes de agua (EPA 2002b).

Reactivos con agua – Materiales que reaccionan con agua para liberar un gas que es flamable o representa un peligro a la salud (Hackman et al 2002).

Reductores – Es un elemento o compuesto que pierde electrones por la reacción reducción (Hackman et al 2002).

Turbiedad – Es la falta de transparencia de un líquido, debido a la presencia de partículas en suspensión. La unidad de medir la turbiedad es Unidades Nefelométricas de Turbiedad (*NTU*), (EPA 2003b).

Venenos – Cualquier sustancia que causa problemas a la salud y que puede causar la muerte cuando es aplicado en cantidades pequeñas (Hackman et al 2002).

W – Vatios

Capítulo Dos

Revisión Literaria

En nuestro país tenemos leyes estatales y federales que se encargan de proteger la salud pública. Los Sistemas Comunitarios superficiales y subterráneos son protegidos por leyes y reglamentos que regulan y protegen la calidad del agua de impactos humanos. Una vez el recurso agua es procesado en el Sistema Comunitario Superficial mediante los procesos de sedimentación, filtración y desinfección; este debe cumplir con leyes y reglamentos que protegen la salud pública.

En Puerto Rico las leyes federales prevalecen sobre las leyes estatales (López 1999). Hay leyes federales que delegan al estado el poder del programa en agenda, pero siempre manteniendo el control y la supervisión de su implementación. La Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés), es la agencia a nivel federal que vela y regula a nivel federal el recurso agua. Los acuíferos estudiados en esta investigación son limitados a cuerpos de agua dulce como ríos y lagos; ya que al tomar en consideración el agua salada, otras agencias federales entran a fiscalizar. Algunas de estas agencias son: la Guardia Costanera y Cuerpo de Ingenieros. La Junta de Calidad Ambiental (JCA), el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales y el Departamento de Salud Ambiental son los organismos a nivel estatal que tienen la responsabilidad de proteger en su justa medida el recurso agua.

Hay una serie de leyes federales y estatales que fueron creadas para proteger los acuíferos o cuerpos de agua y otras leyes para proteger el agua potable y la salud pública. Las leyes estatales son diseñadas siguiendo las leyes federales. Las leyes ambientales federales son aprobadas con unos límites de

exposición y derrame, donde las leyes estatales deben mantener esos límites o unos más restrictivos.

2.01. Leyes Federales

Aunque el Acta de Agua Limpia y la Ley de Agua Potable Segura son las leyes más importantes para proteger la calidad del agua proveniente de los Sistemas Comunitarios de Agua Potable, hay otras leyes que regulan las industrias de sustancias químicas y tóxicas ya que si estas sustancias no son manufacturadas, usadas y dispuestas correctamente; podrían llegar a nuestros cuerpos de agua y contaminarlos. Esto conlleva que si un cuerpo de agua es contaminado, se puede afectar la flora y fauna aledaña, y puede llegar a contaminar terrenos cercanos mediante inundaciones. Por ende, todos los componentes ambientales como suelo (terrenos), agua, aire, flora y fauna, el ser humano y otros organismos pueden afectarse, si uno de ellos es afectado. A continuación se mencionan varias leyes federales importantes.

Ley de Política Ambiental Nacional Federal (NEPA)

La Ley de Política Ambiental Nacional Federal (NEPA por sus siglas en inglés) fue aprobada en el 1969 y establece los procesos de evaluación de impactos ambientales y de acciones gubernamentales.

Acta de Agua Limpia

El Acta de Agua Limpia fue enmendada en el 1972, para reglamentar las descargas de contaminantes de agua en los Estados Unidos. La Acta vuelve a enmendarse en el 1977, 1981 y 1987. El objetivo de la enmienda del 1987 es el de restaurar y mantener las propiedades químicas, físicas y biológicas de las aguas de la nación norteamericana y de Puerto Rico (López 1999). Esta ley establece que todas las fuentes puntuales que descargan algún contaminante en las aguas de los Estados Unidos, deben tener un permiso de NPDES. La Agencia

de Protección Ambiental es la agencia encargada del programa. Esta delega a los Estados la responsabilidad de los permisos y puede revocar la autoridad a los estados si el programa no es igual de riguroso como el programa federal. Cuando una fuente puntual no puede cumplir con los estándares de calidad del agua, el estado debe desarrollar una carga diaria máxima total (TMDL por sus siglas en inglés) para tener cómputos del cuerpo de agua, ayudar a identificar y reducir la entrada de contaminantes de fuentes puntuales y fuentes no puntuales (Lomba 2005).

Acta de Recuperación y Conservación de Recursos

El Acta de Recuperación y Conservación de Recursos (RCRA por sus siglas en inglés) fue aprobada en el 1976. Esta ley es administrada por la EPA y ha delegado a la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico los tanques soterrados y los desperdicios no peligrosos. El propósito de esta ley es reglamentar y controlar los desperdicios peligrosos desde su origen hasta su eliminación total (López 1999). Los generadores, transportistas, almacenes y facilidades de disposición de desperdicios sólidos peligrosos y no peligrosos, deben cumplir a cabalidad con los estatutos establecidos bajo esta ley.

Los subtítulos más importantes bajo esta ley son los subtítulos C, D e I. El subtítulo C requiere que todo generador, transportista y facilidades de tratamiento, almacenamiento y disposición, deben gestionar los permisos requeridos para manejar desperdicios sólidos peligrosos y no peligrosos. Dentro de este subtítulo, se requiere la preparación de un manifiesto para poder monitorear el proceso de su origen hasta su destino final. El subtítulo D dirige el manejo de desperdicios no peligrosos y desperdicios sólidos peligrosos exentos. Además de que establece el diseño y monitoreo de los rellenos sanitarios. El subtítulo I dirige los problemas asociados con sustancias reguladas que entran en contacto con el terreno y las

aguas subterráneas debido a filtraciones en tanques de almacenamiento soterrados (López 1999).

Acta de Control de Sustancias Tóxicas

El Acta de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA por sus siglas en inglés) fue aprobada en el 1976, regula los químicos tóxicos o mezclas, que representan un riesgo a la salud y al medio ambiente. El alcance de esta acta es proveer estatutos a empresas para proveer información a la Agencia de Protección Ambiental, de los efectos de las sustancias químicas o mezclas en el ambiente y a la salud. La EPA (por sus siglas en inglés) tiene el poder de regular la empresa por el uso del químico, distribución y disposición de las sustancias químicas. La EPA toma en consideración los beneficios económicos y sociales de un agente químico contra sus riesgos, para proveer los parámetros de su regulación (Lomba 2005).

La sección cinco de TSCA, establece una Notificación de Pre-Manufactura (PMN por sus siglas en inglés), donde cualquier persona que manufacture o procese un agente químico nuevo para propósito comercial debe someter una Notificación de Pre-Manufactura a la EPA por lo menos 90 días antes de comenzar a manufacturar o procesar dicho agente. El propósito de la Notificación es detallar el uso de la sustancia, información de desarrollo de pruebas y la naturaleza de las pruebas a desarrollar.

La sección cuatro de TSCA, requiere que manufactureros, importadores y procesadores de sustancias químicas bajo TSCA, sometan información a la EPA de agentes químicos existentes cuando estos representan un riesgo a la salud o al medio ambiente, o cuando estos son producidos en cantidades que pueden ocasionar escape de la sustancia al medio ambiente o exposición humana.

Acta de Rodenticida, Fungicida e Insecticida Federal

La Acta de Rodenticida, Fungicida e Insecticida Federal (FIFRA por sus siglas en inglés) fue aprobada en el 1972. Esta protege la salud pública y ambiental contra las malas prácticas de los pesticidas. Todos los manufactureros deben someter información referente a la seguridad y eficacia de los pesticidas. La EPA es la agencia federal que tiene a cargo el programa. Los estados tienen un programa de pesticidas aprobado federalmente. Los estados, en este caso Puerto Rico tiene la autoridad primaria (Lomba 2005).

La sección tres de FIFRA, establece los requisitos para registro. La EPA decide cuando un pesticida tiene efectos adversos al ambiente, basado en la data sometida por el manufacturero en la solicitud de registro. La EPA toma en consideración los costos económicos, sociales y ambientales del uso del pesticida (Lomba 2005). Todos los pesticidas registrados deben tener una etiqueta o identificación para distribuirlo. La etiqueta debe tener los ingredientes activos del pesticida, como usar apropiadamente el pesticida para cosechas particulares y limitaciones de como o cuando pueden ser usado. Cualquier pesticida que tenga un riesgo adverso o inminente al ambiente, la EPA puede suspender, cancelar o restringir el uso del mismo (Sección 6 de FIFRA).

Acta de Agua Potable Segura

Dentro de estas leyes, el Congreso de los Estados Unidos aprobó en el 1974 el Acta de Agua Potable Segura, enmendada en el 1986 y 1996, busca específicamente proteger las fuentes de agua potable y el bienestar común de las personas. Según EPA (2003a), lo más destacado de la Ley de Agua Potable Segura es:

1. Autoriza a la EPA a establecer estándares de salud que requieren cumplimiento legal para los contaminantes presentes en el agua potable.

2. Se requiere que se le informe al público cuando haya una violación de este reglamento en los sistemas públicos de agua y que se le proporcione los informes anuales (Reportes de Confiabilidad para el Consumidor) con la información relacionada a los contaminantes encontrados en su agua potable.
3. Establece una sociedad federal-estatal para la aplicación del reglamento.
4. Incluye provisiones diseñadas específicamente para proteger las fuentes subterráneas de agua potable.
5. Requiere la desinfección de los abastecimientos de agua superficiales, con la excepción de aquellos que tengan fuentes de aguas protegidas y prístinas.
6. Establece un fondo estatal multimillonario de préstamos de cuenta corriente para las mejoras de los sistemas públicos de agua.
7. Requiere una evaluación de la vulnerabilidad de todas las fuentes de abasto de agua potable a la contaminación.

El Acta de Agua Potable Segura contiene dos categorías de estándares de agua potable (EPA 2000a). La primera es el Reglamento Nacional Primario de Agua Potable (NPDWR por sus siglas en inglés). Este Reglamento se compone de una serie de estándares que los Sistemas Públicos o Comunitarios deben cumplir, ya que estos estándares son aplicables legalmente. Los estándares primarios protegen la calidad del agua potable para evitar que se afecte la salud pública. El Apéndice Uno muestra todos los Contaminantes Regulados Bajo el Acta de Agua Potable Segura desde el año 1976 hasta el 2001.

El segundo estándar es el Reglamento Nacional Secundario de Agua Potable (NSDWR por sus siglas en inglés). Este reglamento es una guía sobre los contaminantes que pueden causar efectos estéticos como decoloración en la piel

o dentadura, sabor, olor y color en el agua potable. La EPA recomienda a los sistemas de agua los estándares secundarios, pero no los obliga a cumplir con ellos.

La EPA define a los sistemas comunitarios de agua potable como un sistema que entrega agua por medio de tubería a por lo menos 25 personas en sus viviendas durante todo el año (EPA 2003a). La EPA regula los sistemas públicos o comunitarios de agua; sin embargo, no tiene autoridad para regular los pozos privados. El Apéndice Uno muestra todos los contaminantes incluidos en el Acta de Agua Potable Segura durante el transcurso de sus enmiendas.

Reglas que Regulan el Agua Potable

Entre los años 1976 al 2002, la EPA promulgó 14 reglas mayores de acuerdo al Acta de Agua Potable Segura (EPA 2003c). Estas reglas son aplicadas a los diferentes tipos sistemas de agua potable. Las reglas a seguir por los sistemas de agua potable son:

1. Las 14 Reglas promulgadas hasta el año 2002
 - a. Regla de Coliformes Totales
 - b. Regla de Tratamiento de Agua Superficial
 - c. Regla Fase 1
 - d. Regla Fase II
 - e. Regla Fase IIB
 - f. Regla Fase V
 - g. Regla de Cobre y Plomo
 - h. Regla de Desinfectantes y Sub-Productos de la Desinfección: Etapa 1
 - i. Regla para el Recirculado del Agua de Retrolavado de Filtro
 - j. Regla de Informe de Confianza al Consumidor

- k. Regla de Notificación Pública
 - l. Regla de Arsénico, Aclaraciones para Cumplimiento y Nuevo Monitoreo de la Fuente
 - m. Regla de Radionucleidos
 - n. Regla Mejorada de Tratamiento de Agua Superficial - Largo Plazo 1
2. Reglas Vigentes después del año 2002 (EPA 2003c)
- a. Regla de Agua Subterránea
 - b. Regla de Radón
 - c. Regla de Desinfectantes y Sub-Productos de la Desinfección: Etapa 2
 - d. Regla Mejorada de Tratamiento de Agua Superficial - Largo Plazo 2.

Regla de Coliformes Totales

Fue publicada el 29 de junio de 1989. Esta regla establece un nivel máximo de contaminante basado en la presencia o ausencia de coliformes totales, modifica los requisitos de monitoreo, incluyendo análisis para coliformes fecales o *Escherichia coli*, requiere el uso de un programa de muestreo y también requiere encuestas sanitarias a sistemas que tomen <5 muestras al mes (DSA 2003, EPA 2001d).

El propósito de la regla es el de mejorar la protección a la Salud Pública reduciendo los patógenos fecales a niveles mínimos mediante el control de bacterias coliformes totales, incluyendo coliformes fecales y *E. coli* (DSA 2003, EPA 2001d).

Para efectuar los muestreos de rutina o cumplimiento, las muestras para coliformes totales deben ser tomadas en lugares representativos de la calidad del

agua, deben tomarse muestras en intervalos regulares de tiempo a través del mes, el muestreo mensual es basado a la población servida del sistema, toda muestra positiva para coliformes totales debe ser analizada para coliformes fecales o E. coli y toda muestra positiva para coliformes totales requiere un muestreo adicional de seguimiento (DSA 2003, EPA 2001d).

Dentro de 24 horas de conocido un positivo para coliformes totales, deben ser tomadas al menos tres muestras de seguimiento para coliformes totales. Las muestras deben ser tomadas en el punto original del positivo, una dentro de cinco conexiones aguas arriba del punto original y una dentro de cinco conexiones aguas abajo del punto original. Si cualquier muestra de seguimiento resulta positiva para coliformes totales, la muestra debe ser analizada para coliformes fecales o E. coli, el sistema debe tomar y analizar otro conjunto de muestras. Una muestra de rutina o de seguimiento que resulta positiva para coliformes totales, requiere un mínimo de cinco muestras de rutina el próximo mes que el sistema provea agua al público (DSA 2003, EPA 2001d).

Sistemas que toman <40 muestras al mes, incurren en violación si tienen más de una muestra positiva para coliformes totales. Sistemas que toman >40 muestras al mes, incurren en violación si tienen más del 5% del total de muestras mensuales (rutina y seguimiento) positivas para coliformes totales (DSA 2003, EPA 2001d).

Regla de Tratamiento de Agua Superficial

Fue publicada el 29 de junio de 1989 con el propósito de prevenir enfermedades en las aguas superficiales causadas por virus, *Legionella* y *Giardia* lamblia. La regla requiere que los sistemas de agua filtren y desinfecten el agua proveniente de fuentes de agua superficiales para reducir la ocurrencia de límites no seguros de los microbios mencionados (EPA 2008a).

Ingestión de *Giardia* (protozooario) y virus pueden crear problemas en el sistema digestivo humano, causando diarrea, náusea y calambres. La bacteria *Legionella* es un riesgo si es aerosolizada y luego inhalada. Al inhalarla puede causar un tipo de neumonía llamada enfermedad del Legionario (EPA 2008a).

Todos los sistemas deben filtrar y desinfectar sus aguas para proveer un 99.9% de remoción e inactivación de *Giardia* y un 99.9% de virus. El proceso de filtración es establecido midiendo la turbiedad en el agua tratada. Para asegurar la protección del agua tratada contra los microbios, los sistemas de agua deben proveer desinfección continua al agua potable desde que entra al sistema de distribución y mantener el nivel de desinfectante dentro del sistema de distribución (EPA 2008a).

Regla Fase 1, Fase II, Fase IIb y Fase V

La Agencia de Protección Ambiental reguló más contaminantes (69 contaminantes) por medio de las reglas Fase 1, Fase II, Fase IIb y Fase V (EPA 2008a). En cada regla, la EPA creó los límites permisibles para cada contaminante, diseñó un itinerario para los sistemas de agua que debían hacer pruebas para la presencia de contaminantes y describió los tratamientos que podían ser utilizados para remover contaminantes.

La Regla Fase 1 fue publicada el 8 de julio de 1987. Esta regla fue la acción a la enmienda del Acta de Agua Potable Segura de 1986. La regla crea los límites de exposición a ocho sustancias químicas que podrían estar presentes en el agua de los hogares. Las ocho sustancias químicas son químicos orgánicos volátiles usados por industrias de goma, pesticidas, desodorizantes, solventes, plásticos y otros químicos. La regla requiere que los sistemas de agua monitoreen y si los niveles exceden el límite permitido, tomar acciones correctivas para

garantizar que el agua no cause efectos adversos a los consumidores por el contenido alto de las sustancias químicas (EPA 2008a).

Las Reglas Fase II y Fase IIb fueron publicadas el 30 de enero de 1991 y el 1 de julio de 1991. En esta regla, la EPA añadió 38 contaminantes más al listado de contaminantes; siendo algunos de ellos, usados en sustancias químicas para la agricultura. La EPA creó límites de meta para la salud y límites legales a 36 de los 38 contaminantes creados en la Regla Fase II y Fase IIb. Los otros dos contaminantes: acrilamida y epiclorohidrina, son químicos usados en algunos sistemas de agua durante el proceso de floculación. Estas sustancias químicas adhieren el sucio y otros contaminantes pequeños en el agua y los llevan al fondo del tanque de tratamiento. La regla limita las cantidades de estas sustancias químicas usadas por los sistemas de agua durante el proceso de tratamiento (EPA 2008a).

La Regla Fase V fue publicada el 17 de julio de 1992. Esta provee estándares a 23 contaminantes más. Muchos de ellos son químicos inorgánicos y otros son pesticidas. Estas sustancias químicas entran a los suministros de agua mediante escorrentías o por filtración a través del terreno (EPA 2008a).

Regla de Cobre y Plomo

Fue publicada el 7 de junio de 1991. Esta regla establece el nivel de acción de 0.015 mg/L para plomo y 1.3 mg/L para cobre. Aunque un excedente en el nivel de acción no incurre como una violación, conlleva a otros requerimientos que incluyen monitoreo de parámetros de calidad del agua, tratamientos de control para la corrosión, monitoreo/tratamiento de agua en la fuente, educación al público y reemplazo de tubería. El propósito de la regla es el de proteger la Salud Pública, minimizando los niveles de plomo y cobre en el agua potable (EPA 2004a).

Regla de Desinfectantes y Sub-Productos de la Desinfección: Etapa 1

Fue publicada el 16 de diciembre de 1998. Esta regla establece una serie de pasos que reducen los niveles permitidos de desinfectantes y sub-productos en el agua potable. Cuenta con siete estándares nuevos y una técnica de tratamiento de coagulación mejorada, para reducir aún más la exposición de los sub-productos (DSA 2003).

El propósito de la regla es el de aumentar la Salud Pública reduciendo la exposición a los sub-productos de la desinfección, ya que algunos desinfectantes han demostrado ser carcinógenos y afectar la reproducción de animales de laboratorio (DSA 2003).

Regla para el Recirculado del Agua de Retrolavado de Filtro

Fue publicada el 8 de junio de 2001. Esta regla establece que los sistemas que lleven a cabo la práctica de recirculado, deben tener un límite de dicho flujo a través de todos los procesos del sistema existente de filtración convencional, directa o a una ubicación alterna aprobada por el estado (DSA 2003). El Apéndice Dos muestra un ejemplo de un Sistema de filtración convencional con recirculado.

El propósito de la regla es el de mejorar la protección a la Salud Pública mediante la evaluación y cambios de las prácticas de recirculado para un mejor control de contaminantes, particularmente contaminantes microbiológicos como el *Cryptosporidium* en sistemas públicos de agua (DSA 2003, EPA 2002c).

La regla regula tres tipos de flujos. Estos son: Agua de Retrolavado, Sobrenadante de Tanque Espesador y Líquidos de Proceso de Secado (DSA 2003).

1. El Agua de Retrolavado es aquella agua que contiene partículas que se desprenden del medio filtrante cuando el flujo de agua es

forzado a pasar a través del filtro en dirección opuesta para limpiarlo.

2. Sobrenadante de Tanque Espesador contiene agua decantada del tanque sedimentador, clarificador u otra unidad que se usa para tratar agua, además de sólidos o semisólidos de los procesos de tratamiento primario.
3. Líquidos de Proceso de Secado contiene líquidos generados de una unidad utilizada para concentrar sólidos para su disposición.

Regla de Informe de Confianza al Consumidor

Fue publicada el 19 de agosto de 1998. Esta regla establece que todos los sistemas comunales deben preparar y distribuir a todos sus abonados un breve informe anual sobre la calidad del agua servida por el sistema. El informe debe contener el nombre y número de teléfono del encargado o persona contacto, información de oportunidades de participación del público, información del informe en otro idioma, tipo de fuente con su nombre y localización, disponibilidad de evaluación de la fuente de abastecimiento, resumen breve de fuentes potenciales de contaminación, definiciones, contaminantes detectados, cumplimiento con la reglamentación de agua potable e información educativa requerida como contaminantes y su presencia en el agua potable (DSA 2003, EPA 2002a).

El propósito de la regla es mejorar la protección a la Salud Pública proveyendo al consumidor material educativo para que tengan elementos de juicio y puedan tomar decisiones correctas sobre cualquier riesgo potencial a la salud, debido a la calidad, tratamiento o manejo del suministro de agua (DSA 2003, EPA 2002a).

Dentro de los requisitos anuales, sistemas que sirven a una población >100,000 personas deben publicar el informe en el Internet en una página de

acceso público, sistemas que sirven a una población <10,000 personas pueden publicar el informe en un periódico local en vez de ser distribuido a los abonados, sistemas que sirven a una población <500 personas pueden emitir una notificación indicando que el informe está disponible para solicitar una copia, en vez de ser distribuido (DSA 2003, EPA 2002a).

Regla de Notificación Pública

Fue publicada el 4 de mayo de 2000, con el propósito de notificar al público en cualquier momento cuando un Reglamento Nacional Primario de Agua Potable es violado o alguna situación que pone en riesgo la Salud Pública (EPA 2000b).

Estas notificaciones se hacen dentro de 24 horas, 30 días o un año, dependiendo la violación. Una notificación dentro de 24 horas debe efectuarse cuando hay una violación de coliformes fecales; fallas en las pruebas para coliformes fecales, luego de que una prueba de coliformes totales resultara positiva; cuando hay violaciones de niveles de nitratos, nitritos, nitratos totales o fallas al confirmar la muestra; cuando el dióxido de cloro excede el nivel máximo de desinfectante residual en sistemas de distribución; fallas al tomar muestras en el sistema de distribución cuando es requerido y cuando se excede el máximo de turbiedad permitido (EPA 2000b).

La notificación dentro de 30 días debe efectuarse cuando los niveles máximos de contaminantes, nivel máximo de desinfectante residual y técnicas de tratamiento son violadas, excepto las que son requeridas dentro de 24 horas; violaciones de monitoreo; fallas al cumplir con condiciones variables y excepciones; violaciones en técnicas de tratamiento a causa de valores de turbiedad excedentes al máximo nivel del contaminante (EPA 2000b).

La notificación anual menciona violaciones sin resolver, violaciones de monitoreo y procedimientos de pruebas, a menos que la situación sea

considerada en ser notificada dentro de 30 días; operaciones bajo una variación o excepción, publicaciones especiales, por ejemplo exceder el límite de contaminante secundario de fluoruro (EPA 2000b).

Los Sistemas Comunitarios tienen 10 días para enviar una certificación de cumplimiento y una copia completa a la agencia primaria. La agencia primaria y los Sistemas Comunitarios deben mantener la certificación archivada por tres años. Agencias primarias deben reportar las violaciones de notificación pública a la EPA cada tres meses (EPA 2000b).

Cada Notificación Pública debe contener una descripción de la violación o situación; cuando la violación o situación ocurrió; potencial adverso a la salud, usando el estándar del apéndice B de la Regla de Notificación Pública; riesgo a la población; que alternativa será usada para resolver la situación; acciones que los consumidores deben tomar; acciones que el sistema está realizando para corregir la situación; tiempo en que el sistema espera estar en cumplimiento; nombre, dirección y número de teléfono del encargado u operador del sistema y una aseveración para que los consumidores distribuyan la noticia cuando aplique (EPA 2000b).

Regla de Arsénico, Aclaraciones para Cumplimiento y Nuevo Monitoreo de la Fuente

Fue publicada el 22 de enero de 2001. Esta regla establece que el nivel máximo de contaminante de arsénico cambia de 50µg/L a 10 µg/L y un nivel máximo de meta igual a cero, requiere nuevos sistemas y nuevas fuentes de agua potable deben demostrar cumplimiento según lo requiere el estado, clarifica los procedimientos para determinar cumplimiento con los niveles máximos de contaminantes de químicos inorgánicos, químicos orgánicos sintéticos y químicos orgánicos volátiles (DSA 2003, EPA 2001a).

El propósito de la regla es mejorar la Salud Pública disminuyendo la exposición de arsénico en el agua potable. El nivel máximo de contaminante de 10 µg/L fue efectivo el 23 de enero de 2006 (DSA 2003, EPA 2001a).

Regla de Radionucleidos

Fue publicada el 7 de diciembre de 2000. Esta regla retiene los niveles máximos de contaminantes para Radio 226 y Radio 228 combinados, que a su vez son emisores alfa y emisores beta. Además, se incluye por primera vez el parámetro de Uranio (DSA 2003, EPA 2001c).

El propósito de la regla es disminuir la exposición a radionucleidos en agua potable para proteger la Salud Pública, reduciendo el riesgo de contraer cáncer. Los radionucleidos regulados son: los emisores beta y fotones con un nivel máximo de 4 mrem/año y un nivel máximo de meta de 0, los emisores alpha tienen un nivel máximo de 15 pCi/L y un nivel máximo de meta de 0, Radio 228/226 (combinado) tiene un nivel máximo de 5 pCi/L y un nivel máximo de meta de 0, uranio tiene un nivel máximo de 30 µg/L y un nivel máximo de meta de 0 (DSA 2003, EPA 2001c).

Regla Mejorada de Tratamiento de Agua Superficial - Largo Plazo 1

Fue publicada el 14 de enero de 2002, para microbios/desinfección y desinfección agrupada por producto "Microbial-Disinfectants/Disinfection Byproducts Cluster" (M-DBP Cluster). La regla es para mejorar el control de patógenos microbianos y minimizar el riesgo a la salud de los desinfectantes y desinfección por productos. Esta regla fue diseñada para proteger la salud pública de patógenos, bacterias y parásitos como Cryptosporidium. El requisito general para que esta regla sea aplicada a un Sistema de Agua Superficial o Subterránea es tener influencia directa de agua superficial como fuente y que suministre agua a menos de 10,000 personas (EPA 2004b).

La Regla Mejorada de Tratamiento de Agua Superficial - Largo Plazo 1 (LT1SWTR por sus siglas en inglés) fue aprobada en base a los requisitos de técnicas de tratamiento establecidas en 1989 bajo la Regla de Tratamiento de Agua Superficial (SWTR por sus siglas en inglés); la cual requiere que los sistemas que utilizan filtración convencional y directa cumplan con los estándares de turbiedad más estrictos y efectuar monitoreos continuos de turbiedad en los efluentes individuales de cada filtro (EPA 2007a, b).

Según el 40CFR, Parte 141, Subparte H, Sección 141.73, los sistemas públicos de agua debieron filtrar sus aguas desde el 29 de junio de 1993 o en 18 meses a partir de la fecha en que dejaron de cumplir con algún criterio para evitar la filtración (EPA 2007a, b).

Regla de Agua Subterránea

Publicada en el Registro Federal, el 8 de noviembre de 2006. La regla es para mejorar la calidad del agua potable y proveer protección adicional contra enfermedades causadas por microorganismos. Aplica a sistemas públicos de agua proveniente de aguas subterráneas. También aplica a cualquier sistema que utilice agua superficial y subterránea (EPA 2006a).

Los requerimientos finales de esta regla son: Inspecciones sanitarias periódicas de sistemas que requieren la evaluación de los ocho elementos críticos de un sistema público de agua y la identificación de deficiencias significativas; monitoreo a sistemas que no tratan el agua potable para remover el 99.99 por ciento de virus, identificados como positivo en la muestra de coliformes totales; Acciones correctivas son requeridas para cualquier sistema con deficiencias significativas o contaminación fecal en la fuente de agua; Monitoreo de cumplimiento para garantizar que la tecnología de tratamiento instalada, alcanza el 99.99 por ciento de inactivación o remoción de virus (EPA 2006a).

Regla de Radón

Fue propuesta en el Registro Federal, el 2 de noviembre de 1999 para reducir el riesgo a la salud humana. Este estándar aplicará solamente a sistemas de agua comunales que sirven regularmente a 25 o más personas y que usan agua subterránea o mezcla de agua subterránea y superficial. No aplicará a pozos privados ni a sistemas de agua superficial donde los niveles de radón en el agua son bajos (EPA 2008b).

