



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

**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN
DE AGUA POTABLE PARA EL ÁREA URBANA DE LA CABECERA
DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS, GUATEMALA**

Carlos David Marroquín Juárez
Asesorado por la Inga. María del Mar Girón Cordón

Guatemala, marzo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN
DE AGUA POTABLE PARA EL ÁREA URBANA DE LA CABECERA
DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS DAVID MARROQUÍN JUÁREZ
ASESORADO POR LA INGA. MARÍA DEL MAR GIRÓN CORDÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

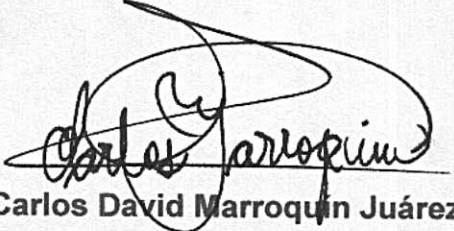
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. William Ricardo Yon Chavarría
EXAMINADOR	Ing. Cresencio Benjamín Cifuentes Velásquez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE PARA EL ÁREA URBANA DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 17 de mayo de 2013.



Carlos David Marroquin Juárez

Guatemala 11 de noviembre del 2015

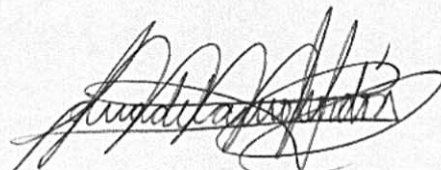
Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Faculta de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala


Estimado Ingeniero Hugo Montenegro

Informo que he revisado el trabajo de graduación **ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE LA LINEA DE CONDUCCION DE AGUA POTABLE PARA EL AREA URBANA DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS, GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Carlos David Marroquín Juárez, quien contó con la asesoría de mi persona, Ingeniera Civil María del Mar Girón Córdón.

Considero que este trabajo representa un aporte para la comunidad y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo, solicitando darle el tramite respectivo

Atentamente,


Inga. Maria del Mar Girón Córdón
Ingeniera Civil Colegiado No. 8445
Asesora


María del Mar Girón Córdón
Ingeniera Civil
Colegiado No. 8445



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
03 de febrero de 2016

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE PARA EL ÁREA URBANA DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS, GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Carlos David Marroquín Juárez, quien contó con la asesoría de la Ingeniera María del Mar Girón Córdón.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

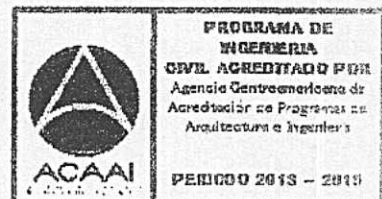
Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
Jefe Del Departamento de Planeamiento



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
USAC

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



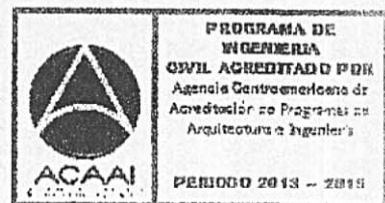
El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Maria del Mar Girón Cordón y del Coordinador del Departamento de Planeamiento Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Carlos David Marroquín Juárez, titulado **ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE PARA EL ÁREA URBANA DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS, GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, marzo 2016
/mrrm.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.118.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE PARA EL ÁREA URBANA DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos David Marroquín Juárez**, y después haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

9011/12
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, marzo de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios, todo poderoso	Por darme una familia, vida, salud y fuerzas necesarias para lograr este objetivo.
Mis padres	Flor de María Mercedes Juárez Velásquez y Reneé Marroquín Ochoa, por ponerme en sus oraciones y brindarme su apoyo y amor incondicional. Este logro también es de ustedes.
Mis hermanos	Gutty, Josué, Edmy, Ricardo y Flor de María por ser una fuente de apoyo en todo momento de mi vida y carrera profesional.
Mi esposa	Para cuando llegue a estar con ella, sepa que fue una de las motivaciones más grandes para superar cada meta y lograr este objetivo.
Mis hijos	Para cuando llegue a estar con ellos sepan que son una motivación muy grande para ser profesional y ser ejemplo en sus vidas.
Mis sobrinos	Por ser una fuente de alegría en mi vida y la de mi familia.
Mi abuelo	Carmen Marroquín (q. e. p. d.), Cupertina Ochoa (q. e. p. d.), Genoveva Velásquez (q. e. p. d.), y

especialmente a mi abuelo Carlos Juárez, por su apoyo y consejos de sabiduría.