La propuesta proveerá estatutos flexibles para limitar la exposición del radón; enfocándose en los riesgos del mismo en el aire y en el agua potable. El marco de la regulación propuesta está estipulado en la Enmienda del 1996 del Acta de Agua Potable Segura (EPA 2008b).

La primera opción de esta regulación es: Los estados podrán desarrollar programas que trabajen con los riesgos a salud del radón en el aire de los hogares conocidos como Programas de Mitigación Multimedia (MMM por sus siglas en inglés); mientras que el agua en los sistemas deben reducir los niveles de radón en el agua potable a 4,000 pCi/L (pico Curies por Litro) o menos (EPA 2008b).

La segunda opción de esta regulación es: si un estado escoge no desarrollar Programas de Mitigación Multimedia, los sistemas de agua en ese estado serán requeridos en reducir el radón en los sistemas de agua potable a 300 pCi/L o desarrollar Programas de Mitigación Multimedia locales y reducir los niveles en el agua potable a 4000 pCi/L (EPA 2008b).

La regulación propuesta identifica cuatro criterios que los Programas de Mitigación Multimedia deben tener para ser aprobados por la EPA. Los criterios son: El público debe estar envuelto en el desarrollo del plan del Programa de Mitigación Multimedia. Tener metas cuantitativas para reducir el radón en hogares

nuevos y existentes. Estrategias para lograr esas metas cuantitativas y un plan para monitorear y reportar resultados (EPA 2008b).

Regla de Desinfectantes y Sub-Productos de la Desinfección: Etapa 2

Fue publicada el 4 de enero de 2006. Esta regla fue propuesta para aumentar la protección de la Salud Pública, reduciendo los riesgos potenciales relacionados a la desinfección por productos a través del sistema de distribución. La regla fue diseñada en la Regla de Desinfectantes y Sub-Productos de la Desinfección: Etapa 1; se enfoca en el monitoreo y la reducción de concentraciones de los Trihalometanos Totales y Ácidos Haloacéticos en el agua potable (EPA 2006b).

Dentro de los Trihalometanos regulados se encuentra el cloroformo con un nivel máximo meta de contaminante de 0.07 mg/L, bromodiclorometano con un nivel máximo meta de contaminante de 0 mg/L, Dibromoclorometano con un nivel máximo meta de contaminante de 0.06mg/L, y bromoformo con un nivel máximo meta de contaminante de 0 mg/L. El nivel máximo de contaminante de los Trihalometanos Totales no debe exceder 0.08 mg/L (EPA 2006b).

El grupo de los Ácidos Haloacéticos se compone de el ácido monocloroacético con un nivel máximo meta de contaminante de 0.07 mg/L, el ácido dicloroacético con un nivel máximo meta de contaminante de 0 mg/L, el ácido tricloroacético con un nivel máximo meta de contaminante de 0.02 mg/L, ácido bromoacético con un nivel máximo meta de contaminante no determinado y ácido dibromoacético con un nivel máximo meta de contaminante no determinado. El nivel máximo de contaminante de los Cinco Ácidos Haloacéticos no debe exceder 0.06 mg/L (EPA 2006b).

Regla Mejorada de Tratamiento de Agua Superficial - Largo Plazo 2

Fue publicada el 5 de enero de 2006. Esta regla fue propuesta para reducir la incidencia de enfermedades asociadas con el microorganismo *Cryptosporidium* y otros patógenos en el agua potable. Además, provee requerimientos para el tratamiento del *Cryptosporidium* en sistemas de alto riesgo (EPA 2003d).

Otros aspectos que regula la Regla Mejorada de Tratamiento de Agua Superficial - Largo Plazo 2 (LT2ESWTR por sus siglas en inglés) en el agua potable son: proveer herramientas para mitigar riesgos de almacenamiento de agua tratada sin almacenar correctamente y asegurar que los sistemas mantengan protección contra microbios, a la vez que reducen la formación de productos por desinfección (EPA 2003d).

Los sistemas con filtración serán clasificados en uno de cuatro categorías de riesgo. Donde la categoría de menor riesgo no requiere tratamiento adicional. Los sistemas clasificados como de alto riesgo, deben proveer 90 a 99.7 por ciento (1.0 a 2.5 log) de reducción adicional de *Cryptosporidium* (EPA 2003d).

La regulación especifica una gama de tratamientos y estrategias de manejo llamada caja de herramienta microbiana, el cual debe ser usado por los sistemas para cumplir con los requerimientos adicionales de tratamiento. Todos los sistemas sin filtración deben proveer al menos un 99 a 99.9 por ciento (2 a 3 log) de inactivación de *Cryptosporidium*, dependiendo los resultados de monitoreo.

2.02. Leyes Estatales

A nivel estatal, La Constitución de Puerto Rico contempla la protección del ambiente en Puerto Rico.

Ley sobre Política Pública Ambiental de Puerto Rico

En el 1970, en Puerto Rico se aprueba la Ley sobre Política Pública Ambiental de Puerto Rico (LPPA). Esta es similar a la Ley de Política Ambiental

Nacional Federal. LPPA fue derogada por la Ley Núm. 416 del 22 de septiembre de 2004.

Ley para Proteger la Pureza de las Aguas Potables de Puerto Rico

En el 1977, Puerto Rico aprobó la Ley #5, conocida como la Ley para Proteger la Pureza de las Aguas Potables de Puerto Rico. Esta ley, autoriza al Secretario de Salud establecer mediante reglamentación, los niveles aceptables de contaminantes en el agua potable de Puerto Rico.

Reglamento #50 del Departamento de Salud

A consecuencia de la Ley #5, se desarrolla el Reglamento #50 del Departamento de Salud, quien regula sistemas PRASA y Non-PRASA (Ramírez 1997). El reglamento #50 fue derogado en febrero del 2000 y entró en vigencia el Reglamento Federal: Regulación Federal de Códigos, Partes 141, 142 y 143.

En Puerto Rico la agencia encargada de cuidar las aguas bajo el Acto de Agua Limpia es la Junta de Calidad Ambiental. Esta se encarga de la implementación de:

1. Reglamento de Normas de Calidad de Agua
2. Guías para la Asignación de Cargas de Contaminantes
3. Certificado de Calidad de Agua General para Descargas de Agua de Lluvia Asociadas con Actividades Industriales
4. Reglamento para el Control de la Erosión y Prevención de la Sedimentación.

El Departamento de Salud es quien tiene la primacía de hacer cumplir los requisitos de la Ley de Agua Potable Segura desde el 1980 y creando el Programa de Agua Potable (Juarbe 2007). En la actualidad el Departamento de Salud tiene a cargo los Sistemas Comunitarios de Agua Subterráneos y La EPA tiene los

Sistemas Comunitarios de Agua Superficial donde hay varios sistemas que tienen órdenes administrativas.

2.03. Contaminantes del Agua

Con el desarrollo de nuestra sociedad moderna, aumenta constantemente el número de actividades que pueden contaminar nuestra agua potable. Todo lo que se desecha incorrectamente como sustancias químicas, desechos humanos, de animales, los desechos inyectados bajo la superficie y las sustancias que ocurren naturalmente, tienen el potencial de contaminar nuestra agua potable. Los riesgos al agua potable pueden existir tanto en su comunidad como en otros lugares más distantes, EPA (2003a). Según Ramírez et al (2006), un niño muere cada 8 segundos de una enfermedad relacionada al agua y cada año 5,000,000 de personas mueren por agua contaminada o desinfección inadecuada.

Las fuentes de contaminación a los sistemas comunitarios ocurren de dos maneras. La primera es de ocurrencia natural como son los microorganismos (bacterias, parásitos), virus, radionucleidos (uranio y radio), radón, nitratos y nitritos (compuestos de nitrógeno en la tierra), metales pesados (rocas subterráneas que contienen arsénico, cadmio, cromo, plomo y selenio), flúor y esorrentías. La segunda fuente ocurre por las Actividades Humanas como las bacterias y nitratos (desperdicios humanos y de animales), metales pesados, fertilizantes y pesticidas, productos y desperdicios industriales, desperdicios de las casas (solventes, aceites usados, pinturas, “thinner”, etc.), rellenos sanitarios y el manejo el manejo de desperdicios peligrosos o no peligrosos, químicos para tratar el agua, plomo y cobre usado en materiales de plomería.

Las fuentes de contaminación por actividades humanas tienen un impacto mayor que las actividades naturales. El ambiente puede absorber mejor los impactos por actividades naturales, ya que la misma naturaleza se encarga de

contrarrestar los estragos efectuados por una actividad natural. De igual manera, el ambiente trata de absorber o regular los impactos causados por actividades humanas, pero el ser humano contamina a un promedio mayor del que la naturaleza puede restaurar.

La relación epidemiológica y las enfermedades en el agua fueron demostradas para la década del 1850 (Casado 2007). En el 1880, fue establecida esta relación por la Teoría del Germen de Pasteur.

Los patógenos o microorganismos son fuentes de contaminación de ocurrencia natural que pueden ser muy peligrosos causando vómitos y diarrea entre otros síntomas. Hay patógenos como el *Cryptosporidium* que pueden pasar a través de los procesos de filtración y desinfección de agua en cantidades que pueden causar problemas a la salud.

S. typhi y *Vibrio cholera* son responsables de causar la tifoidea y el cólera. Estos fueron los primeros patógenos propagados a través del agua en ser reconocidos (Reynolds 2002). Desde su identificación en el siglo 19, han sido responsables por grandes cifras de morbosidad y mortalidad en el mundo.

Cryptosporidium

El *Cryptosporidium* es un protozoario, parásito unicelular resistente a la desinfección que vive en los intestinos de los animales y humanos (Avery et al 2003). Este patógeno microscópico causa una enfermedad gastrointestinal llamada criptosporidiosis. El síntoma más común de esta enfermedad es diarrea acuosa. Otros síntomas son: espasmos abdominales, náusea, fiebre, deshidratación y pérdida de peso. Los síntomas se presentan de 4 a 6 días después de la infección (Avery et al 2003). La Criptosporidiosis puede causar complicaciones a personas que padecen enfermedades o procesos como la diabetes, el alcoholismo o el embarazo. La forma inactiva del *Cryptosporidium*,

conocida como oocysto es excretada en las heces fecales de las personas o animales infectados. El oocysto tiene una pared protectora resistente que le permite sobrevivir bajo una gran variedad de condiciones ambientales.

Para poder diagnosticar si una persona padece de *Cryptosporidium*, el doctor requerirá de pruebas específicas de diagnóstico. En la actualidad esta enfermedad no tiene cura. Las personas con un sistema inmune sano, se recuperan por si solas y desarrollan alguna inmunidad que los defenderá de infecciones posteriores (Avery et al 2003).

Una persona puede infectarse vía oral; comiendo o poniendo algo en la boca que estuvo en contacto con heces fecales de algún animal o persona infectada. Además, por contacto de persona a persona y cambiar pañales de bebés. Las personas que trabajan con animales y excrementos, consumen agua potable no tratada (superficial), alimentos crudos, bebidas, frutas y vegetales que no han sido lavados e incluso nadando en piscinas con agua clorada, tienen una gran probabilidad de exponerse al parásito. El lavado de las manos es el mejor método que se puede realizar para evitar una propagación. Los oocystos no son destruidos por los desinfectantes usados en el hogar, incluyendo el cloro, pero son destruidos por temperaturas sobre los 160 grados Fahrenheit (Avery et al 2003).

El *Cryptosporidium*, fue reconocido por primera vez como una causa de enfermedades en humanos en 1976. El primer brote fue en un centro de cuidados, documentado en 1983. En Carrollton, Georgia (1987), 13,000 personas se enfermaron con criptosporidiosis. Este fue, el primer reporte de su diseminación a través del sistema de aguas municipales que cumplían con todos los estándares de agua, estatales y federales. En 1993, aproximadamente 400,000 se enfermaron en Milwaukee, Wisconsin, ya que el agua potable municipal, contenía *Cryptosporidium*. El sistema en esos momentos, cumplía con los estándares de

agua. Estos brotes resaltan el riesgo de que la criptosporidiosis provenga del agua (Avery et al 2003).

Para proteger los suministros de agua contra *Cryptosporidium* se necesita la remoción física de partículas del agua, por filtración. Más partículas son removidas si se usan filtros de arena. El método de filtración es el único método convencional usado en los Estados Unidos para controlar el *Cryptosporidium*. Desafortunadamente, no hay indicadores de calidad de agua que sean confiables para predecir la ocurrencia del *Cryptosporidium*. Es más confiable muestrear contra ooquistes (Avery et al 2003).

Cólera

El *Vibrio cholera* es una enfermedad peligrosa que es causada por bacterias que causan infecciones en los intestinos. El cólera fue una de las primeras enfermedades reconocida en ser transmitida por el agua (Casado 2007). Esta enfermedad se caracteriza por diarreas, vómitos y deshidratación que puede causar acidosis y colapso circulatorio en 24 horas. Los casos que no son tratados con prontitud, pueden ocasionar la muerte (Juarbe 2007).

Salmonella

La *Salmonella* son patógenos bacterianos que podemos encontrarlos en desperdicios humanos, desperdicios de animales, productos crudos de aves que son propagados a través del agua y de alimentos. Se han identificado más de 2,000 especies de *Salmonella*. Se cree que todas son patogénicas. Estas causan una gama de síntomas como la diarrea hasta la muerte. Los serovares más asociados con las enfermedades entéricas en los seres humanos son *S. enteritidis*, *S. typhi*, y *S. paratyphi* (Reynolds 2002).

S. typhi es la causante de la fiebre tifoidea. Se calcula que anualmente ocurren 16 millones de casos de fiebre tifoidea y 600,000 muertes (Reynolds

2002). Esta fiebre no es común en países desarrollados. A diferencia de otros tipos de *Salmonella*, *S. typhi* solamente infecta a los seres humanos y es propagada a través del agua y los alimentos. Su ruta principal de transmisión es la contaminación del agua con heces humanas. Los serovares asociados con la tifoidea y otras fiebres parecidas a la tifoidea, pueden infectar cualquier órgano interno y pueden alcanzar una tasa de mortalidad 10 veces mayor que los que causan salmonellosis (Reynolds 2002).

S. enteritidis es el serovar más común en los países desarrollados que causa la enfermedad estomacal llamada salmonellosis (Reynold 2002). La salmonellosis es notable entre 12 y 36 horas después de ingerirse agua o alimentos contaminados. Las bacterias penetran en el intestino hasta llegar a las paredes intestinales donde ocurre la inflamación y se produce la enterotoxina. Aproximadamente el 2% de las personas infectadas, desarrollan dolores en sus articulaciones, irritación de los ojos, dolor al orinar, y una condición conocida como síndrome de Reiter. Este síndrome puede durar meses o años y puede llevar a una artritis crónica. Generalmente, la salmonellosis no es mortal excepto en los individuos con un sistema de inmunidad comprometido (Reynold 2002)

La *Salmonella* puede causar diarrea, fiebre y calambres abdominales de 12 a 72 horas después de la infección. La enfermedad persiste de cuatro a siete días, pero la mayoría de las personas se recupera sin tratamiento (Juarbe 2007).

La *Salmonella* puede sobrevivir en el agua, suelo y superficies desde unos días hasta meses, y en las heces fecales desde meses hasta años. La persistencia de bacterias entéricas en el agua depende de una variedad de factores ambientales como temperatura, pH, luz solar, depredación, o competencia por microbios acuáticos naturales, sustancias orgánicas disueltas, ligación a partículas, asociación con vectores (es decir, amebas, etc.), la presencia

de sales y otros solutos (Reynold 2002). La filtración y la desinfección con cloro del agua, han resultado en una reducción del 300% en la incidencia de casos de tifoidea en los países desarrollados (Reynold 2002).

Nitratos

Los nitratos son contaminantes que se encuentran tanto de forma natural como por actividades humanas. Los nitratos son sustancias químicas que se encuentran en la mayoría de los fertilizantes, abonos (estiércol) y desechos líquidos, liberados de los tanques sépticos. Las bacterias naturales en la tierra pueden convertir el nitrógeno en nitrato. Los nitratos pueden ser transportados por la lluvia, agua de riego, a través de la tierra y el agua subterránea. Los nitratos son contaminantes agudo, lo que significa que una sola exposición puede afectar la salud de una persona (DSEW 2007).

Los nitratos reducen la capacidad de las células rojas de la sangre para llevar oxígeno. En los bebés recién nacidos puede tardar más que las células rojas vuelvan a la normalidad. Estos representan un riesgo alto a la salud de los infantes cuando se encuentran en niveles por encima de los permitidos por las leyes. Los nitratos se convierten en nitritos en los intestinos. Cuando estos son absorbidos por el torrente sanguíneo, los nitritos impiden que la hemoglobina transporte el oxígeno. Los niveles excesivos de nitritos pueden causar el “síndrome del bebé azul” o metahemoglobinemia, el cual puede causar la muerte al bebé de no ser tratado de inmediato. Los bebés con mayor riesgo son aquellos que están enfermos y consumen comidas o líquidos altos en nitratos (EPA 2003a).

En la leche materna se ha encontrado nitratos, pero no existen informes confirmados que el “síndrome del bebé azul” ocurra en bebés a consecuencia de la lactancia de una madre que esté tomando agua con nitratos (DSEW 2007).

Escorrentías y Turbiedad

Las escorrentías o flujo de agua a través de la superficie terrestre pueden ocasionar contaminación en nuestros cuerpos de agua mediante la transportación de contaminantes, pertenecientes a animales, humanos y del terreno. Tanto las escorrentías generadas por actividades humanas o naturales pueden llevar a un aumento en turbiedad en el cuerpo de agua superficial.

Turbiedad es un parámetro amplio usado alrededor del mundo para describir la calidad del agua. Durante eventos de turbiedad, las concentraciones de partículas suspendidas aumentan en la fuente de agua; generando a su vez un aumento de partículas en el sistema de distribución (Gauthier et al 2003).

Aunque la turbiedad del agua sin tratar excede raramente de dos NTU, muchos operadores dicen, que las aguas de baja turbiedad, pueden ser más difíciles de tratar que otras con 100 veces más turbiedad, ya que el agua con poca turbiedad contiene típicamente partículas más pequeñas que son altamente cargadas (Casado 2007) y requieren un método de filtración más complejo y costoso, que elimine del sistema comunitario esas partículas pequeñas. La alta turbiedad tiende a ocurrir cuando las partículas grandes de arena y de arcilla, son generalmente más fáciles de tratar (Casado 2007).

En ciudades como Nueva York, Boston, Seattle, y Vancouver en Canadá, tienen parte del sistema de agua potable o completo sin filtración; Aunque algunos de ellos están implementando el proceso de filtración (Gauthier et al 2003). Para los sistemas de agua potable sin filtración, los tratamientos para la remoción de partículas no se efectúan, ya que se enfocan en la protección de la fuente de agua potable y el uso de tratamientos para la desinfección (Gauthier et al 2003).

Una manera de conocer si la turbiedad aumenta en un Sistema Comunitario es mediante el monitoreo de los Compuestos Orgánicos Totales. Hay

una relación directamente proporcional entre la turbiedad y los Compuestos Orgánicos Totales.

Metales Pesados

Se le llama metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (cobre) y 200.59 (mercurio); un peso específico superior a los 4 g/cm³ (AM 2007a). En esta categoría se encuentran casi todos los elementos metálicos de interés económico. Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse, y el tipo de especie que forman en un determinado medio. Muchos de estos elementos son necesarios en pequeñas cantidades para funcionar correctamente. Algunos de estos metales necesarios para el organismo son el cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio, y zinc. El hierro es muy importante ya que es vital para la formación de hemoglobina (AM 2007a).

El arsénico es el elemento número 20 entre los elementos más abundantes en la corteza terrestre. Este se encuentra por lo general, en cantidades de 2 mg/kg. Hay lugares como Salar del Carmen, Antofagasta y Río Loa, Quillagua con concentraciones de 637,5 mg/kg y 372 mg/kg respectivamente (AM 2007b). Estas elevadísimas cifras están determinadas por la estructura geomorfológica de la zona. Las formas solubles del arsénico como los ácidos metil arsónico y dimetil arsónico son fuertemente tóxicas. La ingestión de grandes dosis lleva a problemas gastrointestinales, cardiovasculares, disfunciones del aparato nervioso, y finalmente a la muerte. El arsénico ha sido uno de los venenos de largo plazo más utilizados en la historia de la humanidad, siendo Napoleón (el emperador de Francia), la víctima más famosa (AM 2007b). Los principales problemas a la salud causados por el arsénico son: problemas gastrointestinales, cardiovasculares,

disfunciones en el sistema nervioso, efectos cancerogénicos en vejiga y del aparato reproductor femenino y queratosis (AM 2007b).

Metales pesados como arsénico, cadmio, cromo, plomo, mercurio y selenio pueden encontrarse en el terreno y en rocas subterráneas a niveles profundos que no representan peligro. Si alguno de estos metales estuviera en concentraciones excedentes a los niveles máximos permitidos, podrían causar serios problemas a la salud, incluso la muerte. En actividades humanas como la construcción se utiliza gran cantidad de metales pesados que si no se manejan adecuadamente podrían llegar a nuestros cuerpos de agua.

En un estudio realizado por Martínez et al (2006) en la cuenca baja del Río Manzanares de Venezuela, mencionan que en los últimos años se ha puesto atención en el comportamiento de los metales pesados en este río, ya que se han reportado concentraciones totales de cadmio y Plomo moderadamente altas, de origen antropogénico. Este estudio como muchos otros, muestran que Puerto Rico no es el único país que tiene problemas de contaminación por metales y otros contaminantes, a causa de actividades humanas.

El mercurio posee una de las peores reputaciones entre los metales pesados. El incidente de la Bahía de Minamata, Japón (años 50s-60s), bastó para que este elemento generara una alarma pública en todas las regiones del mundo donde podía haber fuentes de contaminación (AM 2007c). De todas las especies de mercurio, la más peligrosa es el metilmercurio. Este afecta al sistema inmunológico, altera los sistemas genéticos y enzimáticos, daña el sistema nervioso: coordinación, sentidos del tacto, gusto, y visión; induce un desarrollo anormal de los embriones y los embriones son 5 a 10 veces más sensibles a los efectos del mercurio que en una persona adulta (AM 2007c).

El cromo causa dermatitis en la piel, sensibilización de la piel, es irritante de la piel y mucosas, produce tos, bronquitis crónica, ulceraciones del tabique nasal y piel, dolores respiratorios y de cabeza, hemorragia nasal, etc. (AM 2007c).

El zinc, manganeso, cobre, bismuto, plata y níquel, son sustancias tóxicas, que producen diversas alteraciones a la salud humana. Por ejemplo, la toxicidad de el cobre, está relacionada a la hemólisis (AM 2007c).

Plomo

El plomo es un metal que se encuentra en depósitos naturales y es usado en materiales de plomería residencial y líneas de servicio de agua. El polvo de las casas es una fuente común de plomo. El polvo puede contener plomo de pintura a base de plomo ya deteriorada, o de tierra contaminada que ha sido recubierta. El polvo de plomo puede crearse durante proyectos de remodelación, o cuando la pintura a base de plomo no se elimina de manera segura. La pintura a base de plomo se usó en interiores y exteriores de casas construidas antes de 1978. Esto significa que la pintura con base de plomo fue usada en: cunas, sillas de comer, ventanas, carpintería, paredes, puertas, pasamanos y techos (DSM 2006).

El plomo podría estar presente en alimentos procedentes de plantas, si se encuentra en grandes cantidades en la tierra; ya que las plantas generalmente no absorben plomo. Muchos remedios tradicionales contienen plomo, por lo que no deben ser usados. Hable con su médico si está tomando cualquiera de los siguientes remedios populares ya que pueden contener plomo (DSM 2006): Alarcón, Alkohl, Azarcon, Bali Gali, Bint al Zahab, Cora, Greta, Farouk, Ghasard, Kandu, Kohl, Liga, Lozeena, Pay-Loo-Ah y Surma.

El plomo es un veneno que se acumula en los tejidos del cuerpo y es absorbido a través del sistema digestivo, los pulmones y la piel. El plomo es transportado por la sangre y es depositado en los huesos; permitiendo que se

aloje en su cuerpo por muchos años después de haber sido contaminado. Los efectos del envenenamiento a causa del plomo en su salud dependen de cuanto plomo se haya acumulado en su sistema. El exceso de plomo en el cuerpo puede causar serios daños al cerebro, riñones, sistema nervioso, sistema reproductivo y los glóbulos rojos en la sangre (ANSH 2005, ASTRE 2007).

Hay pruebas de sangre para medir la cantidad de plomo en la sangre y estimar la cantidad de plomo a la que estuvo expuesto. Otra prueba para evaluar la exposición a plomo es midiendo la protoporfirina de los glóbulos rojos. La protoporfirina es un componente de los glóbulos rojos que aumenta cuando la cantidad de plomo en la sangre es alta (ASTRE 2007).

Los infantes y niños expuestos al plomo en el agua potable por encima del nivel de acción de plomo (0.015 miligramos por litro) pueden sufrir de retrasos en el desarrollo físico y mental, junto con leves deficiencias en la capacidad de concentración y las habilidades de aprendizaje. Es posible que aquellos adultos que tomen de esta agua durante muchos años puedan desarrollar problemas en los riñones o alta presión arterial (EPA 2003a).

Se ha encontrado plomo en por lo menos 1,272 de los 1,684 sitios de la Lista de Prioridades Nacionales, identificados por la Agencia de Protección Ambiental (ASTRE 2007).

El plomo puede estar presente en el agua potable por la corrosión de los materiales de plomería. Las tuberías instaladas antes de 1930 pueden tener plomo. Las tuberías instaladas antes de 1985 pueden tener soldadura a base de plomo en las coyunturas de cobre del sistema de suministro de agua; también los grifos de latón y las válvulas de bola. Es importante conocer que la tubería que legalmente se considera “libre de plomo” puede contener hasta un ocho por ciento

de plomo. Esta tubería puede lixiviar cantidades considerables de plomo al agua durante los primeros meses que siguen a su instalación (EPA 2003a).

Radón

El radón es un gas natural, perteneciente al grupo de los gases nobles (Reger et al 1997). El radón es un gas radioactivo inodoro, incoloro e insípido. Se produce por la descomposición del uranio en el suelo, rocas y agua (NSC 2006). El radón se mide en unidades de picocuries por litro (pCi/L) en el aire.

El radón también sufre decaimiento radiactivo. Cuando el radón decae, se divide en radiación y progenie. La progenie es inestable y también se divide en radiación y en otra progenie. La división de las progenes continúa hasta que se forma una progenie estable (no radiactiva). Durante el decaimiento se libera radiación alfa, beta y gama. El radón era usado en tratamientos de enfermedades tales como cáncer, artritis, diabetes y úlceras. Otros usos del radón son: predecir terremotos, en el estudio de transporte atmosférico y en la exploración de petróleo y de uranio (ASTRE 1999).

Al decaer el radón en el aire, las partículas radioactivas quedan atrapadas en los pulmones de las personas. Mientras las partículas se desintegran, desprenden pequeñas cantidades de energía (radiación), que pueden dañar los tejidos de los pulmones y causar cáncer pulmonar a través de los años. El radón es la segunda causa de cáncer pulmonar y según la Academia Nacional de las Ciencias, se estima que alrededor de 15,000 a 22,000 personas mueren al año (NSC 2006).

El porcentaje de radón que se encuentra en el agua es muy poco comparado con la cantidad existente en el suelo. Sólo el uno o dos por ciento del radón en las casas proviene del agua potable. El National Safety Council (2006), menciona que en un reportaje de la Academia Nacional de las Ciencias, la EPA

calculó que aproximadamente 168 personas mueren al año por causa del radón en el agua, 89% del cáncer pulmonar se debe a la inhalación del radón y 11% del cáncer de estómago se debe al consumo de agua contaminada con radón. Investigaciones sugieren que el beber agua con niveles altos de radón puede ser un riesgo a la salud, pero se cree que los riesgos de beber agua con radón son mucho más bajos que el de respirarlo en el aire.

Todas las rocas contienen uranio. La mayoría contienen cantidades mínimas. El radón proveniente del suelo, puede entrar a casas o edificios mediante pisos de tierra, paredes huecas, grietas en los cimientos del edificio y paredes, y por las aberturas alrededor de los sumideros y tuberías. La única manera de saber si existe un problema de radón es efectuando pruebas para detectarlo (NSC 2006).

Sustancias Químicas

Las sustancias químicas procedentes de negocios como industrias, estaciones de gasolina y lavanderías pueden ser fuentes extremadamente peligrosas para nuestros cuerpos de agua, ya que si no son manejados y dispuestos correctamente pueden contaminar nuestras aguas. Además, los agentes químicos que son usados en nuestros hogares como solventes, aceites usados, pinturas, "thinner", jabones y detergentes pueden afectar el agua potable.

Almacenamiento de Químicos y Sustancias

El agua es un líquido que tiene aproximadamente un pH de 7. Dependiendo de las concentraciones de minerales, sustancias y particulados; el pH del agua puede aumentar o disminuir. Aunque el agua es considerada como una sustancia neutral; esta puede inducir corrosión en el contenedor donde está almacenada e incluso al sistema de bombeo (tubería, bombas y otros mecanismos).

En los negocios podemos encontrar diferentes tipos de contenedores para estos químicos como lo son: los tanques soterrados, tanques de 208.23 litros (55 galones) y otros. Los tanques soterrados deben ser inspeccionados con frecuencia, ya que si ocurre una filtración, pueden llegar a un cuerpo de agua superficial o subterráneo. Para poder utilizar ciertas sustancias químicas, las personas encargadas del área, deben conocer las características físicas y químicas de dichas sustancias.

Hay agentes o sustancias químicas que no pueden ser almacenados juntos ya que son incompatibles. Aunque estén almacenados en contenedores diferentes pueden reaccionar entre sí. Los químicos se dividen en grupos cuando son almacenados (Hackman et al 2002). Estos grupos deben ser segregados unos de los otros. Los grupos de segregación son los siguientes: los flamables (incluyendo solventes), oxidantes (peróxidos, percloratos, materiales sensibles a la luz), reductores, ácidos, bases y alcalinos, reactivos con agua, venenos o materiales tóxicos, pirofóricos, cilindros de gas y materiales radioactivos.

2.04. Problemas en el Agua: ¿Cómo Podemos Identificarlos?

Los problemas relacionados directamente con la integridad física del agua se pueden enumerar en tres, según la EPA (2002):

1. Visibles

- a. Escala de Sales de Calcio y Magnesio en el agua.
- b. Turbiedad del agua por sucio, arcilla, sales, cieno y materiales oxidados en el agua.
- c. Manchas verdes en fregaderos o grifos causados por alta acidez en el agua.
- d. Manchas marrón-rojas en fregaderos, grifos o ropa causados por hierro disuelto en el agua.

2. Sabor

- a. Sabor salado o salobre ocasionado por el alto contenido de sodio en el agua.
- b. Sabor alcalino ocasionado por minerales alcalinos disueltos en el agua.
- c. Sabor metálico ocasionado por acidez del agua o concentraciones alta de hierro
- d. Sabor a sustancias químicas ocasionados por químicos de industrias o pesticidas.

3. Olor

- a. Olor fuerte a huevo que puede ser ocasionado por el gas sulfuro de hidrógeno disuelto o alguna bacteria presente en el agua.
- b. Olor a detergente y espuma en el agua causado por filtración de tanques sépticos.
- c. Olor a gasolina o aceite que indica la presencia de estos productos en el agua.
- d. Olor al gas Metano proveniente de la descomposición orgánica de la materia en el agua.
- e. Olor a cloro debido a exceso de clorinación.

El monitoreo mediante pruebas químicas y biológicas debe hacerse a través de todo el año, para saber los meses que hay más concentraciones de contaminantes en el agua. Existen dos tipos de muestreo para los Sistemas Comunitarios. El primer muestreo es el de cumplimiento, el cual la ley exige que sea realizado por la comunidad, para garantizar la calidad y eficiencia de la desinfección del agua potable. El muestreo de cumplimiento debe ser realizado

en un laboratorio certificado por el Gobierno. El segundo muestreo es el de vigilancia, el cual es realizado por el Departamento de Salud como agencia fiscalizadora. La tabla 2.01 muestra los diferentes tipos de análisis que deben realizarse en un Sistema Comunitario Superficial (Ramírez 1997).

Tabla 2.01. Muestreo y Frecuencias de un Sistema Comunitario Superficial en Puerto Rico (Ramírez 1997).

Muestreo	Frecuencia
Bacteriológico	Mensual
Químico	Anual
Residual de Cloro	Diario
Turbiedad	Diario

Según el Departamento de Salud Ambiental (2001), hay una serie de Laboratorios Certificados por parámetros (Bacteriología, Químicos, Metales y Físicos) para hacer los muestreos de cumplimiento. La regulación requiere que los sistemas de agua potable superficiales provean el agua con una turbiedad menor de 1 NTU y no deberá superar 0.30 NTU en el 95% de las muestras diarias de cualquier mes (EPA 2003a), un pH de 6.8 a 7.4, cloro residual de 0.02 mg/l y oxígeno de 8 mg/l (Ruiz 2007).

En los meses que más llueve puede ocurrir un aumento en concentraciones de sedimentos en el cuerpo de agua superficial por escorrentías. Aunque es importante el monitorear los Sistemas Comunitarios, un aumento de monitoreo no es adecuado por los altos costos. El propósito es asegurar la

integridad de los sistemas con métodos más eficientes (Minnigh et al 2004). Los indicadores como los Coliformes Fecales son usados para verificar la efectividad e integridad de las barreras de contaminantes en los sistemas (Minnigh et al 2004). Los indicadores son una medida simple de factores o especies biológicas que son usados asumiendo que son indicativos de sistemas biofísicos o socioeconómicos (Canter 1996). Tanto los animales como las plantas han sido utilizados por décadas como indicadores de contaminación, temperatura y otros. Los indicadores ecológicos se clasifican en dos: especies “steno” que significa estrecho o poco y especie “eury” que significa amplio o abundante. Las especies abundantes “eury”, usualmente son mejores indicadores que las especies “steno” debido a que son abundantes y son biomasas más estables. Relativo a los efectos de contaminación, un organismo indicador es una especie seleccionada por su sensibilidad o tolerancia a varias clases de contaminación o sus efectos (Canter 1996).

Indicadores ambientales han sido sugeridos como herramientas importantes para monitorear el estado del ambiente en relación al desarrollo sustentable o amenazas ambientales asociadas (Canter 1996). Hay diferentes tipos de indicadores para verificar la presencia de contaminación en el agua potable. Algunos de estos indicadores son (Rivera 1996):

1. Los Coliformes Fecales - se utilizan para identificar la presencia de heces fecales de animales de sangre caliente.
2. Los Estreptococos Fecales – se utilizan para determinar la calidad del agua en arroyos y lagos.
3. *Clostridium perfringes* – es una bacteria que forma esporas. Es más resistente al cloro que los coliformes fecales. Se utiliza para obtener más información sobre la calidad del agua.

4. Levadura *Candida albicans* – puede utilizarse como indicador en aguas que han sido desinfectadas con cloro, ya que es resistente al mismo.
5. Bacteriófagos – evaluados como indicadores para virus entéricos.
6. Bacterias Heterotróficas – utilizadas para evaluar la efectividad de tratamientos. Alto número puede interferir en la determinación de coliformes.

Es recomendable que el cuerpo de agua superficial se encuentre en un área relativamente alta donde no habite una población grande para que el agua sea de mejor calidad. Mientras menos químicos, minerales y sedimentos tenga el agua, más sencilla y económica será la tecnología a utilizar en el Sistema. De no ser así, hay que recurrir a tecnologías que puedan eliminar esos contaminantes.

Otros problemas relacionados a la calidad del agua ocurren a causa de la administración de los propios sistemas. En el estudio Minnigh et al (2004) mencionan problemas administrativos y técnicos que impactan directamente la calidad del agua. Estos son:

1. Los operadores y administradores de Sistemas Comunitarios no entienden el propósito y la información provista de un monitoreo bacteriológico, ni tampoco la importancia y significado de la información de salud pública disponible.
2. Nadie le da suficiente importancia a las advertencias y avisos de las personas que desarrollaron el Sistema Comunitario.
3. Hay poco entendimiento sobre la importancia de la integridad física de un Sistema Comunitario.

El problema de manejo y operación de los Sistemas Comunitarios es un problema serio que debe ser mejorado. En otro estudio efectuado por Minnigh et

al (2006), demostraron que luego de educarse operadores y administradores, bajaron la incidencia de diarrea en personas en el pueblo de Patillas. Los operadores estuvieron adiestrándose por un periodo de 12 meses y los administradores por un periodo de 9 meses. Luego del adiestramiento del personal, Minnigh et al (2006) efectuaron un análisis en 94 casas por tres meses donde encontraron que hubo 21 casos de diarrea por cada 25,404 personas-día. Lo que se deduce en 0.8266% casos de diarrea por cada 1,000 personas-día. Al finalizar el estudio, demostraron que luego de educar al personal de los sistemas comunitarios del área de Patillas, los casos por diarrea disminuyeron.

Otros datos importantes relacionados con los Sistemas Comunitarios es que Puerto Rico en un periodo aproximado de ocho años hizo dos proyectos que bajo el "State Revolving Fund" (SRF por sus siglas en inglés) obtuvieron cerca de 37 millones de dólares. Lo más impactante es que todos esos fondos (SRF) han sido distribuidos a sistemas PRASA y los Sistemas Comunitarios no han visto un dólar. Desembolsos para desarrollo de capacidad fueron dados a algunos individuos y no han demostrado ninguna evidencia de mejoras. El Programa de Agua Potable del Departamento de Salud ha fallado en localizar los pequeños sistemas, incluso los que tienen en inventario con fuentes superficiales (Ramírez et al 2004).

En un estudio efectuado por Ramírez et al (2004), muestran diferentes gráficas y tablas correspondientes a los por cientos de violaciones de sistemas de agua en Estados Unidos y Puerto Rico desde el 1993 al 2003 (11 años). El promedio de los 11 años de violaciones, Puerto Rico tuvo un 83.36%; mientras que los Estados Unidos (todos los estados) tenía un 30.09%. Los Sistemas Comunitarios de Estados Unidos tienen un nivel de cumplimiento mayor que Puerto Rico.

En el año 1997 al 1998, Ramírez et al (2004) efectuaron un estudio corto donde siete de veinte siete sistemas monitoreados en Puerto Rico tenían coliformes totales y cuatro de estos tenían *Escherichia coli* y Fecal “Streptococci”. Ramírez et al (2004) hicieron otro estudio comenzado en el verano del 2004, donde encontraron *Salmonella sp* en agua distribuida en cuatro de seis sistemas pequeños en Puerto Rico. Los Sistemas Comunitarios en Puerto Rico realmente tienen una problemática con la calidad del agua.

2.05. Requisitos para la Construcción de un Sistema Comunitario

Si se conocen las reglas y códigos del Departamento de Salud y de la EPA para la construcción y mantenimiento de operación de un Sistema Comunitario de agua superficial; será más fácil diseñar un plan o un diseño general de un Sistema Comunitario que pueda ser usado de base para cualquier Sistema que sea abastecido por agua superficial.

Al momento de construir un Sistema Comunitario, hay que someter un estudio de Capacidad de Sistema. La sección 1420 (a) de el Acta de Agua Potable Segura establece el desarrollo de capacidad y la sección 1452, establece el “State Revolving Loan Fund”. El Programa de desarrollo de Capacidad consolida tres componentes básicos esenciales para la operación de los sistemas. Estos son: componentes técnicos, componentes de finanzas y componentes de manejo (DSA 1999). El acta 5 del 21 de julio de 1977 fue enmendada el 26 de diciembre de 1997 por el acta número 193, de igual manera que el acta número 32 del 7 de julio de 1997, la cual establece un fondo para atender casos de agua potable.

Toda propuesta para desarrollar nuevos sistemas comunitarios debe tener un punto de control o varios puntos de control que son usados para monitorear y demostrar la capacidad que tiene el sistema. Los nuevos sistemas deben cumplir con una serie de criterios para poder construirlos (DSA 1999). Estos son:

1. Demostrar que el sistema puede suplir un aumento en demanda. Si ocurre un aumento en población. El sistema debe ser construido con capacidad suficiente para no ser modificado dentro de 5 años de operación.
2. Someter y cumplir con los endosos del Departamento de Salud Ambiental para el desarrollo, construcción y operación de un Sistema Comunitario.
3. Cumplir con los permisos y endosos de las agencias de Gobierno que regulan las fases de operación y construcción del sistema. Estas son: el Departamento de Recursos Naturales, Administración de Permisos y Regulación y otros.
4. Presentar evidencia que la entidad que estará administrando el sistema, esté debidamente incorporada en el Departamento de Estado de Puerto Rico.
5. Proveer un documento legal de las posiciones y responsabilidades de los miembros de la entidad y estipular que el propósito principal del sistema es cumplir con la regulación y proteger la pureza del agua potable de Puerto Rico.
6. La entidad a cargo del sistema (administración, operación) deben tener las siguientes posiciones a ocupar.
 - a. El área de administración debe tener los siguientes cargos: Presidente, Vicepresidente, Tesorero(a), Secretaria(o) y una persona con conocimiento en Regulación de Cumplimiento de agua potable, mantenimiento y operación.
 - b. Los operadores del sistema deben estar certificados como operadores en la Junta Examinadora de Puerto Rico y

haber tomado el Programa de Certificación de operadores de “Drinking Water State Revolving Fund”.

7. Someter un documento que incluya Costo de Construcción Inicial, Estimado de Operación y Costo por los siguientes cinco años.
8. Preparar y someter copia del Manual de Mantenimiento y Operación a usar en el sistema a construir.

El Departamento de Salud durante el proceso de aprobación del sistema, exige tres endosos o aprobaciones para garantizar que el nuevo sistema opere correctamente. Estos tres endosos son: Endoso de Desarrollo Preliminar, Endoso de Construcción y Endoso de Operación.

Para que un Sistema Comunitario pueda tener un Endoso de Desarrollo, el proponente debe someter un Reporte de Ingeniería (Preliminar y Final) y un Reporte de Evaluación Ambiental y Arqueológico (DSA 1999). Estos incluyen:

1. Reporte de Ingeniería Preliminar
 - a. Área de Desarrollo del Proyecto - Debe definir el problema y localización (mapas, fotografías, etc.).
 - b. Facilidades Existentes
 - c. Proyecciones de Población
 - d. Necesidad y Demanda de Agua
 - e. Evaluación de Alternativas
 - f. Alternativa Seleccionada
 - g. Estimado de Costo Preliminar
 - h. Conclusión y Recomendaciones
 - i. Plan para Reemplazo de Infraestructura
 - j. Plan para Mantenimiento y Operación

- i. El plan debe ser diseñado para que el sistema pueda tener una vida útil de 20 años.
 - k. Plan de Entrenamiento de Operadores.
- 2. Reporte de Evaluación Ambiental y Arqueológico
 - a. Una Evaluación Ambiental considera todos los impactos que el Sistema Comunitario podría ocasionar al cuerpo de agua y al medio ambiente durante su etapa de diseño, construcción y operación. Para desarrollar una Evaluación Ambiental, Canter (1996) tiene una metodología a seguir. El primer paso es la Identificación de la cantidad de agua superficial y calidad de los impactos del proyecto propuesto. El segundo paso es la descripción existente del cuerpo de agua superficial. El tercer paso es buscar la cantidad de agua a utilizar e impactar y estándares de calidad (documentación). El cuarto paso es la predicción de impactos. El quinto paso es una evaluación de impacto significativo y finalmente, el sexto paso que es el de identificación e incorporar medidas de mitigación.
- 3. Reporte de Ingeniería Final al Departamento de Salud Ambiental para aprobación.

Al tener el Endoso de Desarrollo Preliminar, el Proponente debe someter el Endoso para Construcción. Este debe contener el Plan de Negocio y el Diseño de Proyecto (DSA 1999), que incluyen:

- 1. Plan de Negocio
 - a. Reporte de auditorias anuales para los tres años previos de operación.

- b. Itinerario de tarifas actuales y propuestas.
- c. Resumen de acciones legales referente a las tarifas actuales o propuestas.
- d. Planillas Federales y Estatales de la entidad de tres años previos.
- e. Fondos de Operación actuales y fondos proyectados por un periodo de cinco años.
- f. Composición de la base del consumidor
- g. Reporte de insatisfacción del consumidor de cinco años previos.
- h. Documentos que demuestren el manejo de la contabilidad y evidencia de la incorporación de la comunidad.
- i. Evidencia de cumplimiento o endosos de otras agencias de bienestar común envueltas en el proceso de construcción de sistemas de agua.
- j. Documento legal especificando y asegurando el cumplimiento del sistema con el Acta de Agua Segura.

2. Diseño de Proyecto

- a. El Departamento de Salud Ambiental utiliza como guía las Reglas y Regulaciones de Estándares de Diseño de la Autoridad de Acueducto y Alcantarillado de Puerto Rico.

Al tener la aprobación del Plan de Negocio y el Plan de Diseño, el Endoso de Construcción es garantizado. El Endoso de Operación es finalizado una vez el Plan de Negocio está completamente aprobado y la Inspección Final es aprobada.

El Departamento de Salud Ambiental (2001) muestra mediante el documento “Requisitos del Departamento de Salud para Otorgar Endosos a Proyectos Relacionados con Acueductos Públicos” una serie de especificaciones de construcción y diseño que todo sistema público superficial debe cumplir.

2.06. Componentes de un Sistema Comunitario Superficial

Un Sistema Comunitario Superficial se divide en tres etapas: Protección de la Fuente, Tratamiento de Agua y Sistema de Distribución (DSA 2005). La Protección de la Fuente es la etapa donde el cuerpo de agua superficial debe ser protegido bajo el Acta de Agua Limpia y demás leyes aplicables. Esta etapa se compone de la Fuente Superficial. El Tratamiento del Agua está diseñado para tratar el agua proveniente de la fuente superficial y velar que cumpla con los estándares de calidad del Acta de Agua Potable Segura y demás leyes aplicables. Esta área se compone de un Área de Mezclado (coagulante), un Área de Sedimentación, un Área de Filtración, un Área de Desinfección y un Área de Distribución. Los Sistemas Comunitarios de Agua Superficial, generalmente no tienen todas estas áreas. El Sistema de Distribución es la etapa donde el agua ya tratada, pasa a un Tanque de Distribución y luego entra a la Línea de Distribución hasta llegar a los abonados o consumidores.

Hay una serie de requisitos de construcción que el Departamento de Salud exige a los Sistemas Comunitario de Agua Superficial para tener todos los endosos bajo el documento de Requisitos del Departamento de Salud para Otorgar Endosos a Proyectos Relacionados con Acueductos Públicos. Estos requisitos van desde los cobros por servicios del Departamento de Salud hasta Diseño de Construcción y Análisis del agua.

En la actualidad, hay un sin número de tecnologías para tratar el agua. Estas tecnologías van desde las más sencillas y económicas hasta las más

complejas y costosas. Dentro de las complejas y costosas se encuentran los paquetes y los sistemas de control y monitoreo a control remoto.

El término paquete es un sistema completo de tratamiento de agua potable que solamente necesita ser instalado. En otras palabras, el sistema te puede incluir filtración, desinfección y sistema de bombeo o transmisión. Los paquetes son diseñados de diferentes tecnologías. Por ejemplo: un sistema o paquete de rayos ultravioleta, te puede incluir coagulación, filtración en serie (filtros de diferentes tamaños), carbón activado, bomba de agua, tanque de agua y desinfección por rayos ultravioleta. La ventaja de estos sistemas es que simplemente hay que montarlos, tomar un training por el vendedor de cómo usarlo y mantenerlo y comenzar a usarlo. Una desventaja es el alto costo de adquisición por parte de los sistemas comunitarios.

Los sistemas de control y monitoreo a control remoto son sistemas con componentes tecnológicos, capaces de monitorear y controlar procesos dentro del sistema comunitario desde su propia casa, mediante teléfono, línea directa, radio comunicación, “networks” o satélite (EPA 2003b). Dentro de las ventajas de estos sistemas es que reducen el uso de químicos, poca generación de residuos y un nivel de confianza alto. Una desventaja es el alto costo de adquisición por parte de los sistemas comunitarios.

Coagulación

La Coagulación incluye floculación. Es la primera etapa de remoción de contaminantes en un Sistema Comunitario de Agua Superficial. La floculación es la etapa donde son eliminadas la tierra y las partículas suspendidas en el agua. La eliminación de dicha materia se obtiene al añadir alumbre y sales de hierro o polímeros orgánicos sintéticos al agua para formar pequeñas partículas pegajosas, llamadas coágulos. Estos coágulos atraen las partículas de tierra y

las partículas suspendidas (EPA 2003a, b). En otras palabras, se agrega una sustancia química al agua que genere un flóculo.

Sedimentación

Al ocurrir la floculación ocurre la sedimentación. Las partículas coaguladas se precipitan al fondo, evitando que pasen por el Sistema Comunitario (EPA 2003a, b).

Filtración

El otro proceso que debe ocurrir en el Sistema Comunitario es el de Filtración. La filtración es usada para eliminar partículas del agua. Estas partículas incluyen el barro, lúgamo, material orgánico, precipitados de otros procesos de tratamiento dentro de la instalación, hierro, manganeso, y microorganismos. La filtración es bien importante ya que mejora la eficacia de la desinfección (EPA 2003a).

Hay una variedad de filtros que un Sistema Comunitario puede usar como los son los filtros de carbón activado, dispositivos de intercambio de iones, filtros de bolsa, filtros de cartucho, dispositivos de membrana (microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y osmosis inversa), dispositivos de destilación y filtros de arena.

Filtros de Carbón Activado

Los filtros de carbón activado absorben los contaminantes orgánicos. Estos ocasionan problemas de sabor y olor. Algunos dispositivos de filtración pueden eliminar los subproductos de cloración, algunos solventes de limpieza, pesticidas y metales pesados como el plomo y cobre. Es necesario reemplazar periódicamente los filtros de carbón, ya que pierden su eficacia con el tiempo de uso. Una desventaja de este filtro es que no elimina los nitratos, bacterias ni minerales disueltos (EPA 2003b).

Filtros de Intercambio de Iones

Los filtros de intercambio de iones son utilizados para eliminar los minerales del agua. Algunos de ellos eliminan el radio y el bario. Los dispositivos de intercambio de iones y ablandamiento de agua usan como agente filtrante “media”, el calcio, magnesio y la alúmina activada. La alúmina activada es utilizada en los filtros de intercambio de iones para eliminar el flúor y arseniato del agua. Es necesario reemplazar periódicamente los filtros de intercambio de iones con sales, ya que pierden su eficacia con el tiempo de uso (EPA 2003b).

Filtros de Bolsa

Los filtros de bolsa son generalmente manufacturados de fibras sintéticas, diseñadas de un tamaño específico. Los filtros de bolsa son utilizados, dependiendo el tamaño del microbio y partículas entre otros. El poro del filtro debe ser menor al tamaño del material que quiere ser removido. El tamaño del poro de un filtro se mide en micrones; mientras más pequeño es el número del poro, más eficiente son los filtros de bolsa. A medida que el poro de la bolsa es más pequeño, más presión necesita el Sistema Comunitario para filtrar el agua.

Dependiendo de la calidad del agua, la Agencia de Protección Ambiental (2003), sugiere una serie de filtros de arena u otro tipo de filtro, seguido de un filtro de bolsa o un filtro de cartucho para aumentar la remoción de particulado y para extender la vida del filtro secundario. De igual manera, el filtro de bolsa puede ser usado como un filtro primario y utilizar otro tipo de filtro como secundario. El alcance o medida de turbiedad que puede controlar un filtro de bolsa, es de 1 NTU a 10 NTU. Los filtros de bolsa pueden remover contaminantes de hasta un micrón de tamaño.

Filtros de Cartucho

Los filtros de cartucho en el centro son rígidos, generalmente de PVC. El agente filtrante, generalmente esta manufacturado de Polipropileno o poliéster. Estos pueden ser manufacturados de otras fibras. Hay una variedad de filtros de cartuchos disponibles que son comprados por el tamaño del poro y materiales; dependiendo la calidad del agua y que contaminantes es el que quiere ser removido. Los tamaños típicos disponibles son de 100, 100, 50, 25, 10, 5 y 1 micrón. Los filtros de cartucho pueden ser reemplazados o pueden lavarse dependiendo el material y el vendedor. Un filtro puede durar desde una hora hasta un mes; esto varía con la calidad del agua, el flujo de agua que pasa por el filtro y el tamaño de poro del filtro. Estos son utilizados para remover microbios y reducir la turbiedad. Estos filtros son fáciles de operar y mantener. Estos pueden taparse rápidamente y deben ser reemplazados. Este sistema requiere muchos fondos para operar. Además, es recomendable usar un desinfectante para evitar crecimiento de microbios en el filtro (EPA 2003b).

El filtro de bolsa y el filtro de cartucho son de los más costos efectivos, ya que pueden operar sin químicos como coagulantes y floculantes. Ambos filtros están diseñados para capturar parásitos, protozoarios y ooquistes. Una desventaja es que no remueven bacterias ni virus, debido al tamaño pequeño de estos.

Dispositivos de Membrana

Los filtros de membrana están manufacturados de una gran variedad de polímeros para las diferentes partes de la membrana. La capa fina esta hecha generalmente de acetato de celulosa. Hay cuatro tipos de membranas de filtración. Estos son: microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y osmosis inversa. Para que estas membranas puedan utilizarse como filtros es necesario tener un

sistema que ejerza presión al agua. De lo contrario el agua extraída del cuerpo de agua superficial no podrá pasar a través de las membranas (EPA 2003b).

Las membranas de microfiltración y ultrafiltración operan de manera similar a los filtros de bolsa y de cartucho. La diferencia entre ellos es que las membranas tienen poros más pequeños que fluctúan desde los 0.5 micrones hasta los 0.003 micrones. Las membranas de microfiltración, generalmente tienen poros de tamaño de 0.1 micrones o mayores.

Las membranas de ultrafiltración son efectivas para remover patógenos, partículas y microorganismos provenientes del agua. La tecnología de ultrafiltración es más efectiva que la microfiltración y menos efectiva que la nanofiltración. Los sistemas de ultrafiltración son operados por sistemas de bombeo, donde el agua pasa por un ciclo que contiene la base de la membrana y pasa a través de varias de ellas. Generalmente son localizadas en serie. Las membranas son manufacturadas de materiales plásticos. Requieren más cuidado y deben monitorearse a menudo las presiones existentes en la entrada y salida del sistema de filtración, ya que operan con presiones. Hay que seguir las indicaciones del manufacturero en cuanto a caídas de presión (EPA 2003b).

Las membranas de nanofiltración y de osmosis inversa, tienen la capacidad de eliminar contaminantes en el agua a niveles moleculares como los nitratos, sodio, pesticidas, dioxinas, cloroformo, productos químicos y algunos otros compuestos disueltos, tanto orgánicos como inorgánicos. Una desventaja es que no eliminan todos los contaminantes orgánicos e inorgánicos. La nanofiltración es usada para remover partículas de 0.001 a 0.002 micrones de tamaño. La osmosis inversa puede remover más contaminantes disueltos en el agua como arsénico, asbesto, protozoarios, pirógenos y virus. Estos procesos operan a presiones que fluctúan desde los 5,516 a los 10,342.5 KPa (800 a 1,500

psi). Contrario a las membranas de microfiltración y ultrafiltración que operan normalmente de 20.685 a 413.7 KPa (3 a 60 psi) en presión positiva y de 20.685 a 82.74 KPa (3 a 12 psi) en presiones negativas (EPA 2003b).

Dispositivos de Destilación

Los dispositivos de destilación eliminan los nitratos, bacterias, sodio, calcificaciones, sólidos disueltos, compuestos orgánicos, metales pesados y radionucleidos y las bacterias. Una desventaja es que no eliminan algunos contaminantes orgánicos volátiles, pesticidas y solventes volátiles. Es posible que algunas bacterias formen colonias en la bobina de enfriamiento durante los periodos inactivos.

Filtros de Arena

La tecnología de los filtros lento de arena ha sido utilizada desde comienzos del siglo XIX cuando en 1826, James Simpson construyó un filtro lento de arena que utilizaba agua del río Thames. Un estudio epidemiológico luego del brote de cólera de 1854 en Londres, demostró que aquellas personas que utilizaban el agua de estos filtros lentos de arena no habían sido afectadas por la epidemia (Román et al 2001). De ahí en adelante el uso de los filtros lento de arena creció y se difundió a través de toda Europa y eventualmente llegó hasta los Estados Unidos.

La sencillez de los filtros lento de arena, en combinación con su ya demostrada capacidad de producir agua potable segura para consumo humano, los hace muy apropiados para ser utilizados en comunidades rurales pequeñas, aisladas de los centros urbanos (Román et al 2001).

En regiones tropicales donde ocurren eventos de lluvia extremos, los filtros lento de arena alimentados con aguas superficiales están sujetos a grandes cargas de sólidos y material suspendido lo cual hace que éstos se tupan

rápidamente, reduciendo así la duración de las tandas de filtración. Por tal razón es de suma importancia que los filtros lento de arena situados en regiones tropicales, tengan algún tipo de tratamiento previo, que reduzca la carga de sólidos y material suspendido que llega a los mismos (Román et al 2001).

Los filtros de arena son medios filtrantes que consisten de arena y piedra de diferentes tamaños. Existen dos tipos de filtración: la filtración rápida y la filtración lenta. En Puerto Rico, la Autoridad de Acueducto y Alcantarillado usa el método de filtración rápida que utiliza arena de 0.35 mm a 0.55 mm de tamaño. La filtración rápida requiere tratamiento previo del agua, utilizando sustancias químicas. El propósito principal del filtro de arena es remover el flóculo que se forma por el tratamiento químico, que no pudo ser removido por la sedimentación. Este filtro no remueve turbiedad fina, materia coloidal, color, olor o bacterias; a menos que estén atrapados en el flóculo. Este tipo de filtración es costosa ya que necesita tratamiento químico o floculación. No es apropiada para los Sistemas Comunitarios (Rivera 1996).

La filtración lenta envuelve el paso de agua cruda a través de una camada de arena a una velocidad entre 0.19 a 0.38 litros por minuto por pie cuadrado (0.05 a 0.10 galones por minuto por pie cuadrado); resultando en una remoción sustancial de materiales particulados por medio físico y mecanismos biológicos. El tamaño de la arena fluctúa de 0.22 mm a 0.35 mm (Rivera 1996). Según la Organización Panamericana de la Salud (2000), un filtro lento puede ser construido con arena fina lavada de río o arroyos de granos de 0.15 a 0.35 mm de tamaño, una capa de gravilla de granos de 1 a 1.5 cm de tamaño y otra capa de grava de granos de 2 a 3 cm de tamaño. En términos generales, tanto Rivera (1996) como la Organización Panamericana de la Salud (2000), coinciden en que el tamaño de la arena fina no debe exceder 0.35 mm.