Mi familia

Tíos, primos y cuñada por su apoyo y amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por convertirse en mi casa de estudios y fuente de conocimiento.

Facultad de Ingeniería

Por acogerme en el transcurso de mi carrera y proporcionarme el conocimiento necesario para ser un profesional.

Mis padres

Por su amor y por enseñarme e inculcarme principios y valores importantes en mi vida.

Mis hermanos mayores

Gracias por su amor y apoyo brindado a lo largo de mi vida y carrera.

**Inga. María del Mar
Girón Cordón**

Por asesorarme profesionalmente y de manera paciente en el proceso de elaboración del trabajo de graduación.

Mi Cuñada

Beatriz Orellana, por su apoyo y palabras de ánimo.

Mis tíos

Especialmente Adelfa Juárez por el apoyo brindado a lo largo de mi carrera universitaria.

Mis primos

Por su amistad, ejemplo de superación y profesionalismo.

**Mis amigos de la
Facultad**

Por su amistad y compañerismo en cada
para lograr este objetivo.

3.	CARACTERÍSTICA DE LAS AMENAZAS, DAÑOS Y RIESGOS PARA LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL ÁREA URBANA DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS	19
3.1.	Amenazas naturales.....	19
3.2.	Características de las amenazas y principales efectos en San Marcos	23
3.3.	Efectos generales producidos por terremotos.....	24
3.4.	Daños producidos por el terremoto	30
3.5.	Riesgos de contaminación en redes de agua potable.....	38
3.6.	Daños producidos por el movimiento telúrico del 7 de noviembre del 2012 en el área urbana de la cabecera departamental de San Marcos	40
3.7.	Efectos esperados en los sistemas de abastecimiento de agua potable	42
4.	FUNDAMENTO PARA EL ANÁLISIS Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	49
4.1.	Significado de la vulnerabilidad	49
4.2.	Naturaleza del problema	53
4.3.	Comportamiento esperado de los componentes físicos del problema	55
4.4.	Cuantificación de la vulnerabilidad	56
4.4.1.	Cálculo de la cuantificación física del sistema.....	59
5.	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	63
5.1.	Identificación de la organización para el abastecimiento de agua potable y la administración local.....	64
5.2.	Identificación de la forma de operación del sistema.....	65

5.3.	Descripción de la zona del sistema y su funcionamiento	95
5.4.	Identificación y características de las amenazas	96
5.4.1.	Evaluación de la amenaza sísmica.....	101
5.4.2.	Estimación de la vulnerabilidad	104
5.4.3.	Cálculo del número esperado de fallas por kilómetro	105
5.5.	Identificación de la vulnerabilidad	110
5.5.1.	Vulnerabilidad administrativa y funcional	111
5.6.	Vulnerabilidad operativa	111
5.7.	Vulnerabilidad física	112
6.	PLAN DE ACCIÓN ANTE LA EMERGENCIA	115
6.1.	Situación anterior.....	118
6.2.	Evaluación de daños	119
6.3.	Daños estimados.....	121
6.4.	Tiempo de rehabilitación.....	129
6.5.	Prioridades de abastecimientos.....	130
6.6.	Plan de emergencia.....	134
6.6.1.	Declaratoria de alerta y emergencias	135
7.	RESULTADOS ESPERADOS DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	141
7.1.	Beneficios sociales	141
7.2.	Beneficios ambientales.....	142
7.3.	Beneficios económicos	142
7.4.	Beneficios políticos.....	143
	CONCLUSIONES	145
	RECOMENDACIONES	149

BIBLIOGRAFÍA..... 151

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de zonas de la cabecera municipal y áreas rurales aledañas	12
2.	Mapa de isointensidades. Escala modificada de Mercalli	31
3.	Diagrama de flujo para la evaluación de la vulnerabilidad y medidas de mitigación	60
4.	Esquema general del acueducto de San Marcos	67
5.	Esquema del depósito de Red Baja bombeo	80
6.	Esquema del depósito de Red Baja Agua de la Montaña	81
7.	Esquema del depósito Red Media	85
8.	Esquema de depósito Red Alta	87
9.	Esquema de depósito La Asunción	88
10.	Límites de la red de distribución	90
11.	Evaluación de daños	120
12.	Composición sectorial del impacto y las necesidades del terremoto I	125
13.	Composición sectorial del impacto y las necesidades del terremoto II	126
14.	Daños en los sistemas de agua y saneamiento	126
15.	Impacto absoluto y relativo en agua y saneamiento por municipio	128
16.	Necesidades identificadas en agua y saneamiento	128