Para que sea efectivo el método de filtración lenta, requiere que ocurra aclimatación; este es el periodo durante el cual se forma una capa microbiológica activa “Schmutzdecke” que consiste de algas, hongos, bacterias, virus, rotíferos, parásitos y otros organismos. Esta capa va llenando los espacios que quedan entre los granos de arena, creando un filtro efectivo para la remoción de microorganismos patógenos (Rivera 1996). En un documento de capacitación de agentes agrícolas de la Universidad de Puerto Rico, efectuado por el Departamento de Salud Ambiental y el Recinto de Ciencias Médicas (1993), afirman que el filtro lento de arena provee excelentes resultados en el intento de reducir el problema de crecimiento bacteriano, con un mínimo de esfuerzo para su operación y mantenimiento. Los filtros lento de arena requieren que una persona los limpie con alguna regularidad. La limpieza consiste en remover, lavar y devolver al filtro una capa de arena que puede fluctuar de una a dos pulgadas de espesor.

La Organización Panamericana de la Salud (2000) expone que el filtro lento de arena tiene muchas ventajas como:

1. La reducción en un 99 a 99.9% de las bacterias patógenas responsables de transmitir enfermedades de origen hídrico.
2. La remoción de quistes, huevos de parásitos y larvas de esquistosomas en un 100%.
3. Reducción de virus y material orgánico en un 98%.
4. Reducción de turbiedad y color.
5. Facilidad en su operación y mantenimiento.
6. Pueden construirse a base de tanques metálicos, galvanizados de 208.23 litros (55 galones), tanques de cemento a nivel doméstico o de ladrillo a nivel comunitario.

Una planta de prefiltración y filtración lenta fue diseñada y construida por Román et al (2001) en la comunidad Río Piedras del Sector Caín Alto, en San Germán, Puerto Rico. La planta de purificación de agua consiste de dos prefiltros de flujo horizontal de grava trabajando en paralelo, seguido por dos filtros lentos de arena, también en paralelo. El agua filtrada pasa entonces a una unidad de desinfección con tabletas de cloro, y luego a un tanque de distribución de agua. El sistema entero es alimentado por gravedad, no utiliza electricidad alguna, excepto por las tabletas de cloro para la desinfección. Además, no utiliza otros químicos. La planta de purificación representa lo que es considerado una tecnología apropiada para un ambiente rural. Es muy simple de operar, necesita poca supervisión, y puede operarse por personas entrenadas de la misma comunidad (Román et al 2001).

Al sistema se le efectuaron cuatro pruebas de simulación de campo que fueron realizadas de enero a marzo del 2000. Observaciones rutinarias y análisis fueron realizados desde diciembre de 1999 a junio de 2000. Se realizaron análisis de agua en la entrada y salida de los prefiltros de flujo horizontal de grava y los filtros lentos de arena, así como del tanque de almacenamiento y distribución de agua. Las pruebas de validación de campo han simulado eventos de turbiedad extremos, introduciendo cantidades medidas de sedimentos recolectados del fondo de la fuente de agua cruda de la quebrada Río Piedras, a la entrada de los Prefiltros durante cuatro horas consecutivas. Un total de cuatro corridas de simulación de campo fueron realizadas, con turbiedades promedio en el afluente del Prefiltro de 41.5, 126.69, 415.86, y 30.94 Unidades Nefelométricas de Turbiedad (NTU). Tomaron muestras a tiempo cero, 30, 60, 120, 180, 240, 300 y 360 minutos tanto a la entrada del prefiltro, la entrada del filtro lento de arena, así como a la salida del filtro lento de arena. Además tomaron una muestra al final de

las simulaciones del efluente del tanque de almacenamiento y distribución de agua (Román et al 2001). El Apéndice Tres, muestra el sistema de prefiltros de grava, filtros lentos de arena, desinfección y distribución.

Durante el muestreo, Román et al (2001) observaron una reducción consistente en la densidad de coliformes totales y las densidades de coliformes fecales estaban por debajo de las densidades de coliformes totales. Además, Román et al (2001) recalcan que la inspección y limpieza recurrente del tanque de distribución de agua, la optimización y supervisión adecuadas del proceso de desinfección con tabletas de cloro son absolutamente esencial para la producción consistente de agua potable segura.

Al finalizar el estudio, Román et al (2001) concluyeron que:

1. Las cuatro pruebas de validación de campo demostraron que el prefiltro puede reducir la turbiedad del afluente por un 50-75% a los niveles debajo de 25 NTU para turbiedades del afluente menores de 50 NTU.
2. Aún cuando la turbiedad del afluente es mayor de 50 NTU, y aún cuando el nivel de turbiedad del afluente al filtro lento de arena es mayor de 25 NTU, pudo de forma consistente producir un efluente de 1 NTU ó menor.
3. El prefiltro puede contribuir a reducir los niveles de coliformes totales y coliformes fecales, pero es el filtro lento de arena el que tiene la responsabilidad de bajar los niveles de bacterias a cero o cerca de cero.
4. Los niveles de bacterias que escapan del filtro lento de arena están dentro de la capacidad del clorinador de tabletas de reducir éstos a

cero, siempre y cuando el clorinador se opere adecuadamente y el tanque de distribución de agua se limpie regularmente.

5. Las densidades de coliformes fecales a la salida del filtro lento de arena eran cero la mayoría del tiempo. El clorinador de tabletas no debe tener ningún problema en eliminar aquellos coliformes fecales que escapan del filtro.
6. El prefiltro de flujo horizontal de grava acoplado al filtro de lento arena constituyen la planta de purificación de agua de la Comunidad Río Piedras en el sector Caín Alto en San Germán, Puerto Rico, demostró su capacidad para proporcionar agua de calidad potable o cercana a esta en todo momento, y producirá agua potable en conformidad con los reglamentos federales y estatales siempre y cuando éste sea complementado con un proceso eficaz de desinfección con cloro.
7. El muestreo de campo rutinario y el análisis correspondiente han demostrado que el filtro lento de arena puede producir consistentemente agua potable con una turbiedad menor de 1 NTU y densidades de coliformes totales y fecales a niveles manejables dentro de la capacidad de un sistema de desinfección con tabletas de cloro para reducirlos a cero, cumpliendo así con los estándares de agua potable estatales y federales.
8. Los resultados demuestran que la tecnología de prefiltros horizontales de grava acoplados a filtros lentos de arena, siguen siendo una tecnología apropiada para purificar el agua en comunidades rurales con problemas crónicos de contaminación fecal en su agua potable.

Las recomendaciones de Román et al (2001), las más importantes para este trabajo investigativo son las siguientes: el tanque de distribución de agua debe limpiarse una ó dos veces por año, para prevenir los crecimientos biológicos dentro del tanque que pueden convertirse en una fuente de bacterias en el agua filtrada y las comunidades rurales de Puerto Rico con problemas similares de contaminación fecal crónica en su potable, pueden adoptar esta tecnología para limpiar su agua y proveer a sus residentes agua potable segura.

Vida Útil de un Filtro

Todos los filtros tienen una vida de uso. La vida útil de un filtro varía con las condiciones atmosféricas, lugar, flujo y turbiedad. Un método sencillo de saber si el sistema de filtración requiere reemplazo del medio filtrante, es medir la presión en la entrada y la salida del sistema de filtración. Si ocurre una caída en presión entre la entrada y la salida del filtro, posiblemente el filtro está tapado o la vida útil del filtro terminó. Cuando esto sucede, el filtro debe ser reemplazado o efectuarle un retrolavado. Esto varía con el tipo de filtro que se utilice. Para conocer los alcances de caída de presión de cualquier sistema de filtros, es recomendable hablar con el fabricante. Otra manera de saber cuando se debe reemplazar el medio filtrante es mediante la observación del sistema por un periodo de tiempo determinado y monitorear las variaciones en presión. La tabla 2.02 muestra los tamaños relativos en micrones de algunos contaminantes.

Tabla 2.02. Tamaños Relativos en Micrones de Algunos Contaminantes Comunes de los Sistemas Comunitarios de Agua Superficial (EPA 2003b).

Contaminantes Comunes	Tamaño Relativo en micrones
Arena de Playa	> 100
Pelo Humano	40 – 300
Polen	20 – 200
Polvo de Carbón	1-100
Cryptosporidium	6 – 8
Giardia	9 – 30
Bacteria	0.5 – 50
Humo de Tabaco	0.03 – 1
Virus	0.007 – 0.1
Pesticidas	0.0008 – 0.003
Herbicidas	0.0008 – 0.003
Sal	0.0005 -0.0008
Compuestos de Metales Disueltos	0.0004 – 0.0009

Desinfección

Una vez el agua pasa por el proceso de Filtración, es llevada al proceso de Desinfección. El agua es desinfectada para asegurar que los contaminantes microbianos peligrosos sean eliminados. El cloro, compuestos de cloro, o dióxidos de cloro son agentes de uso común, ya que las concentraciones residuales

pueden ser mantenidas por el sistema de agua (EPA 2003b). Hay métodos de desinfección más recientes como la radiación ultra violeta, ozono y combinación de ambos.

Cloro

El cloro es el método de desinfección preferido por plantas de tratamientos pequeñas. El cloro se está utilizado desde los años 1800 como desinfectante y deodorante. En el 1904 al 1905, fue usado como desinfectante en el agua a consecuencia de una epidemia de tifoidea en Lincoln, Inglaterra (Rodríguez 1996). El cloro generalmente es obtenido en la forma de cloro gas, dióxido de cloro y tabletas de hipoclorito de calcio o hipoclorito de sodio en líquido. Cloro gas y dióxido de cloro son métodos de desinfección comunes en sistemas grandes de agua potable. La mayoría de los sistemas pequeños de agua potable utiliza cloro líquido o cloro de piscina (EPA 2003b). Hay cuatro maneras de monitorear los residuos libres y totales de cloro en sistemas de tratamiento.

La primera prueba es la de Colorimetría N,N-diethyl-p-phenylenediamine. Este método es el más utilizado y es basado en los Estándares de Materiales y Pruebas de la Sociedad Americana (ASTM por sus siglas en inglés). El cloro oxida el N,N-diethyl-p-phenylenediamine para formar dos productos oxidados, siendo uno más oscuro que el otro. La intensidad del color es medida por un colorímetro o un espectrofotómetro. Estos instrumentos de medición muestran el cloro libre y total presente en la muestra. Esta prueba mide el cloro libre y el cloro total (EPA 2003b).

La segunda prueba para medir o monitorear el cloro es el Método Yodométrico. Esta prueba consiste en añadir yoduro de potasio a la muestra de agua para reaccionar con el cloro disponible, formando yodo. Este método no

distingue entre el cloro libre y total. Solamente es usado para monitorear el cloro total (EPA 2003b).

La tercera prueba es la de “Polarographic Membrane Sensor”. Este método tiene un par de electrodos que monitorean el cloro libre. Los electrodos son sumergidos en un electrolito conductivo y separado de la muestra por una membrana permeable de cloro. El cloro libre entra a través de la membrana y es reducido a cloruro en la superficie de los electrodos, generando un flujo de electrones entre ambos electrodos. La corriente generada es proporcional a la concentración del cloro libre.

La cuarta prueba es la de los Electrodo Amperométricos que consiste en la combinación de dos electrodos. El cátodo es de platino, mientras que el ánodo es de plata. Ambos, generan un amperaje midiendo el cloro libre, pH y temperatura. Los electrodos crean una reacción electroquímica con la concentración de cloro disponible generando una corriente proporcional. Este método mide el cloro libre (EPA 2003b).

“SALT Brine Electrolysis Chlorine”

Otro método de desinfección por clorinación para sistemas pequeños de agua es la desinfección por “SALT brine electrolysis chlorine”. La solución de sal (NaCl) junto con la celda electrolítica, forman una solución compuesta principalmente de ácido de hipoclorito de sodio e hipoclorito de sodio. Electrolizando una solución concentrada de sal, genera cloro en el ánodo e hidrógeno, y en el cátodo genera hidróxido de sodio.

Ozono

Ozono es otro de los métodos de desinfección del agua en los Sistemas Comunitarios. Los generadores de ozono producen ozono en forma de gas; el ozono es usado en gas debido a que el gas es inestable y tiene una vida corta. El ozono es un agente oxidante que remueve bacterias en un corto tiempo de exposición. Este sistema debe ser instalado y monitoreado correctamente ya que el ozono es un gas que a concentraciones altas puede oxidar y deteriorar las tuberías, junto con sus componentes de distribución (EPA 2003b). Además, el ozono es un agente esterilizador usado en equipos médicos. Si los operadores del sistema no tienen las debidas precauciones, podrían enfermarse e incluso morir. El método de desinfección por ozono es bastante costoso, comparado con otras tecnologías en el mercado. Una desventaja que tiene este sistema es que a medida que el agua es transportada por el sistema de distribución hacia los hogares, pierde efectividad. Si algún componente o tubería del sistema de distribución sufriera corrosión, podría añadir una carga de contaminantes a los hogares.

El ozono es un desinfectante que no utiliza sustancias químicas para que sea efectivo. La desventaja es que la desinfección residual no es posible. Desinfección residual implica que al ser aplicado un método de desinfección, quedan residuos del desinfectante en el agua y de haber contaminantes en el sistema de distribución, los puede disminuir.

Luz Ultra Violeta

El beneficio de desinfección por luz ultra violeta (“UV Light”) es que no requiere ningún producto químico y es efectivo eliminando el *Cryptosporidium*. Su desventaja es que la desinfección residual no es posible. Una vez el agua es desinfectada, está lista a ser enviada al Sistema de Distribución.

Capítulo Tres

Metodología

Área de Estudio

Los sistemas comunitarios estudiados están localizados en los pueblos de Yabucoa y Las Piedras, Región Este de Puerto Rico. El Municipio de Yabucoa tiene ocho sistemas comunitarios ubicados en: Guayabota, Jácanas Piedra Blanca, Sodoma, Acueducto Rural de Tejas, Calabaza Arriba, Sector el Veinte, Jácanas Piedra Blanca Sepúlveda y Sector las Casas. El Municipio de Las Piedras cuenta con tres Sistemas Comunitarios. Estos están ubicados en la Comunidad Asomante, Comunidad Asomante II y Comunidad Lijas (AAA 2004a).

Los cuatro Sistemas Comunitarios Superficiales estudiados son: Sistema Comunitario Superficial de Guayabota, Sistema Comunitario Superficial de Jácanas 2, Sistema Comunitario Superficial el Veinte y Sistema Comunitario Superficial Lijas.

Descripción de la Población o Muestra

Los cuatro sistemas comunitarios a ser estudiados representan un 4% de los 101 Sistemas Comunitarios Superficiales contabilizados por la Autoridad de Acueducto y Alcantarillado (2004a). La población total servida por los cuatro Sistemas Comunitarios Superficiales es aproximadamente de 4,532 personas (AAA 2004a).

Periodo del Estudio

El estudio está enfocado en el análisis de coliformes totales y turbiedad. Los datos de los cuatro sistemas comunitarios estudiados, fueron recopilados para el periodo de 2000 al 2007.

Fuente de Datos

Durante la preparación de este trabajo investigativo de Sistemas Comunitarios Superficiales, se visitó el Departamento de Salud Ambiental de Puerto Rico, la Agencia de Protección Ambiental, Biblioteca de la Universidad del Turabo, Universidad Interamericana de San Germán (CECIA) y páginas en Internet de diferentes agencias y compañías.

Los datos de coliformes totales y turbiedad de cada uno de los Sistemas Comunitarios Superficiales fueron obtenidos del Departamento de Salud. Otra fuente de dato muy importante es la de Román et al (2001). Estos diseñaron y construyeron una planta de purificación de agua para la comunidad Río Piedras del Sector Caín Alto, en San Germán, Puerto Rico. En este caso, necesitaban adoptar una tecnología de tratamiento que fuese apropiada para un entorno rural, que requiriese de poca supervisión y destreza de parte de los operadores, y que fuese económica y sencilla. La tecnología optada por ellos consistía de un Prefiltro Horizontal de Grava, acoplado a un Filtro Lento de Arena, los cuales han sido utilizados exitosamente para estos propósitos en comunidades de Asia, África y Latinoamérica (ENSIC, 1990).

Metodología del Trabajo Investigativo

Para seleccionar los Sistemas Comunitarios en este trabajo investigativo de Optimización de Sistemas de Agua Potable Comunitarios; Propuesta Técnica, se hizo un análisis minucioso de todos los Sistemas Comunitarios listados en el documento de AAA (2004a). El primer criterio utilizado fue el tipo de fuente de abastecimiento. Todos los Sistemas Comunitarios seleccionados son superficiales. El segundo criterio utilizado fue la cantidad de Sistemas Comunitarios a ser estudiados. Se tomaron en consideración cuatro Sistemas Comunitarios, ya que la mayoría de los sistemas son similares. Con los cuatro sistemas, podemos

hacer una extrapolación que aplique a cualquier sistema superficial. El tercer criterio fue la similitud entre los cuatro sistemas. Las similitudes consideradas para los cuatro sistemas fueron: presupuesto anual y la localización. El presupuesto de los sistemas tenía que estar cerca de los \$5,000, ya que muchos de los sistemas generaban un presupuesto similar. Los cuatro Sistemas Comunitarios Superficiales están localizados en el Área Este, específicamente en los pueblos de Las Piedras y Yabucoa.

Para poder extrapolar los hallazgos de esta investigación, se tenía que seleccionar Sistemas Comunitarios con características especiales que cubran todos los Sistemas Comunitarios Superficiales en Puerto Rico. Se seleccionó un sistema que cumplió con los requerimientos mínimos de operación del estudio de la AAA (2004); este era el Sistema Comunitario de Guayabota.

El otro sistema seleccionado fue el Sistema Comunitario Lijas. Este sistema no cumple con el mínimo aceptable de operación según el estudio de AAA (2004a) y tiene una orden administrativa al igual que el Sistema Comunitario de Guayabota. El sistema se tomó en consideración, ya que tiene dos filtros de arena en operación. Al ser la filtración por arena uno de los métodos de filtración más sencillo y económicos, el sistema fue seleccionado como control.

Por último, se seleccionaron dos Sistemas Comunitarios Superficiales que no cumplieran con los requerimientos establecidos por el Departamento de Salud Ambiental de Puerto Rico y la Agencia de Protección Ambiental. En este caso, se tomó en consideración los Sistemas Comunitarios Jácanas 2 y El Veinte. Ambos sistemas tienen órdenes administrativas de la EPA.

Como parte de la metodología, se visitó cada Sistema Comunitario Superficial (Comunidad Lijas, Comunidad Guayabota, Sector el Veinte y Comunidad Jácanas 2), con el propósito de documentar el estado físico y

operacional de cada Sistema. Esto incluyó documentación visual (fotos) y escrita; diseño del Sistema Comunitario, condiciones de planta física del Sistema Comunitario y mantenimiento e instrumentos utilizados para cumplir con los estándares de turbiedad y coliformes.

Con la data obtenida, se contestaron las preguntas generadas al comienzo de la investigación y se explicó, si la hipótesis fue aceptada. Finalmente se recomendó una alternativa de filtración y desinfección costo efectiva que podrá ser implementada con un presupuesto menor de \$5,000 dólares. De esta manera podrán garantizar la salud de todos los consumidores, cumpliendo con las leyes estatales y federales de agua limpia. Como parte de la investigación, no se tomaron muestras de turbiedad y coliformes, ya que el Departamento de Salud cuenta con estos análisis.

Todos los métodos de filtración y desinfección fueron seleccionados en base a su precio, tiempo de implementación, mantenimiento, efectividad, complejidad y durabilidad.

3.01. Sistema Comunitario Superficial de Guayabota

El Sistema Comunitario Superficial de Guayabota está localizado en el Municipio de Yabucoa. Este sistema tiene una orden administrativa de la EPA por no filtrar sus aguas. Según el estudio de AAA (2004a), este sistema fue catalogado como mínimo aceptable en operación lo que significa que cumple con los requerimientos mínimos para mantener operando un sistema comunitario; pero requiere mejoras en prácticas de mantenimiento y operación. La Comunidad no le interesa conectarse a la Autoridad de Acueducto y Alcantarillados de Puerto Rico. El sistema cuenta con un presupuesto menor de \$19,500 dólares al año, le provee agua potable a una población aproximada de 2,520 personas, equivalente a 630 familias y cuenta con una capacidad de 234,732 litros/día (62,000 galones/día).

En el estudio AAA (2004b), se evaluó el sistema el cual tiene dos cloradores de tabletas de hipoclorito de calcio marca Aquaward (145 libras al mes) y un clorador que no está en uso; el sistema no tiene filtración. Como parte de la investigación, en los procesos de tratamiento de agua superficial se identificaron todos los componentes del sistema y su condición al momento de la evaluación. El sistema cuenta con dos represas, desinfección por dos cloradores de tabletas, dos tanques de distribución y las condiciones de cada componente fueron catalogados como regulares. Además, tienen un pozo en condición regular, desinfección por un clorador en condición mala y un tanque de distribución en condición buena. Aunque el sistema tiene pozo, no está en operación, ya que el olor que emana del pozo no es agradable, no tienen permiso del Departamento de Recursos Naturales Ambientales y se le extraviaron los documentos de construcción del mismo. En las facilidades y equipos de pruebas, solamente cuentan con equipo para medir el residual de cloro. En archivos y control de proceso cuentan con bitácoras. No se identificaron fuentes potenciales de contaminación para el sistema. El operador trabaja de 30-50 horas por semana, no cuenta con la certificación de operador, ni tiene los adiestramientos necesarios. Sus conocimientos fueron adquiridos por experiencia. La directiva se reúnen con regularidad, están bien organizados y tienen su propia oficina y almacén (AAA 2004b).

Los estimados de costos para la operación y mantenimiento del sistema fueron de \$12,400.00. La tabla 3.01 desglosa detalladamente los costos de cada implementación de cada medida.

Tabla 3.01. Estimados de Costos para Medidas Necesarias de Operación y Mantenimiento del Sistema Comunitario Superficial de Guayabota (AAA 2004b).

Descripción de Medida	Estimado
Recolección Datos de Lluvia	\$200.00
Procedimiento Mantenimiento Represa	\$1,500.00
Desarrollo Itinerario Mantenimiento Represa	\$250.00
Desarrollo Control Proceso	\$2000.00
Desarrollo Manual Operación y Mantenimiento	\$2,500.00
Mejoras Instrumentación de Campo	\$500.00
Adiestramiento – Tres Personas	\$1,500.00
Certificación – Tres Personas	\$750.00
Desarrollo “Right to Know”	\$500.00
Plan Mantenimiento Red de Distribución	\$300.00
Proceso Contabilizar Consumos	\$2,000.00
Registro Trabajos de Red	\$200.00
Procedimientos Desagüe en la Red	\$200.00
Total	\$12,400.00

3.02. Sistema Comunitario Superficial de Jácanas 2

El sistema de Jácanas 2, está localizado en el pueblo de Yabucoa y le provee agua potable a una población aproximada de 800 personas, equivalente a 155 familias y cuenta con una capacidad de 354,370 litros/día (93,600 galones/día) (AAA 2004a). Tienen entrenamiento para operar el Sistema

Comunitario; operador mantiene el sistema 7 horas a la semana. Según el estudio de AAA (2004a), la Comunidad de Jácanas 2 no le interesa conectarse a la Autoridad de Acueducto y Alcantarillados de Puerto Rico. Este sistema fue catalogado como deficiente en operación y cuenta con un presupuesto de \$5,000 dólares al año.

3.03. Sistema Comunitario Superficial el Veinte

El sistema comunitario el Veinte, está localizado en el pueblo de Yabucoa y le provee agua potable a una población aproximada de 592 personas, equivalente a 140 familias y cuenta con una capacidad de 248,059 litros/día (65,520 galones/día) (AAA 2004a). Tienen entrenamiento para operar el Sistema Comunitario, operador mantiene el sistema 8 horas a la semana. Según el estudio de AAA (2004a), el Sector el Veinte no le interesa conectarse a la Autoridad de Acueducto y Alcantarillados de Puerto Rico. Este sistema fue catalogado como deficiente en operación y cuenta con un presupuesto de \$7,000 dólares al año.

Los Sistemas Comunitarios Superficiales Guayabota, Jácanas 2 y el Veinte están bajo una orden administrativa, ya que no instalaron un sistema de filtración para el 29 de junio del 1993, estando en violación con el 40 CFR 141.73. Al no instalar un sistema de filtración, las partes demandadas incurrieron en violaciones a las técnicas de tratamiento, según el 40 CFR 141.71 (C) (1). De no cumplir con los requerimientos de filtración bajo el 40 CFR 141.73 y con los requisitos de desinfección bajo el 40 CFR 141.72 (b) a la fecha de efectividad de las órdenes, tendrán que eliminar las fuentes de aguas superficiales (EPA 2007a, b).

3.04. Sistema Comunitario Superficial Lijas

El sistema comunitario Lijas está localizado en el pueblo de Las Piedras; es el único sistema superficial en este municipio y opera con tres represas que proveen agua superficial a la comunidad (AAA 2004c). El sistema de Comunidad

Lijas tiene una orden administrativa de la EPA. Según el estudio de AAA (2004a), este sistema fue catalogado como deficiente en operación, cuenta con un presupuesto de \$5,000 dólares al año, le provee agua potable a una población aproximada de 620 personas, equivalente a 155 familias y cuenta con una capacidad de 274,636 litros/día (72,540 galones/día). Según el estudio de AAA (2004a), la Comunidad de Lijas no le interesa conectarse a la Autoridad de Acueducto y Alcantarillados de Puerto Rico.

En el estudio AAA (2004c), se evaluó el sistema el cual tiene dos filtros de arena y un clorador de tabletas de hipoclorito de calcio marca Aquaward (3 por día). La evaluación efectuada, muestra que la red de distribución transporta el agua de forma eficiente, el área del tanque de distribución está cercada, sus alrededores están limpios, las estructuras están en buenas condiciones (filtros, el sistema de desinfección y el tanque), el tanque se le da mantenimiento periódicamente, el Departamento de Salud realiza pruebas rutinariamente, el encargado del sistema hace solo pruebas de cloro residual y el sistema no cuenta con las facilidades ni el equipo necesario para realizar las pruebas de control de procesos.

Dentro de las recomendaciones de Operación y Mantenimiento del estudio, mencionan la viabilidad de sustituir la fuente superficial de agua por subterráneas.

Otras recomendaciones son:

1. En la fuente de abasto:
 - a. Recolectar información precipitación
 - b. Medir consumo agua cruda
 - c. Implementar protección de cuenca
 - d. Mejorar seguridad de represa
 - e. Mejorar acceso a la represa

- f. Desarrollo de procedimiento de mantenimiento y limpieza
- g. Desarrollo de itinerario de mantenimiento y limpieza

2. Tratamiento del agua:

- a. Mejorar filtración
- b. Desarrollar control de proceso
- c. Desarrollar Manual de O&M
- d. Mejorar sistema de monitoreo
- e. Compra y utilización de instrumentos de campo análisis
- f. Proveer adiestramiento al personal en O&M
- g. Certificación de operadores o encargados
- h. "Right to Know" si usan productos químicos
- i. Medición de agua tratada
- j. Instalar puntos de muestreo en el proceso
- k. Utilización de bitácora
- l. Utilización de hoja de operación diaria

3. Muestreo & Laboratorio

- a. Adiestramiento en pruebas de control de proceso
- b. Adiestramiento de pruebas reglamentarias
- c. Desarrollo de programa de notificación a consumidores

4. Distribución

- a. Desarrollar Plan de mantenimiento rutinario de la red
- b. Instalación de contadores o metros de agua
- c. Eliminar puntos muertos en la red
- d. Llevar contabilidad de consumos de agua & balance
- e. Instalación de refuerzo de cloro en la red
- f. Desarrollar registro de archivo de trabajos en la red

- g. Desarrollo de archivo por cliente
- h. Instalación de hidrantes en la red
- i. Desarrollo de procedimiento de desagüe de red

Como parte de la investigación, en los procesos de tratamiento de agua superficial se identificaron todos los componentes del sistema y su condición al momento de la evaluación. El sistema cuenta con tres represas, desinfección de clorador por tabletas, dos filtros de arena, tanque de distribución y las condiciones de cada componente fueron catalogadas como buenas. En las facilidades y equipos de pruebas, solamente cuentan con equipo para medir el residual de cloro. No se identificaron fuentes potenciales de contaminación para el sistema. El operador trabaja 14 horas por semana, no cuenta con la certificación de operador, ni tiene los adiestramientos necesarios. Sus conocimientos fueron adquiridos por experiencia. La directiva está compuesta por diez personas que se reúnen con regularidad para discutir los asuntos relacionados con el sistema de agua (AAA 2004c).

En base a la experiencia de las personas que efectuaron la investigación, determinaron que el sistema no está siendo operado adecuadamente por la falta de entrenamiento y registros, el alto nivel de turbiedad observado y que no existe una conciencia clara de los riesgos que representa el uso de agua con tratamiento inadecuado. En el muestreo de septiembre de 2003 por el Departamento de Salud Ambiental de Puerto Rico, evidenciaron que no cumplen con los criterios bacteriológicos, tenían un pH de 8.2, una turbiedad de 7.07, cloro residual de 1.4, aluminio 2.8, hierro 3.4, manganeso 0.17 y temperatura de 22 grados C.