TABLAS

I.	Sismicidad histórica	20
----	----------------------------	----

II.	Escala modificada de Mercalli.....	26
III.	Boleta de evaluación rápida de daños departamento de San Marcos	41
IV.	Resumen de daños en sistemas de agua potable	43
V.	Vulnerabilidad global.....	50
VI.	Nacimiento Santa Lucía Ixcamal.....	68
VII.	Nacimiento de Los Arcos	69
VIII.	Nacimiento del Cerro Chil (La Cadena)	69
IX.	Nacimiento La Asunción	70
X.	Pozo número 1	71
XI.	Pozo número 2.....	72
XII.	Pozo número 3.....	73
XIII.	Sistema de conducción Ixcamal / Los Arcos / La Cadena	74
XIV.	Sistema de desinfección tanque de bombeo	77
XV.	Sistema de desinfección tanque agua de la montaña.....	78
XVI.	Sistema de desinfección tanque Red Media	78
XVII.	Sistema de desinfección tanque Red Alta.....	79
XVIII.	Depósito Red Baja bombeo	81
XIX.	Depósito Agua de la Montaña 1	82
XX.	Depósito Agua de la Montaña 2.....	83
XXI.	Depósito de Red Media.....	84
XXII.	Depósito de Red Alta	86
XXIII.	Depósito de red La Asunción	89
XXIV.	Áreas de abastecimiento.....	91
XXV.	Red de distribución según zona de abastecimiento	92
XXVI.	Intensidad sísmica	99
XXVII.	Factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FTPS).....	102
XXVIII.	Factor de amenaza por licuefacción potencial (FLPS).....	102
XXIX.	Factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS) ..	103

XXX.	Índices básicos de daño (IBD) por sismos, en tuberías de hierro fundido (HF)	104
XXXI.	Factores de corrección por tipo de material (FCM)	105
XXXII.	Cálculo del número esperado de fallas por kilómetro.....	106
XXXIII.	Índice de escasez.....	110
XXXIV.	Resumen de daños y pérdidas por sectores	124
XXXV.	Número de sistemas de agua y saneamiento dañados y monto total de daños.....	127
XXXVI.	Necesidades identificadas en agua.....	129
XXXVII.	Sistemas de alerta temprana en Guatemala	137

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
msn	Metros sobre el nivel del mar

GLOSARIO

Amenaza	La probabilidad de ocurrencia dentro de un tiempo y lugar determinado, de un fenómeno natural o antrópico, provocado por la actividad humana, que se torna peligroso para las personas, edificaciones, instalaciones, sistemas y para el medio ambiente.
Análisis de vulnerabilidad	Proceso para determinar los componentes críticos, débiles o susceptibles de daño o interrupción, de edificaciones, instalaciones y sistemas, o de grupos humanos, y las medidas de emergencia y mitigación a tomarse ante las amenazas.
Componente	Parte discreta del sistema capaz de operar independientemente, pero diseñado, construido y operado como parte integral del sistema. Ejemplos de componentes individuales son: pozos, estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, presas, sistemas de conducción, entre otros.
Desastre natural	Manifestación de un fenómeno natural que se presenta en un espacio y tiempo limitado y que causa trastornos en los patrones normales de vida, pérdidas humanas, materiales y económicas, debido a su impacto sobre poblaciones,

edificaciones, instalaciones, sistemas y el medio ambiente.

Fenómeno natural Manifestación de procesos naturales, ya sean atmosféricos o geológicos, tales como terremotos, huracanes, erupciones volcánicas y otros.

Medidas de mitigación Conjunto de acciones y obras a implementarse para reducir o eliminar el impacto de las amenazas, mediante la disminución de la vulnerabilidad de los sistemas y sus componentes.

Mw La escala sismológica de magnitud de momento (MW) es una escala logarítmica usada para medir y comparar terremotos. Está basada en la medición de la energía total que se libera en un sismo. Fue introducida en 1979, por Thomas C. Hanks y Hiroo Kanamori como la sucesora de la escala sismológica de Richter.

Ondas Rayleigh Ondas sísmicas. Son un tipo de onda elástica fuerte en la propagación de perturbaciones temporales del campo de tensiones que generan pequeños movimientos en las placas tectónicas.

Plan de mitigación Conjunto de medidas y obras a implementar antes del impacto de las amenazas, para disminuir la vulnerabilidad de los componentes y de los sistemas.

Prevención	Acciones de preparación para disminuir el impacto de las amenazas.
PVC	Policloruro de vinilo.
Riesgo	Es el número esperado de muertos, heridos, daños a la propiedad, interrupción de las actividades económicas, impacto social, debidos a un fenómeno natural o provocado por el hombre.
Sistema de agua potable	Conjunto de componentes construidos e instalados para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir agua a los usuarios. En su más amplia acepción comprende también las cuencas y acuíferos.
Vulnerabilidad	Es el grado de daños susceptible de experimentar por las personas, edificaciones, instalaciones, sistemas, cuando estén expuestas a la ocurrencia de un fenómeno natural (amenazas).

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo es llamar la atención y crear conciencia de la importancia que reviste la minimización de la vulnerabilidad de líneas vitales e instalaciones críticas de sistemas de agua potable, específicamente para el área urbana de la cabecera departamental de San Marcos, Guatemala. Se indican los aspectos más importantes que afectan su vulnerabilidad, así como los métodos que permiten reducirla, entregando algunas herramientas básicas para la evaluación del problema y recomendaciones de posibles soluciones. Por otra parte, es necesario hacer énfasis en las tareas de preparación de escenarios de riesgo que permitan establecer planes de contingencia adecuados para cada caso.

El riesgo sísmico es el resultado de la amenaza o peligro sísmico más la vulnerabilidad ($\text{amenaza} + \text{vulnerabilidad} = \text{riesgo}$) de una instalación o estructura en particular y por el costo de ésta, considerando todas las incertidumbres asociadas. La vulnerabilidad y el costo de la instalación no son variables independientes, ya que, generalmente, una reducción de la vulnerabilidad implica gastos y, por lo tanto, un incremento en el costo o valor total de la instalación. Teóricamente, sería posible eliminar por completo la vulnerabilidad de una estructura, pero en la práctica esto es ilusorio, tanto material como prácticamente. Por lo que, es necesario reducir la vulnerabilidad hasta un valor óptimo, desde el punto de vista de la relación costo-beneficio, llegando a un nivel tolerable (o aceptable) del riesgo, ya que su total eliminación no es económicamente viable. En el caso de las líneas o sistemas vitales y críticos, estos valores de riesgo tolerable serán, necesariamente, más bajos que

los del resto de las instalaciones comunes porque su importancia es vital para determinada comunidad.

OBJETIVOS

General

Evaluar la vulnerabilidad de la red de distribución de agua potable en el área urbana de la cabecera departamental de San Marcos.

Específicos

1. Identificar el tiempo de vida útil de la red principal de agua potable, desde su construcción, como también sus fuentes de capacitación.
2. Analizar el estado actual de los elementos que lo conforman.
3. Evaluar el tipo de mantenimiento que recibe, que ha recibido o que debería recibir.
4. Evaluar la calidad y condiciones de las construcciones de los elementos que la conforman.
5. Evaluar su ubicación en relación a las amenazas que se puedan presentan.
6. Proponer soluciones viables ante potenciales eventos.

INTRODUCCIÓN

La red de abastecimiento de agua potable, es un sistema de ingeniería que permite llevar el vital líquido, desde la captación hasta las viviendas de los habitantes de una ciudad, pueblo o área rural.

A lo largo de la existencia del hombre sobre la tierra se encuentran registros que hacen constar la manera en que los seres humanos han interactuado con el medio ambiente que los rodea y sus diferentes cambios y, en esa relación, año tras año son más vulnerables a las amenazas causadas por el hombre mismo o las de origen natural; aunque cada país, continente o región es diferente, así cada uno es vulnerable a sufrir de una manera u otra, ya sea por una inundación, terremoto, huracán, tornado, entre otros; provocando grande pérdidas en vidas humanas e infraestructura.