Las recomendaciones a corto plazo fueron:

1. Asegurarse que se aplique cloro consistentemente

2. Asegurarse que se provea mantenimiento a los filtros con regularidad
3. Implementar un plan de mantenimiento y acondicionamiento a otros componentes del sistema.
4. Proveer adiestramiento básico a los encargados del sistema para que entiendan la operación y la importancia de mantener documentación pertinente.
5. Proveer los instrumentos de laboratorios necesarios para pruebas de campo (ej., cloro residual, pH)

Los estimados de costos para la operación y mantenimiento del sistema fueron de \$12,200.00. La tabla 3.02 desglosa detalladamente los costos de implantación de cada medida.

Tabla 3.02. Estimados de Costos para Medidas Necesarias de Operación y Mantenimiento del Sistema Comunitario Superficial de Lijas (AAA 2004c).

Descripción de Medida	Estimado
Datos Precipitación	\$500.00
Procedimiento Mantenimiento Represa	\$1,500.00
Desarrollo Itinerario Mantenimiento Represa	\$250.00
Desarrollo Control Proceso	\$1000.00
Desarrollar Manual Operación y Mantenimiento	\$2,500.00
Mejoras Instrumentación de Campo	\$500.00
Adiestramiento – Tres Personas	\$1,500.00

Tabla 3.02., continuación

Certificación – Tres Personas	\$750.00
Desarrollo “Right to Know”	\$500.00
Plan Mantenimiento Red de Distribución	\$300.00
Proceso Contabilizar Consumos	\$2,000.00
Registro Trabajos de Red	\$200.00
Procedimientos Desagüe en la Red	\$200.00
Misceláneos Adicionales: Bitácoras, etc.	\$500.00
Total	\$12,200.00

Debido a sus mecanismos de operación y estado físico, podremos conocer cual tipo de sistema de filtración y desinfección será mejor utilizar para cumplir con lo estipulado en las leyes, reglamentos y órdenes administrativas para filtración, niveles máximos de coliformes y turbiedad.

Capítulo Cuatro

Resultados

Introducción

Este capítulo muestra los resultados de bacteriología del Informe de Confianza de Calidad de Agua al Consumidor y de turbiedad para el Sistema Comunitario de Guayabota, Sistema Comunitario Jácanas 2, Sistema Comunitario El Veinte y Sistema Comunitario Lijas, realizadas por el Departamento de Salud de Puerto Rico para el periodo 2000 al 2007.

4.01. Sistema Comunitario Superficial de Guayabota

El 10 de febrero de 2008 se realizó una visita de campo donde se recorrió todo el Sistema Comunitario de Guayabota. El propósito era estudiar el estado físico y operacional del sistema. En la actualidad, el sistema cuenta con dos represas y dos pozos. La represa #1 tiene un tanque de distribución de 92,010 litros (24,302.61 galones) de agua, un medidor de flujo y un clorador de tabletas. La represa #2 cuenta un tanque de distribución de 16,770 litros (4,429.47 galones) de agua y un clorador de tabletas. El pozo #1 es un pozo profundo de 94.48 metros (310 pies) de profundidad que cuenta con una bomba sumergible de 5.6 KW (7.5 hp), un tanque de distribución de 265,020 litros (70,000 galones) de agua y un clorador por tabletas. El pozo #2 es un pozo profundo de 121.91 metros (400 pies) de profundidad que cuenta con una bomba sumergible de 10.82 KW (14.5 hp), un tanque de distribución de 75,720 litros (20,000 galones) de agua con cloro líquido. Este pozo aún no está en operación. Aunque este sistema es abastecido por agua superficial, no cuenta con ningún tipo de filtración. La Figura 4.01 muestra el Diagrama del Sistema Comunitario de Guayabota.

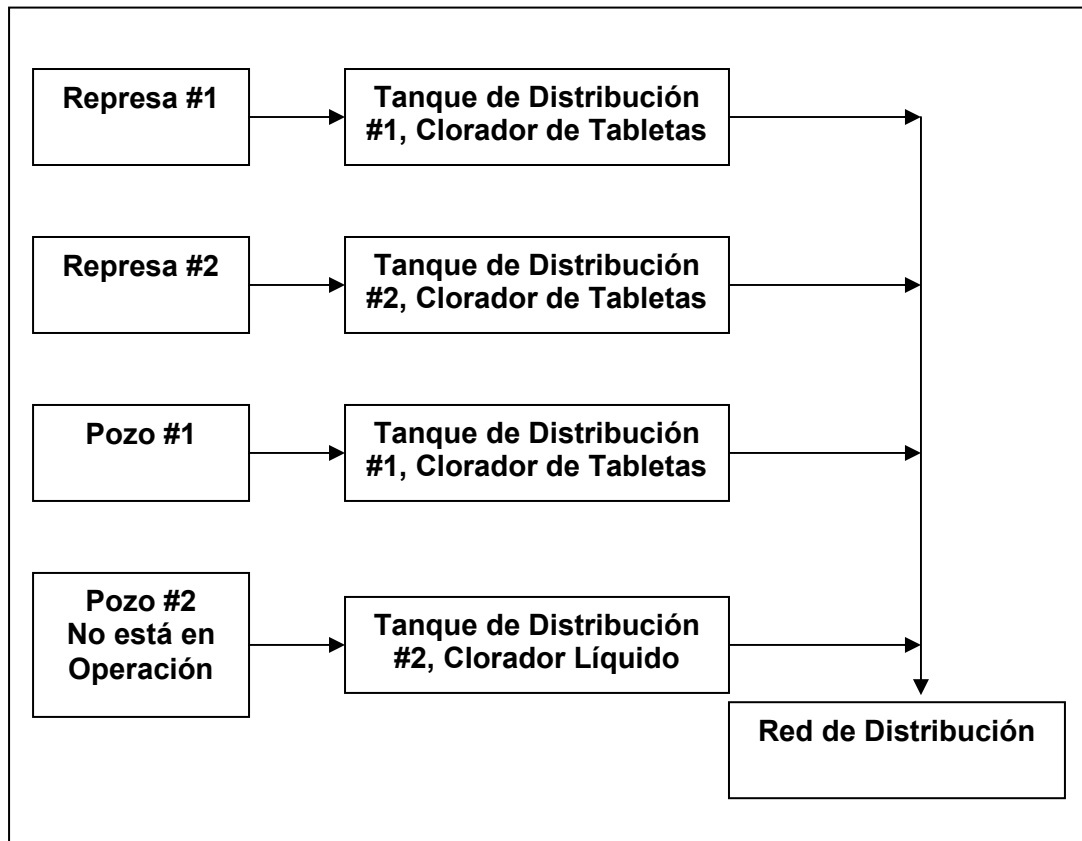


Figura 4.01. Sistema de Distribución de Agua de Guayabota.

El agua superficial usada en el Sistema Comunitario de Guayabota tiene capacidad de 333.2 litros por minuto (88 gpm) aproximadamente sin contar el pozo #2 que no está en operación. La capacidad de litros o galones por minuto fue calculada, tomando los datos del estudio de la Autoridad de Acueducto y Alcantarillados (2004b) y un documento proveído por el Sistema Comunitario de Guayabota, donde detalla la capacidad de extracción del pozo #1. Todos los mantenimientos del sistema, como cantidad de tabletas depositadas en cada clorador, concentración en mg/L de cloro residual de cada tanque (diario), arreglos al sistema, mejoras, cotizaciones y otros, se encuentran bien documentado. Cuentan con un Reglamento General, un Plan General Administrativo, Documento de Funciones del Operador del sistema y una oficina. Además, tienen un operador

certificado por el Departamento de Salud. La cuota por cada familia es de \$60 dólares anuales y anualmente redactan un estado de cuenta donde detallan los gastos operacionales, de mantenimiento, misceláneos y el balance disponible al momento de redactar el estado.

La primera estación que se visitó fue el pozo #2, el cual no está en operación (Figura 4.02). Este se encuentra bien rotulado. El tanque del pozo #2 está terminado pero no tiene aún el sistema de cloro líquido.

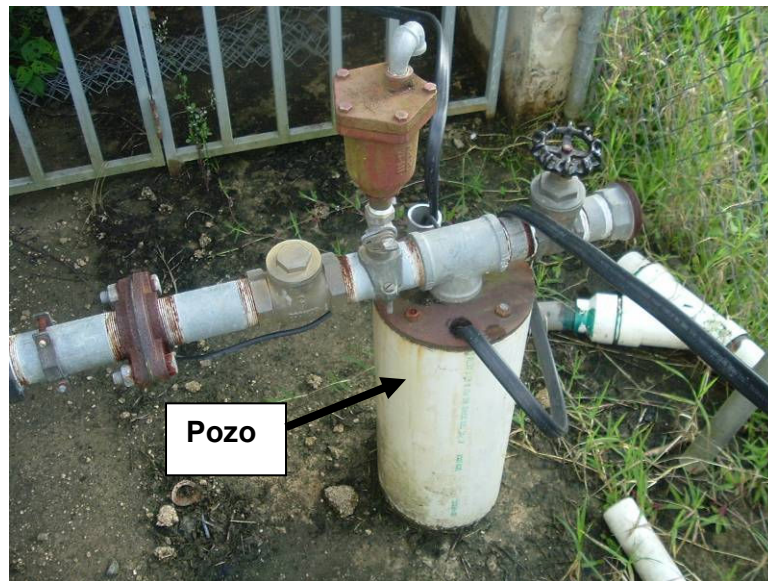


Figura 4.02. Pozo #2 – Comunidad Guayabota, Yabucoa.

Luego se visitó la estación superficial #2, donde el tanque de distribución se encuentra en buenas condiciones y bien rotulado. El clorador de tabletas está en buenas condiciones y la represa #2 debe ser mejorada, ya que tiene una sola malla de retención y la represa se encuentra susceptible a las condiciones del tiempo como crecidas, escorrentías, sedimentos, y otros (Figura 4.03).



Figura 4.03. Represa #2 – Comunidad Guayabota, Yabucoa.

De igual manera, el tanque de distribución de la estación superficial #1 se encuentra en buenas condiciones y bien rotulado, junto con su clorador de tabletas. La represa #2 debe ser mejorada, ya que tiene una sola malla de retención y la represa se encuentra susceptible a las condiciones del tiempo (Figura 4.04).



Figura 4.04. Represa #1 – Comunidad Guayabota, Yabucoa.

El tanque del pozo #1 fue construido en el 1996 y comenzó a operar en el 2007. Tanto el pozo como el tanque, se encuentran bien rotulados. En la parte superior del tanque se encuentra el clorador de tabletas que se encuentra en buen estado (Figura 4.05).

El Sistema Comunitario cuenta con una oficina para atender todo lo relacionado al sistema; esto incluye administración, mantenimiento, querellas, público en general y misceláneos. El sistema cuenta con una secretaria con horario fijo y un empleado para mantenimiento. Además, utilizan los servicios profesionales de un licenciado, un contable, un electricista y un plomero (Figura 4.06).



Figura 4.05. Tanque del Pozo #1 – Comunidad Guayabota, Yabucoa.



Figura 4.06. Oficina – Comunidad Guayabota, Yabucoa.

Este muestreo de bacteriología está disponible en el Informe de Confianza de Calidad de Agua para el Consumidor del Departamento de Salud para los años 2000 al 2007 (Figura 4.07).

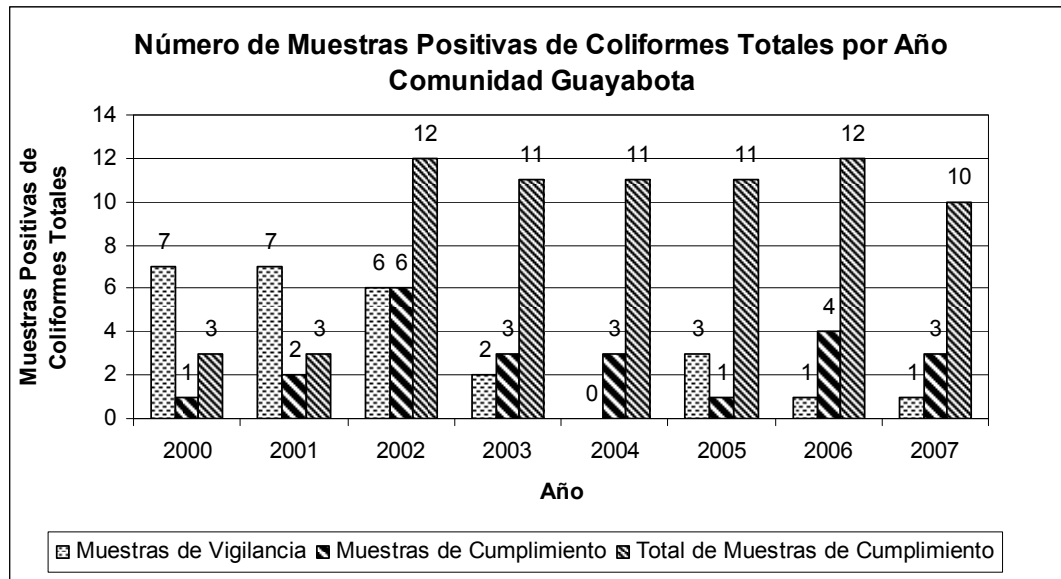


Figura 4.07. Número de Muestras Positivas de Coliformes Totales por Año en el Sistema Comunitario Guayabota.

Esta gráfica de barras resume el número de muestras positivas de coliformes totales por año en muestras de vigilancia y muestras de cumplimiento. Como muestra la gráfica, en todos los años de estudio aparecen muestras de cumplimiento positivas a coliformes totales. Este sistema ha realizado muestras de cumplimiento en todos los años. Desde el 2002 hasta el 2007 han realizado como mínimo, 10 muestras al año; estando en violación por no muestrear una dos veces en el año 2007. Los muestreos de vigilancia y cumplimiento son realizados una vez al mes, resultando los años 2000 y 2001 con la mayor cantidad de muestras de vigilancia positivas (7 muestras positivas de 10 muestras realizadas por cada año). Esto quiere decir que hubo un 70% de muestras de vigilancia

positivas. Durante los años 2003 al 2007 se observa una reducción de muestras de vigilancia positiva, aunque en estos casos muestrearon menos que los años 2000 al 2002. El Departamento de Salud está realizando las muestras de vigilancia cada tres meses (aproximadamente), en sistemas que no proveen agua a escuelas. El Departamento de Salud realiza pruebas de vigilancia mensualmente a sistemas comunitarios que proveen agua potable a escuelas. El Departamento de Salud está realizando este muestreo desde hace varios años; ya que se le exige a los sistemas comunitarios realizar las muestras de cumplimiento. Ese es uno de los motivos por los cuales en esta gráfica y las gráficas de Muestras Positivas de Coliformes Totales Por Año de los otros sistemas comunitarios a continuación, muestran una baja en el nivel de muestreo.

En el caso de las muestras de cumplimiento se observa que la cantidad de positivos para los años 2000 al 2007 se mantiene cerca de 3 muestras. Aunque en todos los años estudiados se observa que hubo positivos a coliformes totales, se puede apreciar una reducción marcada en el año 2003 al 2007. Sumando el número de muestras de vigilancia y de cumplimiento realizadas en el periodo 2000 al 2007, el resultado fue de 124 muestras realizadas, de las cuales 50 muestras (vigilancia y cumplimiento) resultaron positivas. Esto resulta en un 40.32% de muestras positivas durante el periodo 2000 al 2007. Durante el periodo 2000 al 2002 se realizaron un total de 48 muestras de las cuales 29 muestras resultaron positivas. Esto representa un 60.42 % de muestras positivas durante el 2000 al 2002. Del 2003 al 2007 se realizaron un total de 76 muestras, de las cuales 21 resultaron positivas a coliformes totales. Esto resulta en un 27.63% de muestras positivas. Si dividimos esta gráfica en los dos periodos antes mencionados (2000 al 2002 y 2003 al 2007) podemos concluir que el sistema comunitario de Guayabota mejoró considerablemente el problema de coliformes totales

reduciéndolos en un 32.79 % de muestras positivas. El nivel meta de coliformes totales es de cero y el método de análisis que utiliza el Departamento de Salud para detectar la presencia o ausencia de coliformes totales es PA-Colilert.

La Figura 4.08 ilustra la Turbiedad por Año en el Sistema Comunitario de Guayabota. Este muestreo de turbiedad está disponible en el Departamento de Salud para los años 2000 al 2007.

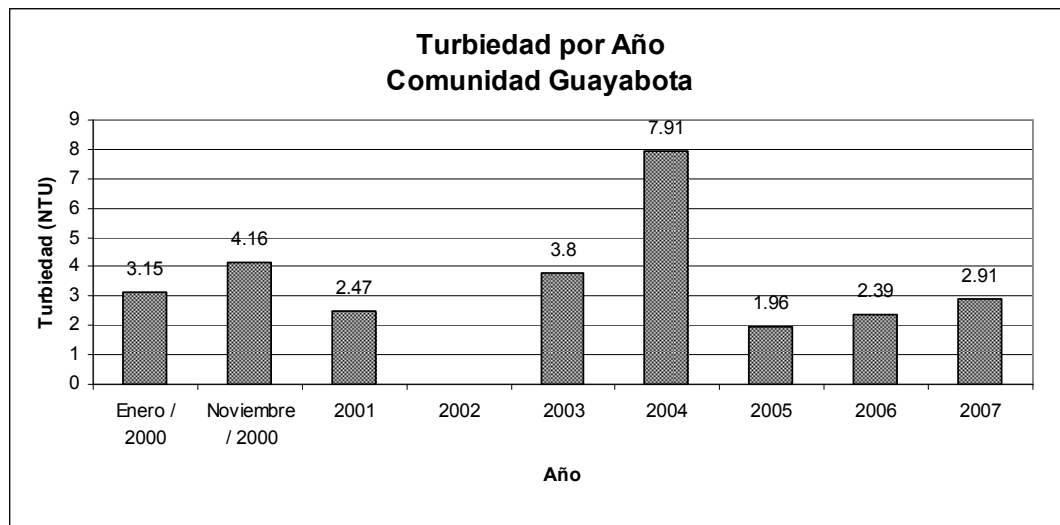


Figura 4.08. Turbiedad por Año en el Sistema Comunitario Guayabota.

Esta gráfica de barras resume la turbiedad por año en muestras de campo realizadas por el Departamento de Salud. Los resultados fueron obtenidos desde el año 2000 al 2007; a excepción del año 2002, que no se tomó muestra. La turbiedad menor ocurrió en el año 2005 con 1.90 NTU y la turbiedad mayor ocurrió en el año 2004 con 7.91 NTU. El promedio de turbiedad obtenido en las 8 muestras fue de 3.60 NTU. El nivel máximo de turbiedad permitido por EPA y el Departamento de Salud es 0.3 NTU. Al estudiar la gráfica se puede observar que el sistema necesita filtrar su agua potable, aunque los valores de turbiedad del 2005 al 2007, no exceden los 3.0 NTU.

Resumiendo la visita al Sistema Comunitario Superficial de Guayabota, este se encuentra muy bien organizado, todo mantenimiento y actividad (compra, mejoras, etc.) se encuentra documentada. Este sistema no cumple con los niveles de turbiedad, debido a que no cuentan con un sistema de filtración y necesitan mejorar las represas de agua superficial. El sistema construyó un segundo pozo para suplir la demanda de la comunidad y cuando esté en operación, piensan dejar de utilizar el agua superficial y utilizar solamente el agua subterránea. Claro está, el dejar de usar agua superficial es un objetivo que tiene el sistema para eliminar la Orden Administrativa emitida por la EPA.

4.02. Sistema Comunitario Superficial de Jácanas 2

El 21 de febrero de 2008 se realizó una visita de campo donde se recorrió todo el Sistema Comunitario de Jácanas 2. El propósito era estudiar el estado físico y operacional del sistema. En la actualidad, el sistema cuenta con una represa. La represa tiene un tanque de distribución de 58,395 litros (15,424 galones) de agua junto con una bomba sumergible de aproximadamente 7.46 KW (10 hp), una toma de energía eléctrica y un clorador de tabletas. Además, cuenta con otro tanque de 88,967 litros (23,499 galones) que es utilizado para almacenar el agua que no es consumida. Cuando la demanda aumenta o hay poca agua, este tanque provee agua. La Figura 4.09 muestra el Diagrama del Sistema Comunitario de Jácanas 2.

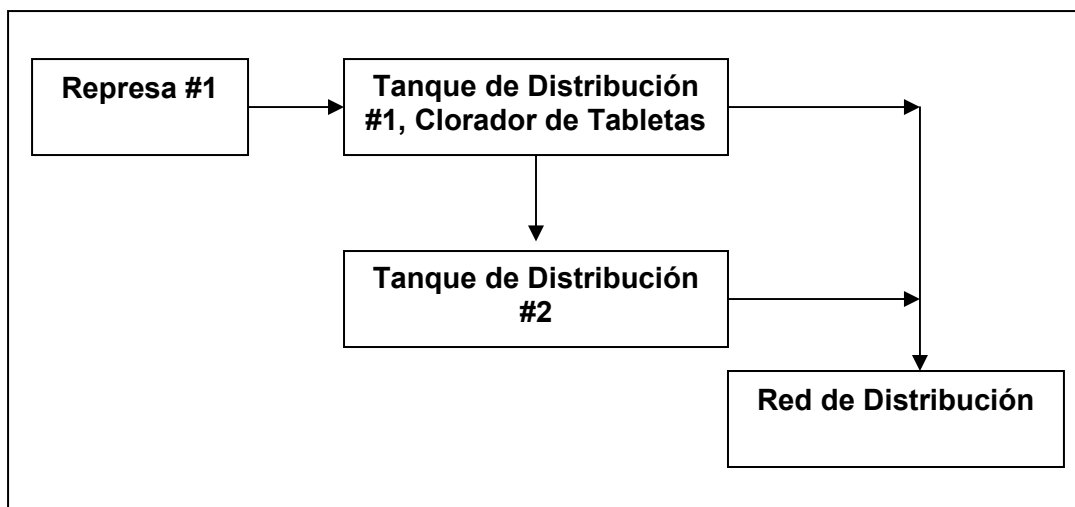


Figura 4.09. Sistema de Distribución de Agua de Jácanas 2.

El Sistema Comunitario de Jácanas 2 tiene una capacidad de 246.1 litros por minuto (65 gpm) aproximadamente. La capacidad de litros o galones por minuto fue calculada, tomando los datos del estudio de la Autoridad de Acueducto y Alcantarillados (2004a). Muestran la concentración en mg/L de cloro residual diariamente y el Departamento de Salud realiza las muestras de vigilancia cada tres meses. Además, tienen dos operadores certificados por el Departamento de Salud. Tienen contadores de agua que usan para medir el consumo de los hogares. Cada tres meses la comunidad se reúne.

Se visitó la represa, donde el tanque de distribución #1 se encuentra. Esta se observa operando sin problemas (Figura 4.10). El clorador de tabletas está en buenas condiciones y la represa debe ser mejorada; aunque la forma en que se encuentra la represa trabajando evita que el particulado grande entre al sistema. La entrada de la toma de agua en la represa tiene dos tubos de PVC perforados con muchos orificios pequeños que trabajan como una especie de filtro y la represa en la superficie es tapada con planchas de zinc (Figura 4.11).



Figura 4.10. Tanque de Distribución – Comunidad Jácanas 2, Yabucoa.



Figura 4.11. Represa – Comunidad Jácanas 2, Yabucoa.

La Figura 4.12 ilustra el Número de Muestras Positivas de Coliformes Totales por Año en el Sistema Comunitario Jácanas 2. Este muestreo de bacteriología está disponible en el Informe de Confianza de Calidad de Agua para el Consumidor del Departamento de Salud para los años 2000 al 2007.

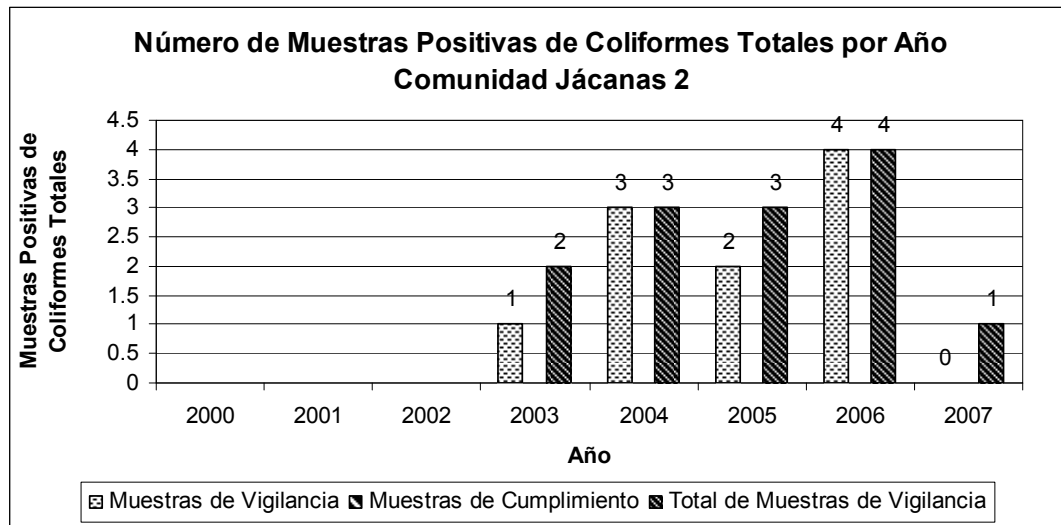


Figura 4.12. Número de Muestras Positivas de Coliformes Totales por Año en el Sistema Comunitario Jácanas 2.

Esta gráfica de barras resume el número de muestras positivas de coliformes totales por año en muestras de vigilancia y muestras de cumplimiento. La gráfica muestra que este sistema no ha realizado muestras de cumplimiento del año 2000 al 2007 estando en violación por no muestrear. Desde el 2003 hasta el 2007 han realizado un máximo de 4 muestras de vigilancia por año. Los muestreos de vigilancia y cumplimiento son realizados una vez al mes, resultando los años 2004, 2005 y 2006 con la mayor cantidad de muestras de vigilancia positivas. En el año 2007 no hubo positivos a coliformes totales en las muestras de vigilancia, solamente tomaron una muestra en ese año. Sumando el número de muestras realizadas en el periodo 2000 al 2007, el resultado fue de 13

muestras tomadas, de las cuales 10 muestras (vigilancia) resultaron positivas. Esto resulta en un 77.00 % de muestras positivas durante el periodo 2000 al 2007. El nivel meta de coliformes totales es de cero y el método de análisis que utiliza el Departamento de Salud para detectar la presencia o ausencia de coliformes totales es PA-Colilert.

La Figura 4.13 ilustra la Turbiedad por Año en el Sistema Comunitario de Jácanas 2. Este muestreo de turbiedad está disponible en el Departamento de Salud para los años 2000 al 2007.

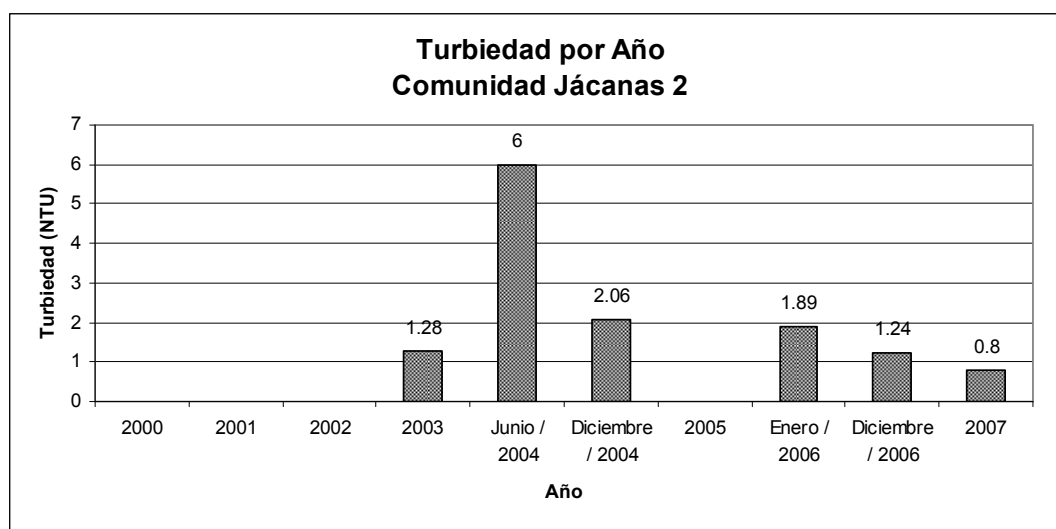


Figura 4.13. Turbiedad por Año en el Sistema Comunitario Jácanas 2.

Esta gráfica de barras resume la turbiedad por año en muestras de campo realizadas por el Departamento de Salud. Los resultados fueron obtenidos desde el año 2000 al 2007; a excepción de los años 2000, 2001, 2002 y 2005 que no se tomaron muestra. En los años 2003, enero/2006, diciembre/2006 y 2007, la turbiedad no excedió los 2 NTU. En junio/2004 se puede observar que hubo un evento de lluvia y escorrentías, ya que la turbiedad en ese momento resultó ser 6 NTU. Tomando en consideración las demás muestras, se puede observar que a

medida que pasa el tiempo la turbiedad va disminuyendo. Esto lo demuestra la muestra realizada en el 2007, donde el valor de la turbiedad fue de 0.8NTU. El promedio de turbiedad obtenido en las 6 muestras fue de 2.21 NTU. Al estudiar la gráfica se puede observar que el sistema necesita filtrar su agua potable, aunque los valores de turbiedad de diciembre/2004 al 2007, no exceden los 2.1 NTU. Aunque no se tiene suficiente datos de turbiedad y el sistema no cumple con el nivel máximo de turbiedad de 0.3 NTU; el sistema mantiene un nivel bajo de turbiedad.