Las obras de infraestructura civil resultan vulnerables a la hora de un desastre. Las obras de infraestructura se encuentran en cualquier parte del mundo, y su objetivo principal es auxiliar al hombre en sus quehaceres diarios, por tal razón su funcionamiento adecuado es fundamental para el progreso y desarrollo de las sociedades y comunidades.

Una de las obras civiles de infraestructura más importantes dentro de la sociedad son los sistemas de distribución de agua potable, ya que a través de ellos llega a diferentes lugares como hospitales, casa y edificios, siendo el medio que hace llegar el agua a cada uno de ellos. Un caso importante es el sistema de distribución de agua potable del área urbana de la cabecera departamental San Marcos, el cual dejó de suministrar el vital líquido a la

población a causa del movimiento telúrico ocurrido el 7 de noviembre de 2012, lo que lleva a hacer un análisis profundo de las causas y consecuencias del funcionamiento de dicha red y que pueda servir como referencias para proyectos futuros y sistemas semejantes.

1. SISTEMAS DE AGUA POTABLE

1.1. Origen del agua

El agua es un compuesto químico formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. La fórmula de la molécula le confiere propiedades físicas y químicas muy especiales. Entre las propiedades más importantes se anota la alta capacidad para disolver otros compuestos, por esta razón se dice que es el disolvente universal. Esta característica hace que el agua no se encuentre químicamente pura en la naturaleza. Siempre se encuentran en ella compuestos disueltos o en suspensión.

El agua se encuentra en el aire que se respira, en el suelo, en los ríos, quebradas, lagos, el mar, las nubes y nuestro cuerpo.

Los tres estados en los que se encuentra el agua son el líquido, sólido o gaseoso. En estado líquido en los ríos, mares, lluvia, lagos; en estado sólido en los polos, cumbres de los nevados y en estado gaseoso en la atmósfera.

Considerando las consecuencias del uso del agua líquida sobre la salud, conviene definirla en sus diversas formas de presentación en la naturaleza.

En seguida se definen algunas de las presentaciones:

- Agua cruda o agua bruta: así se denomina el agua que no ha sido sometida a algún proceso de tratamiento para llegar a ser potable.

- Agua potable: es el agua adecuada para el consumo humano por sus características físicas, químicas y bacteriológicas. No afecta la salud del hombre, no produce rechazo y no ocasiona daño a las tuberías y otros materiales.
- Agua contaminada: es el agua que ha recibido bacterias o sustancias tóxicas que la hacen inadecuada para la bebida y el aseo corporal, aún cuando su apariencia sea la de agua limpia.
- En ocasiones contiene desechos humanos, industriales y otros provenientes de la contaminación del medio. En este caso se le denomina agua poluida.
- Agua atmosférica: está presente en la atmósfera en varias formas:
 - Gaseosa como vapor de agua
 - Líquida: como la lluvia
 - Sólida: como los cristales de hielo que forman la nieve y el granizo

En la atmósfera permanecen enormes cantidades de vapor que luego se convierten en agua de lluvia.

- Agua superficial: es el agua de los manantiales, quebradas, ríos, lagos, embalses, mares y océanos, que cubre las tres cuartas partes de la superficie terrestre; el 1 % de esta cantidad corresponde al agua dulce, la cual es indispensable para satisfacer nuestras necesidades corporales.
- Agua subterránea: es el agua que se infiltra en el suelo formando depósitos o almacenamientos. Se capta a través de pozos o aljibes”¹.

¹ VALVERDE SÁNCHEZ, Alberto. *Investigación y ciencia*. p. 18.

Saneamiento y salud: el abastecimiento de agua y el saneamiento son elementos fundamentales para la vida comunitaria y un adecuado desarrollo, influyen en la salud y, por tanto, en labores productivas específicas.

Aunque no existe una definición exacta del desarrollo, se entiende que este es un proceso que contempla al menos salud y longevidad mejoradas, mayor productividad y niveles de vida más altos, una mayor capacidad local para la resolución de problemas y un mejor acceso a bienes y servicios esenciales.

Los beneficios para la salud de los sistemas de agua y saneamiento resultan de una calidad y cantidad mejorada del agua y de instalaciones adecuadas de saneamiento y de cambios en el comportamiento relacionados con la higiene. Para cierto número de enfermedades transmitidas por el agua, la transmisión ocurre como resultado directo de beber agua contaminada.

Las enfermedades y la mala salud imponen una pesada carga sobre la comunidad, la familia, el individuo y la economía. La población más afectada es la infantil y los ancianos.

A continuación se describe las características principales de distribución del agua en la cabecera departamental de San Marcos.

- Agua para consumo humano: la administración, operación y mantenimiento del servicio de agua potable a la ciudad (cabecera municipal) está bajo la responsabilidad de la Empresa Municipal de Agua Potable (EMAP) de San Marcos.
- En el área rural, la captación y distribución de este servicio en las comunidades que lo poseen, se realiza casi siempre por gravedad y es

administrado por comités comunitarios específicos, sin embargo, no puede hablarse de agua potable porque en la mayoría de los casos no recibe algún tratamiento de desinfección, además, que las personas aún utilizan pozos artesanales para sustraer el agua para su consumo en el hogar.

1.2. Características generales de un sistema de agua

Los sistemas de agua potable sirven a poblaciones concentradas o dispersas, pudiendo estar administrados local o regionalmente, en forma autónoma o dependiente de una organización superior. Generalmente, son operados por personal local.

La administración de los sistemas de agua potable es un proceso dinámico que articula todos los componentes (físicos, técnicos y económicos, además del capital social representado en las personas), con el propósito de prestar un servicio bajo criterios de calidad y eficiencia. A través de la administración del sistema se logra que todas las actividades generadas para producir el servicio sean coordinadas y ejecutadas armónicamente. Para efectos de organización, las tareas o actividades se clasifican dentro de áreas, las cuales permiten darle orden al trabajo, establecer prioridades e identificar responsables, estas son:

- Comercial
- Financiera y contable
- Personal

Los sistemas pueden funcionar a gravedad, bombeo o pueden ser mixtos. En un sistema a gravedad el agua circula desde la captación hasta la

distribución, aprovechando la topografía del terreno. Un sistema por bombeo requiere de equipo electromecánico para el abastecimiento del agua. Un sistema mixto requiere para que el agua circule, tanto de equipo electromecánico como de la topografía del terreno.

“El sistema de abastecimiento de agua potable más complejo, que es el que utiliza aguas superficiales, consta de cinco partes principales”².

- Captación
- Almacenamiento de agua bruta
- Tratamiento
- Almacenamiento de agua tratada
- Red de distribución abierta

1.2.1. Captación

La captación puede ser de vertiente manantial o nacimiento, de río, subterránea o de acueducto, con estructuras de tipo muro, tanque, azud, con pozos o con derivación de un acueducto principal. Los muros y tanques están contruidos en concreto y tienen tamaños variables. Los pozos pueden estar revestidos con tuberías de PVC o acero, con bombas sumergibles u horizontales, alimentadas por un sistema eléctrico regional o por generadores auxiliares. Existen también sistemas de bombeo manual para abastecimiento unifamiliar. Las derivaciones pueden ser de canales abiertos (compuertas) o de tuberías.

² CAMPERO SANTOS, Carlos. *Sistemas-agua-potable-riesgo-vulnerabilidad-peligro*. p. 15.

La captación de un manantial debe hacerse con todo cuidado, protegiendo el lugar de afloramiento de posibles contaminaciones, delimitando un área de protección cerrada.

La captación de las agua superficiales se hace mediante bocatomas, en algunos casos se utilizan galerías filtrantes, paralelas o perpendiculares al curso de agua para captar las aguas que resultan, así con un filtrado preliminar.

La captación de las aguas subterráneas se hace mediante pozos o galerías filtrantes.

1.2.1.1. Almacenamiento de agua bruta o agua cruda

El almacenamiento de agua bruta se hace necesario cuando la fuente de agua no tiene un caudal suficiente durante todo el año para suplir la cantidad de agua necesaria. Para almacenar el agua de los ríos o arroyos que no garantizan en todo momento el caudal necesario se construyen embalses.

En los sistemas que utilizan agua subterránea, el acuífero funciona como un verdadero tanque de almacenamiento, la mayoría de las veces con recarga natural, sin embargo, hay casos en que la recarga de los acuíferos se hace por medio de obras hidráulicas especiales.