Resumiendo la visita al Sistema Comunitario Superficial de Jácanas 2, este se encuentra en buen estado, limpian la represa aproximadamente 4 días a la semana. Este sistema no cumple con los niveles de turbiedad, ni de coliformes totales debido a que no cuentan con un sistema de filtración, no están realizando muestras de cumplimiento y necesitan mejorar la represa de agua superficial en la entrada, aunque los tubos con orificios en la salida de la represa (Figura 4.11), han mantenido los niveles de turbiedad bajitos. Un sistema de filtración eliminaría el problema de turbiedad y de coliformes totales. El sistema con el tiempo piensan eliminar el agua superficial y utilizar el agua subterránea, hincando un pozo.

4.03. Sistema Comunitario Superficial el Veinte

El 23 de febrero de 2008 se realizó una visita de campo al presidente del sistema comunitario para ver el estado en que se encuentra el sistema. El propósito era estudiar el estado físico y operacional del sistema. En la actualidad, el sistema cuenta con una represa. La represa tiene un tanque de distribución de 65,244 litros (17,233 galones) de agua y un clorador de tabletas. Este tanque fue construido para el año 1999, ya que el que estaba anteriormente se encontraba en pésimas condiciones. La salida del tanque de distribución se encuentra a cerca de un pie del fondo para evitar que la sedimentación entre al sistema de distribución y

los hogares. Están gestionando la franquicia del Departamento de Recursos Naturales de Puerto Rico por los cuerpos de agua superficiales. La Figura 4.14 muestra el Diagrama del Sistema Comunitario del Sector El Veinte.

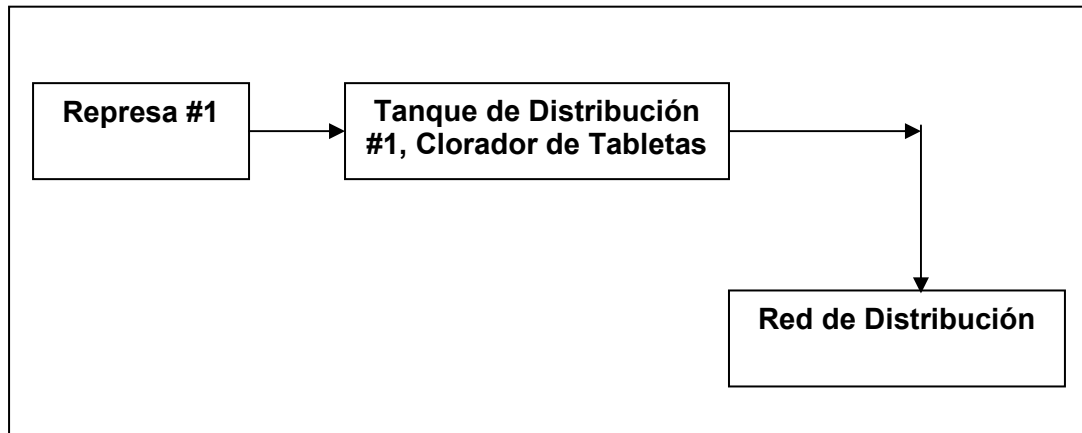


Figura 4.14. Sistema de Distribución de Agua del Sector El Veinte.

La represa del Sistema Comunitario del Sector El Veinte tiene una capacidad de 172.3 litros por minuto (45.5 gpm) aproximadamente. La capacidad de litros o galones por minuto fue calculada, tomando los datos del estudio de la Autoridad de Acueducto y Alcantarillados (2004a). Documentan los niveles de cloro residual en el agua potable diariamente. Tienen un operador certificado por el Departamento de Salud. Todos los martes limpian el tanque y verifican la represa. Consumen cerca de dos pailas de hipoclorito de calcio (cloro) mensuales para desinfectar el agua. Pagan \$600 dólares al Departamento de Salud para que realice las pruebas de bacteriología. La cuota por cada familia es de \$60 dólares anuales.

Las figuras 4.15 y 4.16 del Sistema Comunitario El Veinte muestran que el tanque de distribución se encuentra en buenas condiciones y la represa se encuentra en buen estado. La salida de la represa se encuentra protegida por una

caja en acero inoxidable, la cual se le puede poner diferentes tipos de mallas en serie para evitar materia no deseada dentro del tanque de agua. Actualmente, las mallas de retención en serie no están siendo utilizadas, ya que no las tienen disponible. La represa debe ser mejorada tratando de utilizar nuevamente las mallas de retención, en la caja de "Stainless Steel". El clorador de tabletas (Figura 4.17) se encuentra en buenas condiciones y muy bien protegido. Realizan una asamblea anual.



Figura 4.15. Tanque de Distribución – Sector El Veinte, Yabucoa (foto por el Departamento de Salud – junio 2007).



Figura 4.16. Represa con Caja de Acero Inoxidable – Sector El Veinte, Yabucoa (foto por el Departamento de Salud – junio 2007).



Figura 4.17. Clorador de Tabletas – Sector El Veinte, Yabucoa (foto por Sr. Ricardo Coreano – enero 2003).

La Figura 4.18 ilustra el Número de Muestras Positivas de Coliformes Totales por Año en el Sistema Comunitario El Veinte. Este muestreo de bacteriología está disponible en el Informe de Confianza de Calidad de Agua para el Consumidor del Departamento de Salud para los años 2000 al 2007.

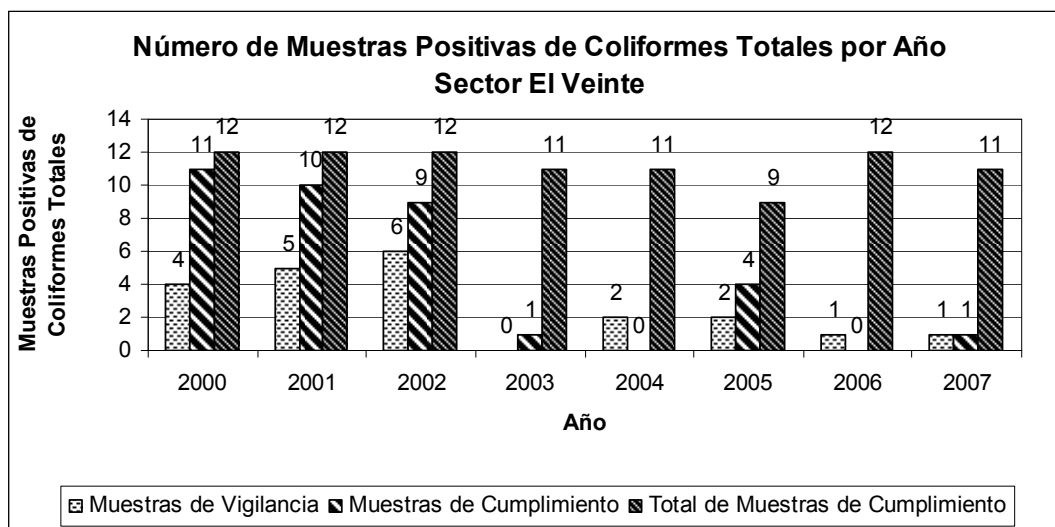


Figura 4.18. Número de Muestras Positivas de Coliformes Totales por Año en el Sistema Comunitario El Veinte.

Esta gráfica de barras resume el número de muestras positivas de coliformes totales por año en muestras de vigilancia y muestras de cumplimiento. La gráfica muestra que este sistema realizó muestras de cumplimiento y de vigilancia desde el 2000 al 2007. Desde el 2003 hasta el 2007 han realizado un máximo de 4 muestras de vigilancia por año. Los muestreos de vigilancia y cumplimiento son realizados una vez al mes, resultando los años 2000, 2001 y 2002 con la mayor cantidad de positivos en muestras de vigilancia y muestras de cumplimiento. Sumando el número de muestras de realizadas en el periodo 2000 al 2007, el resultado fue de 124 muestras tomadas, de las cuales 57 muestras resultaron positivas. Esto resulta en un 45.97 % de muestras positivas durante el

periodo 2000 al 2007. Durante el periodo 2000 al 2002 se realizaron un total de 54 muestras, de las cuales 45 muestras resultaron positivas. Esto representa un 83.33 % de muestras positivas durante el 2000 al 2002. Del 2003 al 2007 se realizaron un total de 70 muestras, de las cuales 12 resultaron positivas a coliformes totales. Esto resulta en un 17.14 % de muestras positivas. Si dividimos esta gráfica en los dos periodos antes mencionados (2000 al 2002 y 2003 al 2007) podemos concluir que el sistema comunitario de El Veinte, mejoró considerablemente el problema de coliformes totales reduciéndolos en un 66.19 % de muestras positivas. El nivel meta de coliformes totales es de cero y el método de análisis que utiliza el Departamento de Salud para detectar la presencia o ausencia de coliformes totales es PA-Colilert.

La Figura 4.19 ilustra la Turbiedad por Año en el Sistema Comunitario de El Veinte. Este muestreo de turbiedad está disponible en el Departamento de Salud para los años 2000 al 2007.

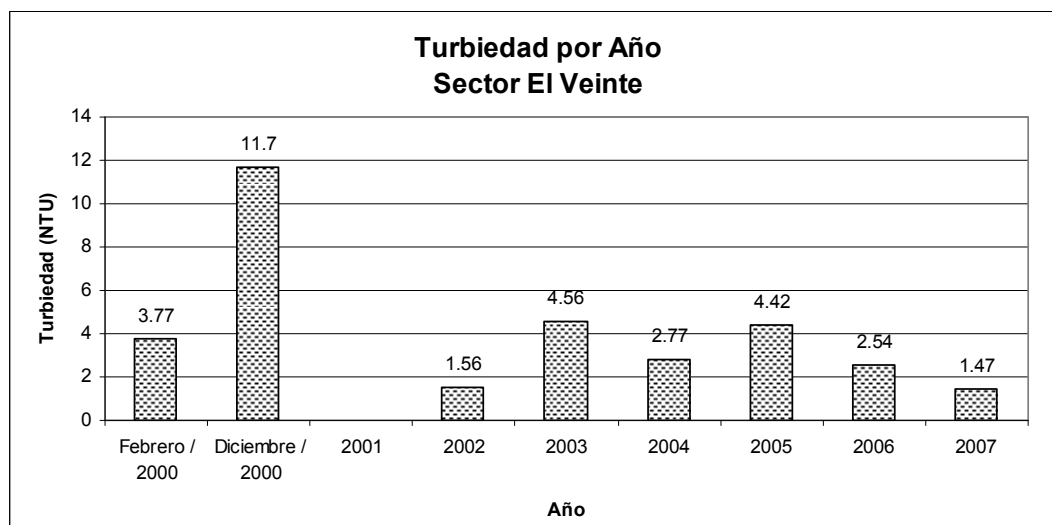


Figura 4.19. Turbiedad por Año en el Sistema Comunitario El Veinte.

Esta gráfica de barras resume la turbiedad por año en muestras de campo realizadas por el Departamento de Salud. Los resultados fueron obtenidos desde el año 2000 al 2007; a excepción del 2001 que no se tomó muestra. En los años 2002, 2003 al 2007, la turbiedad no excedió los 5 NTU. En diciembre/2000 se puede observar como si hubiera pasado un evento de lluvia y escorrentías, ya que la turbiedad en ese momento resultó ser 11.7 NTU. Del 2002 en adelante, se puede observar que la turbiedad disminuyó. El promedio de turbiedad obtenido en las muestras de turbiedad, fue de 2.64 NTU; excepto la de diciembre de 2000. Al estudiar la gráfica se puede observar que el sistema necesita filtrar su agua potable, aunque los valores de turbiedad no exceden los 4.56 NTU. Aunque no se tiene suficiente datos de turbiedad y el sistema no cumple con el nivel máximo de turbiedad de 0.3 NTU; el sistema mantiene un nivel bajo de turbiedad.

Resumiendo el estado del Sistema Comunitario Superficial del Sector El Veinte, este se encuentra en buen estado. Este sistema no cumple con los niveles de turbiedad, ni de coliformes totales debido a que no cuentan con un sistema de filtración, necesitan mejorar la represa de agua superficial en la entrada, aunque los tubos con orificios en la salida de la represa (Figura 4.16), han mantenido los niveles de turbiedad bajitos. Un sistema de filtración eliminaría el problema de turbiedad y coliformes totales.

4.04. Sistema Comunitario Superficial Lijas

El 2 de febrero de 2008 se realizó una visita de campo donde se recorrió todo el Sistema Comunitario de Lijas. El propósito era estudiar el estado físico y operacional del sistema. En la actualidad, el sistema cuenta con tres represas, cada una con un tanque de almacenamiento y un tanque de distribución con dos filtros de lentos de arena y un clorador por tabletas. La Figura 4.20 muestra el Diagrama del Sistema Comunitario de Lijas.

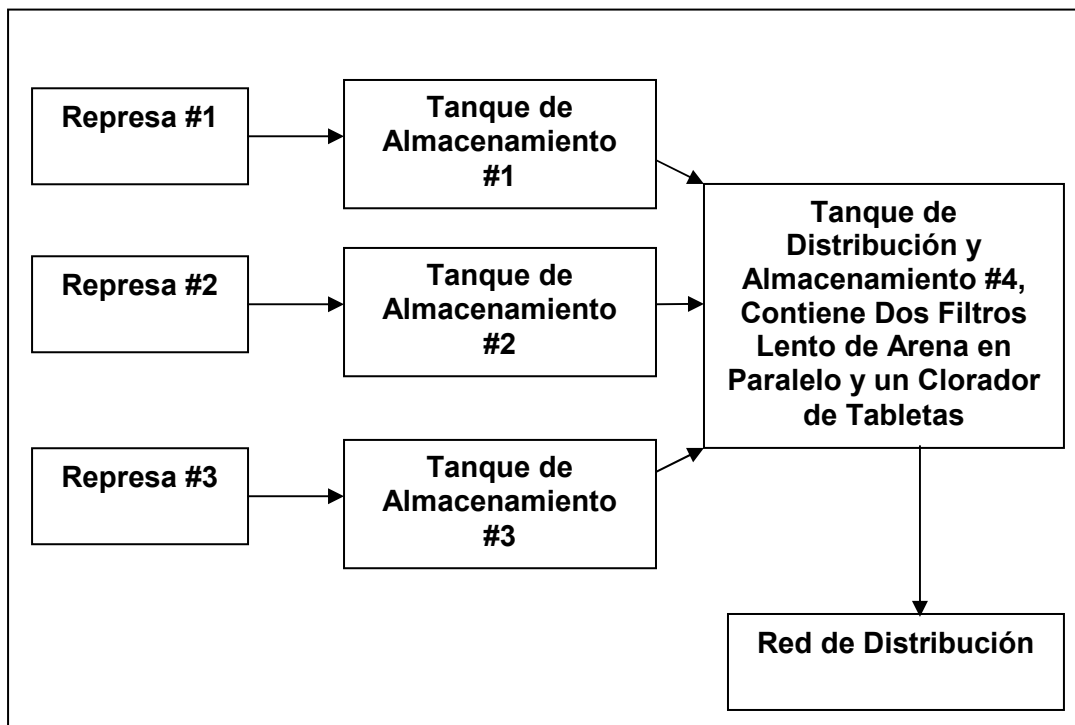


Figura 4.20. Sistema de Distribución de Agua de Lijas.

El agua superficial usada en el Sistema Comunitario de Lijas produce alrededor de 190.7 litros por minuto (50.375 gpm). Bajo el cambio de administración del sistema en el 2007, hubo unos cambios beneficiosos al sistema. Estos cambios incluyeron un aumento en mantenimiento al sistema, mejoras a las represas, mejoras a los filtros lentos de arena y otros. Como medidas de mantenimiento, los tanques de agua son limpiados una vez al mes; los lunes, miércoles y viernes se le da mantenimiento en general al sistema. Limpian los filtros lentos de arena, las represas y se verifica que el clorador tenga tabletas de cloro. Tienen tres personas que tomaron adiestramientos de operadores pero aún no están certificados como operadores. La cuota mensual de \$5.00 dólares documentada en el estudio de la Autoridad de Acueducto y Alcantarillados (2004c) cambió a \$20.00 dólares, para poder realizar las mejoras al sistema.

La primera estación que se visitó fue el Tanque de Distribución (Tanque #4) donde el presidente del Sistema Comunitario mostró el funcionamiento del tanque de distribución. El tanque estaba en buen estado, los dos filtros lentos de arena que operan en paralelo, fueron limpiados mediante un retrolavado y utilizan arena de sílica de 0.30 mm de tamaño para filtrar. Los dos filtros lento de arena, el clorador y la válvula de llenado se encuentran en la parte superior del tanque de distribución (Figuras 4.21, 4.22, 4.23).



Figura 4.21. Filtros Lentos de Arena – Comunidad Lijas, Las Piedras.



Figura 4.22. Clorador – Comunidad Lijas, Las Piedras.



Figura 4.23. Válvula de Llenado – Comunidad Lijas, Las Piedras.

Previo a las mejoras del Tanque de Distribución #4, los filtros lentos de arena no operaban adecuadamente, ya que no le daban el mantenimiento adecuado. Otro detalle importante es que la arena de sílica no fue reemplazada

hasta el cambio de administración del sistema en el 2007. No tenía una válvula de llenado, que básicamente regula el agua que entra al tanque de distribución, ajustando el nivel de agua en el tanque. La Figura 4.24 muestra el sistema de filtración cuando no tenía la tubería con rosca, lo que dificultaba el mantenimiento de los mismos. La Figura 4.25 muestra el mal estado en que el agua estaba en los filtros lentos de arena. La toma de agua ilustrada en la Figura 4.25, la utilizan generalmente cuando realizan el retrolavado de los filtros. La Figura 4.26 muestra la arena de sílica que era reemplazada de los filtros lentos de arena. Este tipo de arena es blanca; en esta foto pueden apreciar que la arena de sílica es de color marrón oscuro.



Figura 4.24. Tubería sin rosca – Comunidad Lijas, Las Piedras (foto por E. Montañez-junio 2007).



Figura 4.25. Agua Turbia Proveniente de los Filtros Lentos de Arena – Comunidad Lijas, Las Piedras (foto por E. Montañez-julio 2007).



Figura 4.26. Arena de Sílica Proveniente de los Filtros Lentos de Arena – Comunidad Lijas, Las Piedras (foto por E. Montañez- octubre 2007).

Continuando con la visita al Sistema Comunitario de Lijas, se visitó la estación #3 que cuenta con un tanque cerrado en buenas condiciones, a excepción de una fuga que tiene por una de las paredes. La represa de la estación está cubierta por una tola metálica y contiene trampas de sedimentos rústicas. Estas trampas deben ser mejoradas, utilizando mallas de retención en serie de mayor diámetro a menor diámetro. Las mallas de retención de mayor diámetro deben estar localizadas a la entrada de la represa y a medida que el agua pasa por la represa, debe disminuir el diámetro de los orificios de la malla de retención para que el agua llegue lo más limpia posible (Figuras 4.27, 4.28, 4.29).



Figura 4.27. Tanque #3 con fuga de agua – Comunidad Lijas, Las Piedras.



Figura 4.28. Represa del Tanque #3 con mallas de retención – Comunidad Lijas, Las Piedras.

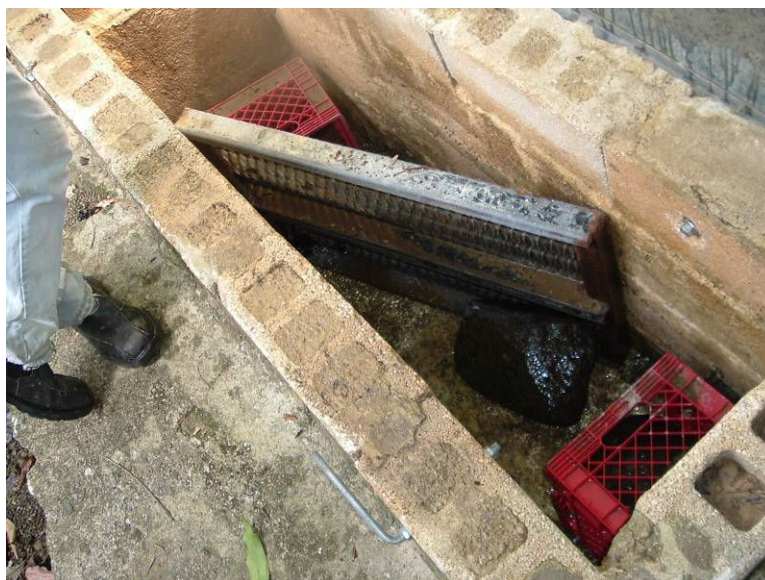


Figura 4.29. Canal de la Represa #3 con mallas de retención rústicas – Comunidad Lijas, Las Piedras.

La estación #2 consiste de una represa y un tanque. El tanque de la estación #2 no tiene tope, solamente lo protege una malla (Figura 4.30). La superficie del tope de este tanque debería ser en cemento o de metal, ya sea

galvanizado, u otro material. Si el tope es construido en cemento, debe tener una abertura para poder realizar mantenimientos al tanque. La abertura del tanque, debe tener una puerta para evitar la entrada de hojas y de cualquier material no deseado. Si utilizan una plancha de metal, esta debe cogerse al tanque con tornillos para facilitar el mantenimiento al tanque. La plancha no debe tener mucho espesor, para facilitar el manejo de la misma. La represa #2 necesita trampas de sedimentos u otro mecanismo, que evite la entrada de sedimentos al tanque #2.



Figura 4.30. Tanque #2 con malla de protección en la parte superior – Comunidad Lijas, Las Piedras.

La estación #1 consiste de una represa y un tanque. El tanque de la estación #1 se encuentra en buenas condiciones y está fabricado completamente de cemento. La estación #1 necesita mejorar la represa con trampas de sedimentos en serie sedimentos u otro mecanismo, que evite la entrada de sedimentos al tanque #1 (Figura 4.31).

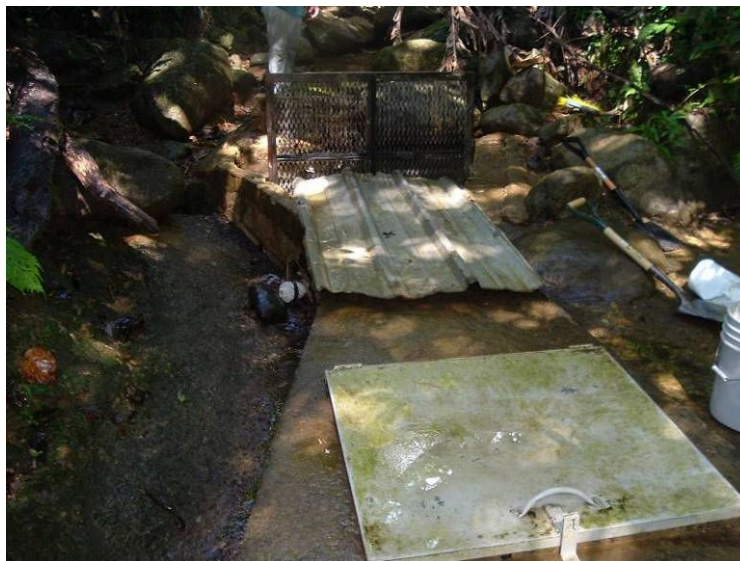


Figura 4.31. Tanque #1 con represa – Comunidad Lijas, Las Piedras.

La Figura 4.32 ilustra el Número de Muestras Positivas de Coliformes Totales por Año en el Sistema Comunitario Lijas. Este muestreo de bacteriología está disponible en el Informe de Confianza de Calidad de Agua para el Consumidor del Departamento de Salud para los años 2000 al 2007.

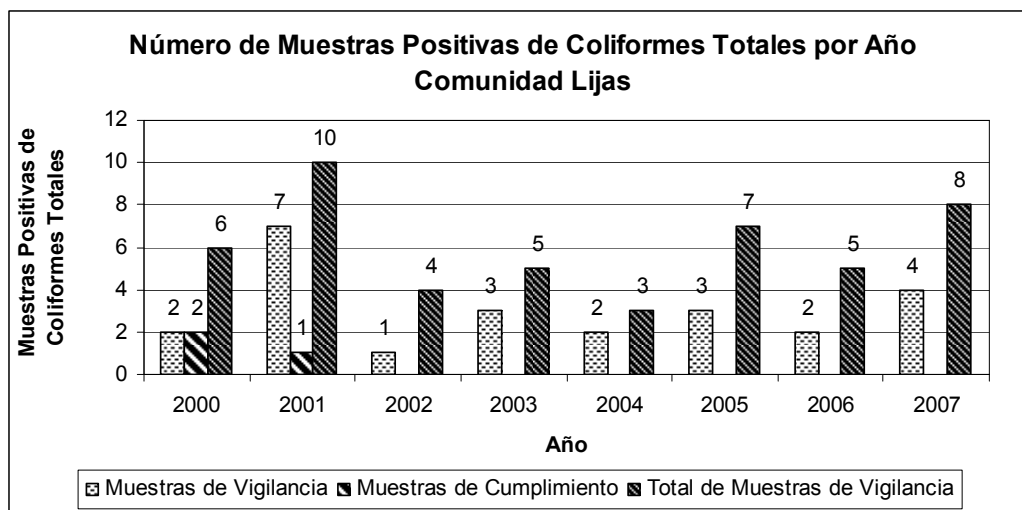


Figura 4.32. Número de Muestras Positivas de Coliformes Totales por Año en el Sistema Comunitario Lijas.

Esta gráfica de barras resume el número de muestras positivas de coliformes totales por año en muestras de vigilancia y muestras de cumplimiento. Como muestra la gráfica, en los años 2000 y 2001 aparecen muestras de cumplimiento positivas a coliformes totales debido a que la comunidad envió a realizar las pruebas bacteriológicas. En los años 2002 al 2007 no se realizó ningún muestreo de cumplimiento. Los muestreos de vigilancia y cumplimiento son realizados una vez al mes, resultando el año 2001 con la mayor cantidad de muestras positivas (7 muestras positivas de 10 muestras realizadas). Esto quiere decir que hubo un 70% de muestras positivas. Durante los años 2002 al 2007 se observa una reducción de muestras de vigilancia positivas debido a que el muestreo realizado por el Departamento de Salud fue menor al año 2001. En el año 2004 se realizaron tres muestras de las cuales dos salieron positivas; esto quiere decir que hubo un 66.66% de muestras positivas. Además, los muestreos mensuales por el Departamento de Salud no son constantes a lo largo de los años estudiados y el Sistema Comunitario Lijas dejó de muestrear. Sumando el número de muestras de vigilancia y de cumplimiento, el resultado fue de 61 muestras tomadas, de las cuales 27 muestras (vigilancia y cumplimiento) resultaron positivas. Esto resulta en un 44.26% de muestras positivas. El nivel meta de coliformes totales es de cero y el método de análisis que utiliza el Departamento de Salud para detectar la presencia o ausencia de coliformes totales es PA-Colilert.

La Figura 4.33 ilustra la Turbiedad por Año en el Sistema Comunitario Lijas. Este muestreo de turbiedad está disponible en el Departamento de Salud para los años 2000 al 2007.

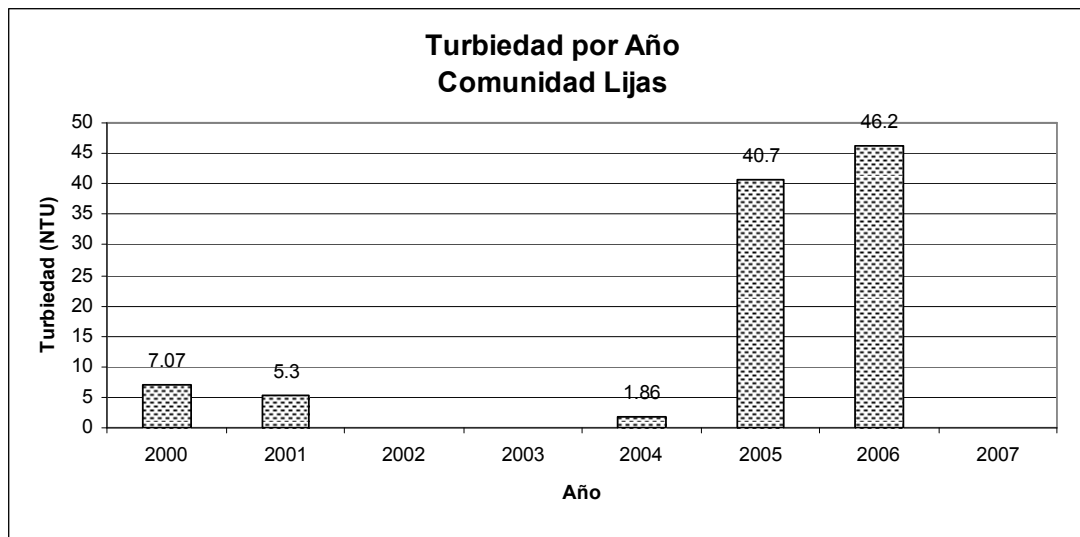


Figura 4.33. Turbiedad por Año en el Sistema Comunitario Lijas.

Esta gráfica de barras resume la turbiedad por año en muestras de campo realizadas por el Departamento de Salud. Cada resultado obtenido en los años 2000, 2001, 2004, 2005 y 2006 son resultados de turbiedad obtenidos una vez al año. A pesar de la poca data obtenida, se puede observar un aumento considerable de turbiedad en el sistema. En el año 2000, 2001 y 2004 hubo una disminución de turbiedad de 7.07 NTU a 1.86 NTU; pero en el año 2005 la turbiedad aumentó a 40.7 NTU y en el 2006 a 46.2 NTU. Lo interesante de los datos es que la data recopilada para el 2005 y 2006 fue tomada en el mismo mes (junio) lo que quiere decir que durante este mes, ocurrió un evento atmosférico o que el sistema en esos años no se le estaba dando el mantenimiento adecuado como lo muestran las gráficas previas. Del 2005 al 2006 las represas no estaban con las trampas de sedimentos rústicas, los tanques estaban menos protegidos y los filtros lentos de arena estaban pegados a la tubería; lo que evitaba el poder reemplazar o limpiar la arena. El nivel máximo de turbiedad permitido por EPA y el Departamento de Salud es 0.3 NTU.

Resumiendo la visita al Sistema Comunitario Superficial Lijas, es el único sistema comunitario en esta investigación con filtración. La filtración no fue muy efectiva debido al poco mantenimiento a los filtros, represas, conocimiento operacional del sistema y dinero disponible para operar. El Sistema Comunitario Superficial Lijas no está organizado completamente. En estos momentos el sistema está pasando por una re-estructuración para mejorar la calidad y monitoreo del agua potable. En base a los datos obtenidos del Sistema Comunitario de Lijas, este se encuentra operando mejor a como estaba operando hace algunos años atrás. Las mejoras a este sistema comenzaron en el 2007.

4.05. Selección de Filtración y Desinfección

Todos los métodos mencionados para filtración y desinfección en este trabajo investigativo son métodos previamente estudiados. El propósito principal de esta investigación de sistemas comunitarios superficiales es buscar una combinación de equipos y materiales que funcionan para proveer agua potable.

Métodos de Desinfección

Los sistemas comunitarios visitados desinfectan el agua potable con cloradores de tabletas: tabletas de cloro. Este método de desinfección es el más sencillo de operar, es de los más económicos y lo más importante es que el cloro residual o el cloro que se mantiene en el agua es transportado a través del sistema de distribución hasta llegar a los consumidores; generando protección contra patógenos que pudieran estar en el agua. Aunque el sistema utilice desinfección por cloro, si el tanque de almacenaje o distribución no es lavado con frecuencia, pudieran llegar patógenos a los hogares ya que hay patógenos resistentes al cloro como lo es el *Criptosporidium*. Otra ventaja que tiene el uso de los cloradores por tableta es que no requieren energía eléctrica o bombas para presurizar el agua, a menos que el sistema no sea distribuido por energía

potencial. La energía potencial es la energía que se genera al haber una diferencia en altura. La gravedad es uno de los componentes de la energía potencial. Muchos sistemas comunitarios utilizan la energía potencial para distribuir el agua.

Hay otros métodos de desinfección mencionados en el capítulo dos como el ozono y luz ultra violeta. Estos métodos son muy efectivos para eliminar patógenos o microorganismos en el agua, pero no garantizan desinfección una vez el agua sale del tanque de distribución. Este tipo de método elimina los patógenos, una vez estos fluyen por el sistema de desinfección. Otro detalle importante es que estos sistemas son más costosos y dependiendo el tipo de sistema, requiere personas con experiencia en agua potable.

Muchas veces, estos sistemas se venden en los denominados paquetes que incluyen filtros, paneles electrónicos con PLC (controladores electrónicos, programados para realizar una acción), medidores digitales de conductividad, carbonos orgánicos totales (TOC) y otros. Muchos de los sistemas comunitarios quedan retirados de la carretera lo que dificulta el mantenimiento a ellos. Estos sistemas al ser digitales y coger sereno, disminuyen su vida útil. Otro detalle es que los medidores electrónicos o digitales, en la mayoría de los casos tienen que ser calibrados por el propio fabricante o una compañía que se dedique a calibrar este tipo de medidores. Esto quiere decir que es dinero adicional que hay que invertir.

Resumiendo, el método de desinfección más económico y efectivo para eliminar patógenos en el agua es el cloro. Los cloradores de tabletas son bien sencillos, fácil de instalar y operar. Estos consisten de una base y unos cargadores donde se almacenan las tabletas de cloro. Una vez las tabletas de cloro entran en contacto con el agua, tienden a desgastarse hasta que se acaba la

pastilla. Luego, la siguiente pastilla de baja al final del cargador entrando en contacto con el agua que pasa a través de la base. Estos cloradores vienen de dos y cuatro cargadores.

Métodos de Filtración

La Agencia de Protección Ambiental (2003b) realizó un estudio donde exponen los beneficios y desventajas de algunos de estos métodos de filtración.

A continuación se presentan cada uno de ellos.

1. Filtración Convencional – Requiere operadores con conocimientos avanzados, monitoreos muy frecuentes, requiere coagulación, floculación y sedimentación. No remueve todos los microorganismos.
2. Filtración Directa - Requiere operadores con conocimientos avanzados, monitoreos muy frecuentes, requiere coagulación y floculación. No remueve todos los microorganismos.
3. Filtración Lenta de Arena – Requiere operadores con conocimientos básicos, es más efectiva en fuentes de agua de alta calidad. No remueve todos los microorganismos.
4. Osmosis Inversa – Requiere operadores con conocimientos intermedios a avanzados dependiendo de la cantidad de pre-tratamiento. Requiere pos-desinfección bajo la regulación. Los desperdicios pueden ser tóxicos para disponerlos.
5. Nanofiltración - Requiere operadores con conocimientos intermedios a avanzados dependiendo de la cantidad de pre-tratamiento. Requiere pos-desinfección bajo la regulación.

6. Microfiltración - Requiere operadores con conocimientos intermedios a avanzados dependiendo de la cantidad de pre-tratamiento. Requiere desinfección para inactivación viral.
7. Filtros de cartucho o de bolsas – Requiere operadores con conocimientos básicos. Requiere aguas bajas en turbiedad y desinfección para inactivación viral. Tener precaución con ellos para evitar romperlos.

En esta investigación, se efectuaron varias cotizaciones de algunos sistemas de filtración, las cuales fueron solicitadas en tiendas localizadas en Puerto Rico y Estados Unidos. La cotización de Filtración Mediante Planta Compacta Permanente fue obtenida del estudio de la Autoridad de Acueducto y Alcantarillados (2004 b, c). Las cotizaciones del Sistema de Ultra Filtración y del Filtro de Cartucho fueron solicitadas por el Sistema Comunitario Lijas. La Tabla 4.01, resume las cotizaciones de algunos de los sistemas de filtración.

Tabla 4.01. Costo Estimado de Algunos Métodos de Filtración.

Método de Filtración	Costo Estimado
Filtración Mediante Planta Compacta Permanente (Cotización AAA 2004c)	\$1,000,000
Sistema de Ultra Filtración – 265 lpm (70 gpm)	\$118,175
Filtro de Cartucho – 318 lpm (84 gpm)	\$998.16
Filtro de Bolsa – 833 lpm (220 gpm)	\$688.68
Filtro de Arena – 239 lpm (63 gpm)	\$460.69

Para seleccionar el método de filtración, se creó una tabla de peso (Tabla 4.02), donde se asignó un número del 0 al 10 a cada criterio. Cada criterio se le añadió un por ciento. Para obtener el resultado final de cada criterio, hay que multiplicar el número asignado del criterio por el por ciento asignado. Luego, se suman los resultados de todos los criterios por método de filtración. El método de filtración con más puntos, es el método más viable a ser implementado. Esta tabla fue diseñada tomando en consideración costos (Tabla 4.01), mantenimiento, tiempo de implementación, conocimiento de los operadores (EPA 2003b) y reemplazo de los filtros. Los valores del 0 al 10, asignado a cada criterio de los métodos de filtración fueron asignados tomando en consideración los valores extremos de cada criterio. El criterio de costo para la planta compacta se le asignó un valor de 0, ya que es la alternativa más costosa. En el criterio de costo para el filtro lento de arena, se le asignó un valor de 10, ya que es la alternativa más económica.

Tabla 4.02. Tabla de Peso para Seleccionar el Método de Filtración.

Criterio	% por	Planta	Ultra	Filtro de	Filtro de	Filtro De					
		Compacta Permanente	Filtración	Cartucho	Bolsa	Arena					
Costo	0.50	0	6	3	8	4	8	4	10	5	
Mantenimiento al Sistema	0.15	6	0.9	8	1.2	7	1.05	7	1.05	8	1.2
Tiempo de Implementación	0.10	3	0.3	10	1	10	1	10	1	10	1
Conocimiento de los Operadores	0.10	8	0.8	9	0.9	10	1	10	1	10	1
Reemplazo de Filtros	0.15	9	1.35	7	1.05	5	0.75	5	0.75	8	1.2
Total	1.00		3.35		7.15		7.8		7.8		9.4

Utilizando la Tabla de Peso 4.02, el método de filtración más representativo a los criterios de esta investigación de alternativas costo efectivas para sistemas comunitarios superficiales, fue el método de filtración por arena. Esta alternativa tuvo un valor de 9.4 en la tabla de peso.

Basado en las cotizaciones de la Tabla 4.01, es el método más económico. El mantenimiento no es complejo, por lo que no requiere operadores con conocimientos avanzados. Dependiendo la capacidad de arena que almacene el tanque y la turbidez del lugar, se determina el mantenimiento del sistema. Mientras más capacidad de área tiene el tanque, menos mantenimiento requiere el sistema. El tiempo de implementación es relativamente rápido, ya que los tanques, solamente hay que conectarlos al tanque de distribución y llenarlos con la cantidad de arena recomendada. Los operadores no requieren conocimiento avanzado para usar estos filtros, ya que solamente necesitan verificar el agua de salida de los filtros y realizar el retrolavado a los tanques para limpiar la arena. Estos tanques proveen la capacidad de realizar un retrolavado, extendiendo la vida útil de la arena.

Antes de explicar el diseño del Sistema Comunitario con Filtración, hay que asumir una serie de datos que varían de sistema. Estos datos son:

1. Si el sistema distribuye por gravedad, tienen que verificar la presión a la entrada del tanque donde desean colocar la filtración, ya que los filtros de arena disminuyen la presión a la salida. Esto ocurre por la fuerza que el agua tiene que ejercer al pasar a través de la arena y la fuerza de fricción que ocurre cuando el agua pasa por la tubería.
2. La presión a la entrada del tanque de distribución debe ser de 137.9 a 241.32 KPa (20 a 35 psi) aproximadamente.

3. Los tanques a utilizarse para los filtros de arena pueden ser drones de 208.23 litros (55 galones) o tanques usados para filtrar piscinas. Estos filtros vienen de diferentes marcas, diferentes flujos, tamaños y presiones. Estos filtros son resistentes a los rayos ultravioletas y a sustancias químicas, ya que son usados para piscinas.
4. Los tanques para los filtros de arena deben tener al menos una altura de 88.9 cm (35”).
5. El flujo del sistema a la entrada del tanque de distribución es de 227.2 litros por minuto (60 gpm).
6. El sistema comunitario debe tener una bomba de agua de no más de 372.85 W ($\frac{1}{2}$ caballo de fuerza) o regular la salida de la bomba para que no exceda 275.8 KPa (40 psi). La bomba es usada para el retrolavado de los filtros de arena, si es necesario.
7. Los filtros de arena deben tener válvulas a la entrada y salida para obstruir el flujo cuando se realice el retrolavado, reparaciones, etc.
8. La tubería conectada a los filtros de arena deben ser con rosca para poder remover los filtros del sistema para limpiarlos o reemplazar la arena cuando sea necesario.

El sistema comunitario diseñado durante esta investigación, consiste de pre-filtración (arena y grava) y la filtración lenta por arena. La configuración de arena y grava para la pre-filtración y la filtración fueron obtenidas del estudio de Sánchez y Hwang (2007). Este estudio, muestra que el agua en el afluente del filtro lento de arena era de 6 NTU y en el efluente del filtro lento de arena era de 0.8 NTU; ya que el pre-filtro eliminaba la turbiedad mayor. Esto representa una reducción de un 86%. La reducción de partículas de 2 a 5 μm de tamaño en el efluente del filtro lento fue de un 85%, un 70% de reducción de partículas de 1.2

µm y una reducción de 99% de colonias de bacterias por mililitro (HPC). El valor de colonias en el efluente del filtro lento fue de ~300 HPC/ml. La pre-filtración está dada por dos filtros (tanques de piscina) con válvulas en paralelo. Si utiliza tanques de 208.23 litros (55 galones), puede utilizar solamente uno. La primera capa de la prefiltración está compuesta de grava de 4 – 5mm de tamaño y debe tener un espesor de 150 mm aproximadamente. La segunda capa de la prefiltración está compuesta de grava de 2 mm de tamaño y debe tener un espesor de 100 mm aproximadamente. La tercera capa de la prefiltración está compuesta de arena de 0.8 mm de tamaño y debe tener un espesor de 100 mm aproximadamente. Finalmente, la cuarta capa de la prefiltración está compuesta de arena de 0.18 mm de tamaño y debe tener un espesor de 250 mm aproximadamente. Al tener dos filtros en paralelo se está distribuyendo 114 litros por minuto (30 gpm) por cada filtro. Las salidas de los filtros para el retrolavado deben estar en paralelo para que el agua sea expulsada fuera del área donde están localizados los filtros. Estos filtros están en la entrada del agua cruda del tanque de distribución. Estos filtros generan una capa biológica sobre la arena, que se encarga de desinfectar el agua y proteger el agua de patógenos. Para que el filtro de arena funcione correctamente, este debe tener como mínimo una capa de 10 centímetros por encima de la capa fina de arena (OPS 2000). Cada vez que se reemplaza la arena, la capa biológica tarda en formarse entre 5 a 10 días (OPS 2000). Ese tipo de limpieza se realiza cada 2 o 3 meses; depende del buen mantenimiento que se le de al filtro (OPS 2000).

Estos dos pre-filtros (tanque de piscina) o este filtro (tanque de 55 galones) de grava y arena, están en serie con dos filtros lentos de arena en paralelo. Los filtros de arena a ser usados para la filtración lenta, son los mismos filtros que fueron usados en los pre-filtros, la diferencia es el tamaño de la arena. La primera

capa de filtración está compuesta de arena de 1 mm de tamaño y debe tener un espesor de 150 mm aproximadamente. La segunda capa de filtración está compuesta de arena de 0.45 mm de tamaño y debe tener un espesor de 100 mm aproximadamente. La tercera capa de filtración está compuesta de arena de 0.20 mm de tamaño y debe tener un espesor de 175 mm aproximadamente. Finalmente, la cuarta capa de filtración está compuesta de arena de 0.15 mm de tamaño y debe tener un espesor de 175 mm aproximadamente (Sánchez y Hwang 2007). De igual manera, estos filtros deben tener tubería con rosca para el mantenimiento y las salidas de los filtros para el retrolavado deben estar en paralelo para que el agua sea expulsada fuera del área donde están localizados los filtros. Según la Organización Panamericana de la Salud (2000) otra configuración que puede utilizarse es de grava de 2 – 3 mm de tamaño, gravilla de 1 – 1.5 mm de tamaño y arena fina de 0.15 – 0.35 mm de tamaño. Finalmente se encuentra el clorador de cloro con los cargadores llenos de tabletas de cloro. La Figura 4.34, muestra el diseño del sistema comunitario con filtración y desinfección. Además, ilustra el orden y la posición en que deben adaptarse los componentes en el sistema.

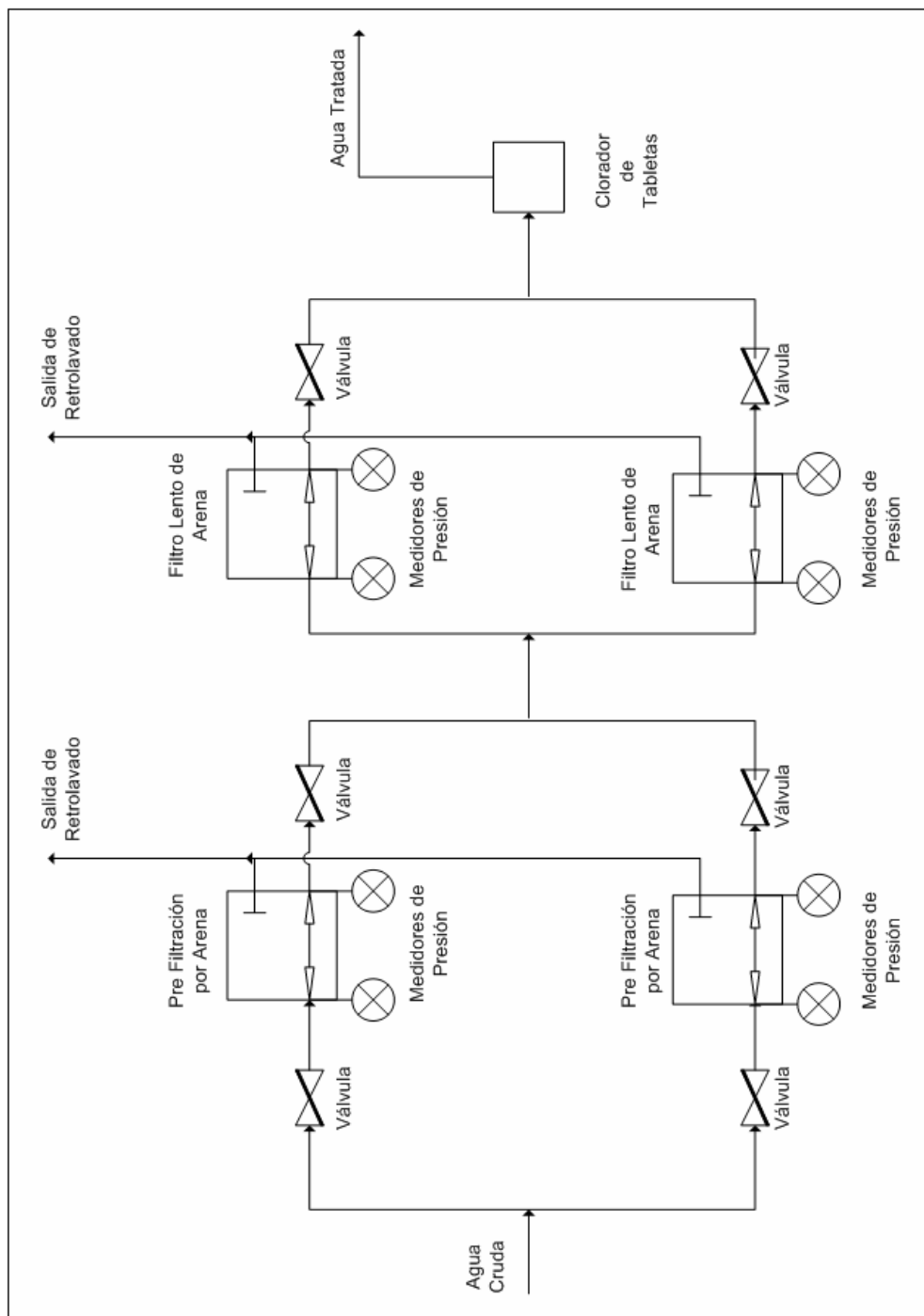


Figura 4.34. Diseño del Sistema Comunitario con Filtración y Desinfección.

Para monitorear la efectividad del sistema de filtración y desinfección deben tener un turbidímetro y un medidor de cloro residual. El medidor de cloro residual debe ser usado diariamente para monitorear el residual de cloro en el sistema de distribución y el turbidímetro debe ser usado mensualmente para monitorear la turbiedad y tener data suficiente para poder predecir los meses donde más turbiedad ocurre. El turbidímetro puede ser usado antes de realizar un retrolavado y después de realizar el retrolavado para verificar si fue efectivo.

Para tener un sistema comunitario operando correctamente, se necesitan seguir las Reglas provistas por la EPA, en especial la Regla de Coliformes Totales, Regla Mejorada de Tratamiento de Agua Superficial - Largo Plazo 1 y Regla Mejorada de Tratamiento de Agua Superficial - Largo Plazo 2. Aunque son muchas las áreas que un sistema comunitario debe cubrir, los parámetros de más importancia para el Departamento de Salud en los sistemas comunitarios superficiales es la turbiedad, los coliformes totales (en especial los coliformes fecales) y el cloro residual. Además, la comunidad debe trabajar y estar comprometida para mejorar la calidad del agua que están tomando.

La Tabla 4.03 muestra los costos iniciales del sistema de filtración y desinfección de un sistema comunitario superficial. Para esta tabla se asumió que la mano de obra fue realizada por las mismas personas de la comunidad, la energía eléctrica del sistema es pagada por el gobierno por ser una comunidad especial y que los operadores están certificados por el Departamento de Salud. Todas las cotizaciones de los equipos mencionados en la Tabla 4.03 fueron solicitadas a establecimientos en Puerto Rico. El único equipo cotizado en los Estados Unidos fue el turbidímetro, ya que el precio era menos de la mitad del precio en Puerto Rico. Estos precios pueden variar por establecimientos, marcas y fecha de compra.

Tabla 4.03. Costo de Implementación del Sistema de Filtración y Desinfección.

Equipos Cotizados	Cantidad	Precio por Unidad	Total
Filtro de Arena de 158.76 Kg (350 lbs) – 239 lpm (63 gpm)	4	\$460.69	\$1,842.76
Metro de Arena Fina	1	\$80.00	\$80.00
Metro de Arena	1	\$40.00	\$40.00
Metro de Gravilla	1	\$44.00	\$44.00
Metro de Grava	1	\$50.00	\$50.00
Clorador de Tabletas	1	\$208.85	\$208.85
Accesorios del Clorador	1	\$231.45	\$231.45
Tabletas de Hipoclorito de Calcio 70% - 20.41 Kg (45 libras)	1	\$129.00	\$129.00
Turbidímetro	1	\$425	\$425
Medidor de Cloro Residual	1	\$55.50	\$55.50
Detector de Cloro Residual (100 unidades)	1	\$18.25	\$18.25
Bomba de Presión	1	\$300	\$300
Misceláneos (tubería, válvulas y otros)	N/A	\$1000	\$1000
Total			\$4, 424.81

La Tabla 4.04 muestra los costos anuales de operación de un Sistema Comunitario con un flujo aproximado de 227.2 litros por minuto (60 gpm). Los misceláneos, son costos estimados y se debe mantener este presupuesto para cualquier emergencia, ya que durante el año puede haber tuberías rotas, medidores de presión dañados, válvulas dañadas, etc. El cloro es un valor estimado. Esta estimación fue calculada tomando en consideración el consumo de los sistemas visitados. El consumo de cloro varía en cada sistema comunitario, dependiendo la cantidad de cloro residual deseado en el agua y la cantidad de positivos a coliformes.

Tabla 4.04 Costo de Operación Anual del Sistema de Filtración y Desinfección.

Equipos Cotizados	Cantidad	Precio por Unidad	Total
Metro de Arena Fina	1	\$80.00	\$80.00
Metro de Arena	1	\$40.00	\$40.00
Metro de Gravilla	1	\$44.00	\$44.00
Metro de Grava	1	\$50.00	\$50.00
Tabletas de Hipoclorito de Calcio 70% (2 pailas por mes)	24	\$129.00	\$3,096.00
Detector de Cloro Residual	4	\$18.25	\$73
Muestras Bacteriológicas (Departamento de Salud)	12	\$50	\$600
Misceláneos (tubería, válvulas y otros)	N/A	\$1000	\$1000
Total			\$4,983.00

Resumiendo, un Sistema Comunitario Superficial con un flujo aproximado de 227.2 litros por minuto (60 gpm) puede estar en cumplimiento para turbidez y coliformes con una inversión de \$4,424.81 dólares y el mantenimiento a este sistema resulta en un total de \$4,983.00 dólares. El primer año, el sistema comunitario necesita realizar una inversión total de \$9,407.81 dólares aproximadamente. Este análisis no contempla mano de obra, ni pruebas químicas al agua potable; ya que el propósito de esta investigación es que los sistemas comunitarios puedan cumplir con los niveles establecidos de turbiedad y de coliformes con un presupuesto accesible a las comunidades. Los siguientes años a la implementación, el costo de mantenimiento al sistema comunitario superficial está alrededor de los \$4,983.00 dólares; asumiendo que los costos de materiales y otros, no aumentan.

Capítulo Cinco

Discusión

Durante el transcurso de este capítulo se muestran los hallazgos de la investigación de los Sistemas Comunitarios de Agua Superficial; donde se detalla que el Objetivo de la investigación fue alcanzado, la Hipótesis de la investigación resultó ser positiva, las Preguntas a Investigar fueron contestadas, los Análisis Bacteriológicos y de Turbiedad realizados por el Departamento de Salud muestran un patrón de cumplimiento, la Tecnología Costo Efectiva para el agua potable fue seleccionada y finalmente las Conclusiones y Recomendaciones de esta Investigación de Sistemas Comunitarios de Agua Superficial fueron realizadas.

5.01. Objetivo e Hipótesis del Estudio

El objetivo de esta investigación técnica era buscar la mejor alternativa costo efectiva que tienen los Sistemas Comunitarios Superficiales, para poder cumplir con los niveles máximos de turbiedad y coliformes de la Ley Federal de Agua Potable Segura del 1974, según enmendada en el 1996.

Este objetivo se logró, ya que se mostraron diferentes alternativas de filtración y desinfección; siendo la filtración por arena (pre-filtración con grava, gravilla y arena en serie con filtración lenta) y la desinfección por cloradores de hipoclorito de calcio, los métodos seleccionados. La inversión de estos métodos es de \$4,424.81 dólares; esto incluye los equipos de muestreo de turbiedad y cloro residual.

La hipótesis de esta investigación de Optimización de Sistemas Comunitarios es aceptada, ya que los resultados positivos a coliformes y los niveles de turbiedad de los sistemas, han disminuido considerablemente. Estos

resultados se observan del año 2003 aproximadamente por los siguientes factores:

1. Los operadores de los Sistemas Comunitarios El Veinte, Guayabota y Jácanas 2 cuentan con operadores certificados para operar los Sistemas Comunitarios. El Sistema Comunitario de Lijas aún no tiene operadores certificados, pero están próximos a certificarse.
2. Los sistemas comunitarios han mejorado su operación.
3. Monitoreo de cloro residual.
4. Mantenimientos a los sistemas.
5. Limpieza y mejoras en las represas.
6. Optimismo de los presidentes de los sistemas comunitarios.

5.02. Preguntas de la Investigación

Al comienzo de esta investigación se generaron unas preguntas, a continuación se presentan las preguntas, junto con las repuestas a cada una de ellas.

1. ¿Por qué en la actualidad hay Sistemas Comunitarios de Agua Superficial que no tienen filtración?

Hay Sistemas Comunitarios que no tienen filtración debido a los altos costos de los métodos de filtración en el mercado y el desconocimiento de alternativas económicas disponibles como la filtración por arena.

2. ¿Estarán los Sistemas Comunitarios de Agua Superficial tan deteriorados como para no poder cumplir con los niveles máximos de turbiedad y coliformes?

La realidad es que los sistemas comunitarios no están en mal estado, el detalle de los sistemas comunitarios es mantenerlos

operando correctamente, tanques de almacenamiento y distribución, aplicar las pastillas de cloro constantemente, mejorar la protección de las represas, limpiando las represas y utilizar métodos de filtración.

3. ¿Qué alternativas están proponiendo las comunidades de estos sistemas para mejorar la calidad del agua?

En el caso de la Comunidad Lijas, está proponiendo añadir una prefiltración al sistema y mejorar las represas. La Comunidad de Guayabota hincó un segundo pozo que pondrán en operación y dejarán de usar el agua superficial. La Comunidad el Veinte piensa hincar un pozo, están esperando por el Municipio para que aprueben el dinero y construirlo. En el caso de Jácanas 2, están contemplando la opción de hincar un pozo también. Estos pozos son hincados y construidos con ayuda del Municipio de Yabucoa, ya que los costos de los mismos, son muy altos para la comunidad poder absorberlos.

4. ¿Cuán comprometidos están los administradores y las comunidades para mantener operando los Sistemas Comunitarios en óptimas condiciones?

Los administradores de los sistemas comunitarios se encuentran comprometidos, ya que los cuatro sistemas comunitarios tienen una orden administrativa emitida por la EPA. De no reducir los problemas de bacteriología y turbiedad, estos sistemas serán cerrados por la EPA. Los sistemas comunitarios para eliminar la orden administrativa están tratando de cambiar la fuente superficial

a fuente subterránea y otros están buscando métodos de filtración efectivos y económicos.

5.03. Conclusiones

Los sistemas comunitarios han mejorado la problemática de coliformes y de turbiedad; pero no por completo. Esto lo demuestran los resultados de bacteriología y turbiedad realizados por el Departamento de Salud. Todavía quedan detalles de mejorar. La problemática de los coliformes en los sistemas comunitarios puede ser mayormente en eventos de lluvia. Si los inspectores del Departamento de Salud realizan las pruebas de bacteriología después de un evento de lluvia, posiblemente la prueba de bacteriología sea positiva a coliformes, ya que los coliformes se pueden mezclar con las partículas de sedimentos en el agua; además de que el cloro no es muy efectivo cuando el agua está turbia.

Debido a la problemática de turbiedad y coliformes de los sistemas comunitarios, se buscaron diferentes métodos de filtración y desinfección en el mercado. Al realizar un análisis de peso (Tabla 4.02) para diferentes métodos de filtración, el método más económico y efectivo para filtrar el agua potable de los sistemas comunitarios es la pre-filtración por arena en serie con filtración lenta de arena y desinfección por tabletas de cloro (hipoclorito de calcio). La filtración por arena tiene varias ventajas: es un método de filtración que no es tan costoso y la arena no hay que reemplazarla constantemente. La filtración por arena es un método antiguo de filtración y ha sido usado por décadas para tratar el agua potable. Los contenedores que pueden ser usados para los pre-filtros y filtros lentos de arena son: los tanques de 55 galones, tanques en cemento, tanques de plásticos y tanques de piscina. Los contenedores se seleccionan en base a las necesidades del sistema comunitario. Los criterios que el sistema comunitario debe tomar en consideración a la hora de seleccionar el contenedor a ser utilizado

para filtrar el agua son: el tamaño del tanque, facilidad para darle mantenimiento a los filtros, resistencia a las inclemencias atmosféricas, costo y turbiedad del agua sin tratar.

El diseño del sistema comunitario de filtración y desinfección recomendado en este trabajo investigativo fue basado en las necesidades de los sistemas comunitarios, en los trabajos investigativos de los doctores Hwang y Román, los costos de inversión, mantenimiento, sencillez y durabilidad de los sistemas. La filtración compuesta por pre-filtración y filtración por arena resultó ser el método de filtración más económico al igual que el cloro de tableta (hipoclorito de calcio) fue seleccionado como el método de desinfección. El primer año, el sistema comunitario necesita realizar una inversión total de \$9,407.81 dólares. Esta inversión es para poder controlar la problemática de coliformes y de turbiedad. Para problemas administrativos y otros, hay que realizar otro estudio que no está contemplado en este trabajo investigativo.

Resumiendo los resultados de este trabajo investigativo, los Sistemas Comunitarios Superficiales necesitan filtrar el agua cruda para poder bajar los problemas de coliformes y de turbiedad; utilizando la filtración por arena y la desinfección por tabletas de cloro. Los sistemas comunitarios necesitan mantener un mantenimiento preventivo; estableciendo una frecuencia. Tienen que mejorar la entrada y salida de la represa, utilizando mallas de retención. Eliminar contacto del agua de la represa con el ambiente, protegiendo el tope de la represa con una cubierta de metal removible, monitorear los niveles de cloro y de turbiedad en el agua tratada. El mantenimiento de los sistemas comunitarios y la protección de las represas es la clave esencial para la calidad del agua potable. Este es el caso de la Comunidad Lijas, que teniendo dos filtros lentos de arena en paralelo, no estaban pasando las pruebas de bacteriología y de turbiedad.

5.04. Recomendaciones

Para mantener operando en óptimas condiciones los sistemas comunitarios, estos deben:

- Tener un turbidímetro para muestrear mensualmente la efectividad de los filtros de arena y cada vez que se le da mantenimiento a los filtros de arena.
- El sistema de filtración debe ser monitoreado semanalmente. En días de lluvia, se debe interrumpir el servicio de agua; evitando que los filtros se obstruyan con partículas de arcilla y sedimentos.
- Continuar el monitoreo diario de cloro residual.
- Limpiar los tanques de distribución y almacenaje cada seis meses o por lo menos una vez al año. Esto dependerá de los positivos que tenga el sistema comunitario por coliformes.
- Semanalmente abrir la válvula inferior de los tanques para drenar los sedimentos.
- La salida del tanque de distribución no debe estar en el fondo del tanque. Esta debe estar por lo menos a un pie de altura para evitar que la sedimentación del fondo del tanque llegue a los hogares.
- Crear un estado de cuenta anual con todos los gastos generados durante el año y el dinero disponible de ese periodo.
- Deben mantener el cloro residual por encima de 0.2 mg/L (EPA 2004b), dependiendo de los resultados de bacteriología.
- Mejorar las represas y proveerles mejor protección. Estas represas se pueden mejorar utilizando trampas de sedimento en

serie de mayor diámetro a menor diámetro. Las mallas o trampas de retención de mayor diámetro deben estar localizadas a la entrada de la represa y a medida que el agua pasa por la represa, disminuir el diámetro de los orificios de la malla de retención para que el agua llegue lo más limpia posible. Sellar la represa en la superficie, para evitar turbiedad cuando golpes de agua y eventos atmosféricos ocurren. Tener en la salida de la represa un tubo de PVC con cubierta en la entrada. El tubo debe ser perforado con muchos orificios pequeños que ayudan a evitar la entrada de partículas y sedimentos al tanque de almacenaje o distribución (Similar al de la Figura 4.11).

- Tener medidores de presión en la entrada y salida de los filtros de arena, ya que si ocurre una diferencia significativa de presión entre la entrada y la salida del filtro, pudiera estar tapado el filtro.
- Aunque los filtros en paralelo tardan un poco más en obstruirse, hay que realizarle un retrolavado cuando la presión diferencial entre la entrada y la salida del tanque es de 68.95 KPa (10 psi) o cuando el medidor de flujo disminuye 30% comparado con el flujo original (filtro limpio).

5.05. Aportaciones del Estudio

La importancia de este estudio es mostrar que los Sistemas Comunitarios Superficiales pueden filtrar su agua potable con una inversión menor de \$5,000 dólares para sistemas comunitarios con un flujo menor de 227.2 litros por minuto (60 gpm). Es un método efectivo, fácil de operar y mantener. La filtración que se recomendó en esta investigación, es una combinación de pre-filtración por arena que retiene las partículas de sedimentos más grandes y la filtración lenta que se

encarga de filtrar las partículas más pequeñas encontradas en el agua cruda (agua sin tratar). La otra importancia de este estudio, es mostrar que los Sistemas Comunitarios están trabajando para mejorar su calidad de agua y que muchas veces han tratado de mejorar sus sistemas, pero el factor dinero les ha impedido realizar mejoras.

Literatura Citada

- [AAA] Autoridad de Acueducto y Alcantarillados. 2004. "Evaluation and Recommendations For Supplemental Environmental Project Independent ("NON-PRASA") Water supply Systems". San Juan: Autoridad de Acueducto y Alcantarillado. 79 pag. Disponible de: EPA Región II. [a].
- [AAA] Autoridad de Acueducto y Alcantarillados. 2004. Actualización del Inventario de Sistemas de Acueductos Comunitarios Independientes en Puerto Rico: Comunidad Guayabota. 18 pag. Disponible de: EPA Región II. [b].
- [AAA] Autoridad de Acueducto y Alcantarillados. 2004. Actualización del Inventario de Sistemas de Acueductos Comunitarios Independientes en Puerto Rico: Comunidad Lijas. 25 pag. Disponible de: EPA Región II. [c].
- [AM] Ascend Media. 2007. Metales Pesados y la Salud Humana [Documento Digital]. Industria Alimenticia; Vol. 18 (Edición 5): pag 55 – 55, 1 pag. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=zbh&AN=25283213&site=ehost-live>. Accesado 2008 Ene 17. [a].
- [AM] Ascend Media. 2007. Metales Pesados y la Salud [Documento Digital]. Industria Alimenticia; Vol. 18 (Edición 6): pag 52 – 52, 1 pag. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=zbh&AN=25644134&site=ehost-live>. Accesado 2008 Ene 17. [b].
- [AM] Ascend Media. 2007. Metales Pesados y la Salud, Tercera Parte [Documento Digital]. Industria Alimenticia; Vol. 18 (Edición 7): pag 149 – 149, 1 pag. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=zbh&AN=26635192&site=ehost-live>. Accesado 2007 Dec 18. [c].

- [ANSH] Alianza Nacional para la Salud de los Hispanos. 2005. Plomo en el agua potable. [Documento Digital] Disponible en: www.hispanichealth.org.
Accesado 2007 Nov 26.
- [ASTRE] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 2007. Plomo. [Documento Digital] Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/es/>.
Accesado 2007 Nov 26.
- [ASTRE] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 1999. Radón. [Documento Digital] Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/es/>.
Accesado 2007 Nov 26.
- Avery BK, Lemley A, Hornsby AG. 2003. Cryptosporidium: Un Patógeno Transmitido por el Agua. [Documento Digital] Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu>. Accesado 2007 Nov 26. SL130S.
- Canter LW. 1996. "Environmental Impact Assessment". Universidad de Oklahoma: McGraw Hill. 660 pag.
- Casado Cruz JL. 2007. Aplicación de las Enmiendas de la Ley de Agua Limpia Segura a Sistemas de la Autoridad Acueductos y Alcantarillados en Puerto Rico [Tesis]. Caguas (PR): Universidad del Turabo. 144 pag. Disponible en: Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad del Turabo, Caguas.
- [DCEU] Departamento de Comercio de los Estados Unidos, Negociado del Censo de los Estados Unidos. 2002. Puerto Rico: 2000, Perfil Demográfico. [Documento Digital] Disponible en: <http://www.gobierno.pr/NR/rdonlyres/CF4AAB8C-11E4-408C9621D84D20239FD3/0/PerfilPuertoRicoEspanol.pdf>. Accesado 2007 Oct 25. C2KPROF/00-PR(S).

- [DSA] Departamento de Salud Ambiental. 2005. Guía de Referencia Reglamentaria para un Sistema de Agua Superficial, DSA. 1 pag. Disponible en: Departamento de Salud, Ave. Ponce de León #431.
- [DSA] Departamento de Salud Ambiental. 2003. Guía de Referencia: Reglamentación de Agua Potable, DSA. 20 pag. Disponible en: Departamento de Salud, Ave. Ponce de León #431.
- [DSA] Departamento de Salud Ambiental. 2001. Requisitos del Departamento de Salud para Otorgar Endosos a Proyectos Relacionados con Acueductos Públicos, DSA. 17 pag. Disponible en: Departamento de Salud, Ave. Ponce de León #431.
- [DSA] Departamento de Salud Ambiental. 1999. Lista de Cotejo, Programa de Desarrollo de Capacidad, Plan de Garantía de Capacidad de Sistemas de Agua Potable Nuevos, DSA. 12 pag. Disponible en: Departamento de Salud, Ave. Ponce de León #431.
- [DSA] Departamento de Salud Ambiental y Escuela Graduada de Salud Pública [EGSP], Universidad de Puerto Rico. 1993. La Utilización y Tratamiento de las Aguas y la Operación de Acueductos Privados en Comunidades Rurales. Río Piedras: Universidad de Puerto Rico. 154 pag. Disponible de: EPA Región II.
- [DSEW] Departamento de Salud del Estado de Washington, División de Agua Potable. 2007. Nitrato en el Agua Potable. [Documento Digital] Disponible en: <http://www.doh.wa.gov/ehp/dw/>. Accesado 2007 Nov 26. DOH PUB. # 331-214.
- [DSM] Departamento de Salud de Minnesota, Programa de Plomo. 2006. Cómo encontrar plomo en su hogar, Fuentes comunes de plomo. [Documento

- Digital] Disponible en: www.health.state.mn.us/divs/eh/lead. Accesado 2007 Nov 26. IC #141-1343.
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2008. "Drinking Water Standards for Regulated Contaminants". [Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4606) <http://www.epa.gov/safewater>. Accesado 2008 Ene 17. [a].
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2008. "Proposed Radon in Drinking Water Rule". [Documento Digital] Disponible en: <http://www.epa.gov/safewater>. Accesado 2008 Ene 24. [b].
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2007. "Administrative Order SDWA – 02-2007-8302". Disponible en: EPA Región II. [a].
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2007. "Administrative Order SDWA – 02-2007-8303". Disponible en: EPA Región II. [b].
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2006. "Ground Water Rule". [Documento Digital] Disponible en: <http://www.epa.gov/safewater/disinfection/gwr/basicinformation.html>. Accesado 2008 Ene 30. [a].
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2006. "Stage 2 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule: A Quick Reference Guide For Schedule 1 Systems". [Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4606) <http://www.epa.gov/safewater>. Accesado 2008 Ene 09. EPA 816-F-06-001. [b].
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2004. "Lead and Copper Rule: A Quick Reference Guide". [Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4606) <http://www.epa.gov/safewater>. Accesado 2008 Ene 04. EPA 816-F-04-009. [a].
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2004. "The Long Term 1 Enhanced Surface Water Treatment Rule (LT1ESWTR) Implementation Guidance".

[Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4606M)
<http://www.epa.gov/safewater>. Accesado 2007 Jul 14. EPA 816-R-04-008.

[b].

[EPA] Environmental Protection Agency. 2003. El Agua del Grifo lo que usted debe saber. [Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4601) www.epa.gov/safewater. Accesado 2007 Jul 14. EPA 816-K-03-007. [a].

[EPA] Environmental Protection Agency. 2003. "Small Drinking Water Systems Handbook". [Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4601) www.epa.gov/safewater. Accesado 2007 Jul 31. EPA/600/R-03/041. [b].

[EPA] Environmental Protection Agency "Environmental Protection Agency". 2003. "Small Systems Guide To Safe Drinking Water Act Regulations". 816-R-03-017. [c].

[EPA] Environmental Protection Agency. 2003. "Proposed Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule". [Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4607M) www.epa.gov/safewater. Accesado 2008 Ene 04. EPA 815-F-03-005. [d].

[EPA] Environmental Protection Agency. 2002. "Consumer Confidence Report Rule: A Quick Reference Guide". [Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4606M) www.epa.gov/safewater. Accesado 2008 Ene 04. EPA 816-F-02-026. [a].

[EPA] Environmental Protection Agency. 2002. "Drinking Water From Household Wells". [Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4601) www.epa.gov/safewater. Accesado 2007 Jul 09. EPA 816-K-02-003. [b].

[EPA] Environmental Protection Agency. 2002. "Filter Backwash Recycling Rule Technical Guidance Manual". [Documento Digital] Disponible en: Oficina de

agua (4606M) www.epa.gov/safewater. Accesado 2008 Ene 04. EPA 816-R-02-014. [c].

[EPA] Environmental Protection Agency. 2001. "Arsenic and Clarifications to Compliance and New Source Monitoring Rule: A Quick Reference Guide". [Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4606) www.epa.gov/safewater. Accesado 2008 Ene 04. EPA 816-F-01-004. [a].

[EPA] Environmental Protection Agency. 2001. "Contaminants Regulated Under the Safe Drinking Water Act". [Documento Digital] Disponible en: www.epa.gov/safewater/mcl.html. Accesado 2007 Mar 07. [b].

[EPA] Environmental Protection Agency. 2001. "Radionuclides Rule: A Quick Reference Guide". [Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4606) www.epa.gov/safewater. Accesado 2008 Ene 04. EPA 816-F-01-003 [c].

[EPA] Environmental Protection Agency. 2001. "Total Coliform Rule: A Quick Reference Guide". [Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4606) <http://www.epa.gov/safewater>. Accesado 2008 Ene 04. EPA 816-F-01-035 [d].

[EPA] Environmental Protection Agency. 2000. Estableciendo Estándares para Agua Potable Segura. [Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4601) <http://www.epa.gov/safewater/index.html>. Accesado 2007 Jul 14. EPA 815-F-00-008. [a].

[EPA] Environmental Protection Agency. 2000. "The Public Notification Rule, A Quick Reference Guide". [Documento Digital] Disponible en: Oficina de agua (4606) <http://www.epa.gov/safewater>. Accesado 2008 Ene 09. EPA 816-F-00-023. [b].

- Gauthier V, Benoit B, Tremblay G, Millette R, Bernier A. 2003. "Impact of raw water turbidity fluctuations on drinking water quality in a distribution system" [Documento Digital]. Journal of Environmental Engineering & Science; Vol. 2 (Edición 4): pag 281-291, 11pag. Disponible en:<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=10929707&site=ehost-live>. Accesado 2007 Dec 18.
- Hackman CL, Hackman ME, Hackman III EE. 2002. Hazardous Waste Operations & Emergency Response manual and Desk Reference. Quebecor / Martinsburg: McGraw-Hill. 4.1 - 4.13 pag.
- Juarbe de Jesús C. 2007. Análisis Comparativo de Calidad Microbiológica de Agua y Percepción General de Comunidades que Usan Sistemas NON-PRASA en el Este de Puerto Rico [Tesis]. Caguas (PR): Universidad del Turabo. 111 pag. Disponible en: Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad del Turabo, Caguas.
- Lomba Ortiz E. 2005. ENSC 520: Legislación Ambiental Aplicada. Universidad del Turabo, Programa Graduado de Ciencias Ambientales. 2005.
- López Feliciano D. 1999. EL Ambiente y Las Leyes En Puerto Rico: Lo Que Todos Queremos Saber. Rincón: Publicaciones Paraíso. 303 pag.
- Martínez G, Senior W, Márquez A. 2006. "Especiación de metales pesados en la fracción disuelta de las aguas superficiales de la cuenca baja y la pluma del Río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela" [Documento Digital]. Ciencias Marinas, 32(2): pag. 239-257, 19 pag. Disponible en: <http://search.ebscohost.com>. Accesado 2007 Dec 18.
- Minnigh HA, Ramírez Toro GI. 2004. "Microbiological Regulation and Public Health: Time to make Case". AWRA Dundee: Scotland.

- Minnigh HA, Ramírez GI, Hunter P, Herson D, Verville D. 2006. "The Concurrence of Standard Microbiological Indicators of Potable Water Quality, Frank Pathogens and Human Disease in Small Potable Water Systems". Presentación PR02207. XXX Congreso Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Punta del Este, Uruguay. Disponible en: Universidad Interamericana de Puerto Rico: Ilustraciones CECIA.
- [NSC] National Safety Council. 2006. Todo Sobre Radón. [Documento Digital] Disponible en: <http://www.nsc.org/issues/radon/index.htm>. Accesado 2007 Nov 26.
- [OPS] Organización Panamericana de la Salud. 2000. Tecnologías Apropriadas en Agua Potable y Saneamiento Básico. [Documento Digital] Disponible en: http://www.paho.org/default_spa.htm. Accesado 2007 Nov 20.
- Ramírez Toro GI, Minnigh HA. 2006. "The Scientific Bases of Regulations as a Vehicle for Capacity Development in Small Rural Communities Served by Small Potable Water Systems: an EJ issue that integrates all sectors of society regard less of political, economic and racial boundaries". Presentación #30. 1^{er} Congreso de Educación Superior Privada en Puerto Rico, Contribuciones y Retos; San Juan, Puerto Rico. Disponible en: Universidad Interamericana de Puerto Rico: Ilustraciones CECIA.
- Ramírez Toro GI, Minnigh HA. 2004. "Regulation and Financing of Potable Water Systems in Puerto Rico: A Study in Failure in Governance". AWRA Dundee: Scotland.
- Ramírez Toro GI. 1997. Charla Maestra para ser Utilizada por Recursos que Visitan Sistemas de Agua para Uso Domestico No-Autoridad de Acueductos y Alcantarillados ('No-AAA'). Universidad Interamericana de Puerto Rico: Ilustraciones CECIA.

- Reger DL, Goode SR, Mercer EE. 1997. "Chemistry, Principles & Practice". 2^{da} edición. Estados Unidos: Saunders College Publishing. 1017 pag.
- Reynolds KA. 2002. Salmonella -- Un Patógeno Común y Mortal [Documento Digital]; Agua Latinoamérica; Vol. 2 (Num 1). Disponible en: <http://www.agualatinoamerica.com/ArchiveNewsView.cfm?pkArticleID=10&AT=T>. Accesado 2007 Nov 26.
- Rivera Bobé El. 1996. Eficiencia de un Filtro Experimental Lento de Arena en la Remoción de Organismos en el Trópico; Evaluación de la Eficiencia en Detección de Indicadores de los Medios de Cultivo MMO-MUG y LTB-MUG [Tesis]. San Germán (PR): Universidad Interamericana. Disponible en: CECIA, Universidad Interamericana, San Germán.
- Rodríguez L. 1996. Viabilidad de los Consorcios Públicos-Privados en la Reestructuración y Cumplimiento de los Sistemas Non-PRASA. [Tesina]. Río Piedras: Universidad de Puerto Rico. 125 pag. Disponible en: EPA Región II.
- Román Seda RA; Ortiz Soto MI, Cardona J, Pagán Trinidad I. 2001. Caracterización de un Filtro Lento de Arena con un Prefiltro de Flujo Horizontal de Grava. [Documento Digital]. Rev. Int. De Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil; Vol. 1 (Num 1): pag 87-97, 11pag. Disponible en: <http://www.uprm.edu/civil/revistadesastres/Vol1Num1/9RomanPagan.pdf>. Accesado 2007 Nov 20.
- Ruiz Buehl LM. 2007. Las Ciencias Ambientales en Puerto Rico [Tesis]. Caguas (PR): Universidad del Turabo. 177 pag. Disponible en: Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad del Turabo, Caguas.
- Sánchez S, Hwang S, Concepción D. 2007. "Telemetry Monitoring of A Small Water Supply". 7^{mo} Congreso de las Islas del Caribe del Recurso Agua;

Universidad de Islas Vírgenes, St. Croix, USVI. Disponible en:
<http://prwreri.uprm.edu/7CIWRC/>. Accesado 2008 Mar 18.

Apéndice Uno: Contaminantes Regulados Bajo el Acta de Agua Potable Segura Fuente: EPA 2001b, www.epa.gov/safewater/mcl.html

Contaminants Regulated Under the Safe Drinking Water Act										
Final Regulations	1976		1979	1986	1987	1988		1991		1992
	NPDWRs 1275, 776	New regs	THMs 1179	Fluoride 486	Phase I (VOCs) 787	TCR 689	SWTR 689	Phase II 191; 791	LCR 691	Phase V 792
Summary of Final Action			New reg	Revision	New regs	Revision	1 Revision 4 New regs	38 SOCs & IOCs; 11 Revisions 27 New regs +1 bacterium	1 Revision 1 New reg	23 SOCs & IOCs; 1 Revision 22 New regs
# in Regulation	22		1	1	8	1	5	39	2	23
Cumulative # of regulated contaminants	22		23	23	31	31	35	61	62	84
Contaminants regulated	2,4-D 2,4,5-TP (Silvex) arsenic barium cadmium chromium coliform bacteria cadin fluoride gross alpha gross beta	lead lindane mercury methylchlor nitrate radium-226 ¹ radium-228 ¹ selenium silver toxaphene turbidity	total THM ²	fluoride	benzene carbon tetrachloride 1,2-dichloroethane p-dichlorobenzene 1,1-dichloroethane 1,1,1-trichloroethane trichloroethylene vinyl chloride ³	total coliforms ²	Giardia ⁴ turbidity ⁴ HPC bacteria ⁴ Legionella ⁴ vibrios ⁴	2,4-D 2,4,5-TP acrylamide ⁴ alcohol aldicarb ⁵ aldicarb sulfide ⁵ aldicarb sulfoxide ⁵ asbestos amazine borium cobutram carbofuran chlorthane	(mono) chlorobenzene chromium dibromochloropropane o-dichlorobenzene cis-1,2-dichloroethylene trans-1,2-dichloroethylene 1,2-dichloropropane epichlorohydrin ⁶ ethylbenzene ethylacrylate hexachlorocyclopentadiene nickel oxamyl (vydate) PAHs (benzo(a)pyrene) phthalate, di(2-ethylhexyl) picloram simazine thiathum 1,2,4-trichlorobenzene 1,1,2-trichloroethane	adipate, di(2-ethylhexyl) antimony beryllium cyanide dalapon dichloromethane ⁶ dimoseb dioxin (2,3,7,8-TCDD) diquat endosulfan enazrin glyphosate

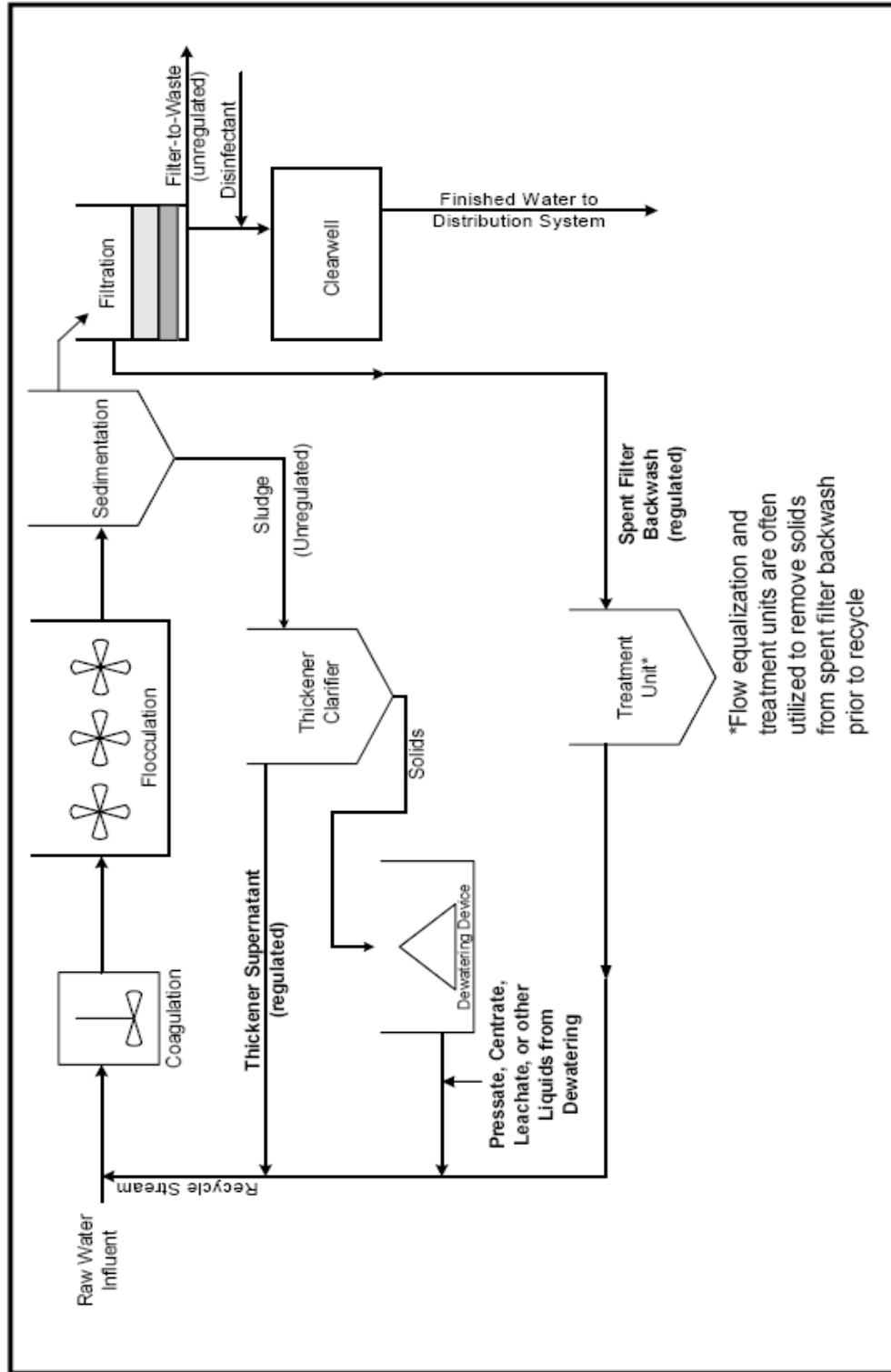
Notes:

- Radium-226 and radium-228 are counted as two contaminants although their standard is combined.
- Total THMs, haloacetic acids, and total coliforms are counted as one contaminant although both are combined standards; THMs (chloroform, bromodichloromethane, dibromochloromethane, bromoform); TC (total coliform bacteria including fecal coliforms and E.coli); HAA5 (monochloroacetic acid, dichloroacetic acid, trichloroacetic acid, bromoacetic acid, and dibromoacetic acid).
- Vinyl chloride is also known as chloroethylene & monochloroethylene.
- These nine contaminants have a treatment technique instead of a MCL.
- Aldicarb, aldicarb sulfone, and aldicarb sulfoxide are considered regulated contaminants although their MCLs are stay ad.
- Dichloromethane is also known as methyl ene chloride.

Updated 13 February 2001
<http://www.epa.gov/safewater/mcl.html>

Final Regulations	1995		1998		2000	2001
	Removal	Stage I DBPR 12/98	Interim ESWTR 12/98	Radiocesiums 12/00	Arsenic 1/01	
Summary of Final Action	1 Revision 6 New regs	1 Revision 6 New regs	2 Revisions 1 New reg	4 Revisions 1 new reg	1 Revision	1 Revision
# in Regulation	1	7	3	5	1	1
Cumulative # of regulated contaminants	83	89	90	91	91	91
Contaminants regulated	nickel	bromate chloramine chlorine chlorine dioxide chlorite haloacetic acids (HAA5) ⁷ THMs	Cryptosporidium Giardia turbidity	gross alpha gross beta radium-226 ¹ radium-228 ¹ uranium	arsenic	arsenic

**Apéndice Dos:
Sistema de Filtración Convencional con Recirculado**
Fuente: EPA 2002c, www.epa.gov/safewater



Apéndice Tres:
Proyecto de Demostración de Tecnología Filtros Lentos de Arena.
 Fuente: Román et al 2001,
<http://www.uprm.edu/civil/revistadesastres/Vol1Num1/9RomanPagan.pdf>