1.2.1.2. Tratamiento

Dependiendo de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua cruda, se hace necesario tratar el agua para entregarla al consumidor de acuerdo con los siguientes criterios de calidad.

- Que no sea rechazada por el consumidor
- Que no represente riesgo para la salud
- Que no cause deterioro a los sistemas de distribución

En función de la captación de la comunidad beneficiada y de la calidad del agua cruda, la cual depende de su origen, se define el tratamiento así; por ejemplo, algunas aguas subterráneas no necesitan tratamiento, solo una desinfección con el objetivo de proteger el agua en el trayecto de la captación hasta el consumidor. Sin embargo, otras requieren una desmineralización. Como una división general de los tratamientos se tienen:

- Tratamiento con químicos
- Tratamiento biológico

1.2.1.3. Almacenamiento de agua tratada

El almacenamiento consta de uno o varios tanques de almacenaje de tamaño variable, de concreto armado o concreto ciclópeo, enterrados, semienterrados, superficiales o elevados con estructura metálica o de concreto. Las plantas de tratamiento pueden tener aireadores, floculadores, sedimentadores y filtros. La desinfección puede ser manual o con dosificador. Este componente está ubicado en un área con cerramiento y puede tener una caseta donde se realiza la desinfección, que generalmente es el único tratamiento. En algunos casos la desinfección se realiza directamente en los pozos de captación.

El almacenamiento del agua tratada tiene la función de compensar las variaciones horarias del consumo, y almacenar un volumen estratégico para situaciones de emergencia. Existen dos tipos de tanques para agua tratada, tanques apoyados en

el suelo y tanques elevados, cada uno dotado de dosificador o hipoclorador para darle el tratamiento y volverla apta para el consumo humano³.

1.2.2. Conducción

Distribución del agua, una vez que el agua ha sido tratada debe distribuirse donde se va a consumir. La red de distribución puede requerir de estaciones de bombeo de agua tratada, similares a los de agua cruda anotados anteriormente, además de los tanques, tuberías y accesorios destinados para tal fin.

La conducción consta de tuberías, tanques de almacenamiento, tanques de distribución, tanques o cajas rompe presión y pasos aéreos. Las tuberías en general están enterradas, pueden ser de PVC, polietileno, asbesto, cemento o hierro, dependiendo de cada caso que se presente, el diámetro de los mismos dependerán del diseño para el cual fueran empleados. Los tanques rompe presión están contruidos con mampostería de ladrillo u concreto simple, debido a sus pequeñas dimensiones. Los pasos aéreos pueden tener estructuras sobre las que se asientan las tuberías, ser colgantes o subfluviales.

La aducción/conducción se efectúa mediante una tubería que conduce el agua que sale del desarenador hasta la planta de tratamiento o tanque de almacenamiento, en caso de no existir tratamiento.

- Operación y mantenimiento: dependiendo de la forma del terreno, la aducción puede estar conformada, además de la tubería, por accesorios como válvulas, ventosas, de purga, tanques de quiebre de presión, entre otros. La operación se limita al manejo de las válvulas de acuerdo con su

³ CAMPERO SANTOS, Carlos. *Sistemas-agua-potable-riesgo-vulnerabilidad-peligro*. p. 22.

función. El mantenimiento preventivo se realiza mediante la inspección de la línea de aducción, con el objetivo de detectar puntos de riesgo, como derrumbes, hundimientos, entre otros. El mantenimiento correctivo se refiere al arreglo de la tubería.

- Estaciones de bombeo: se da este nombre a las estructuras, las instalaciones y equipos requeridos para tomar el agua de un sitio de menor altura a otro sitio de mayor altura. Las estructuras de las estaciones de bombeo son diseñadas para montar las instalaciones, equipos y accesorios para succionar e impulsar el agua a un lugar determinado previamente.

Las estructuras se clasifican en tres grupos:

- Flotantes: en aguas superficiales
- Fijas en agua superficiales
- Fijas en los pozos de aguas subterráneas

Las principales instalaciones, equipos y accesorios de una estación de bombeo son:

- Las bombas
- Los motores
- Los arrancadores
- Los tableros de control
- Los transformadores
- Las válvulas
- Las tuberías de succión e impulsión ⁴.

⁴ CAMPERO SANTOS, Carlos. *Sistemas-agua-potable-riesgo-vulnerabilidad-peligro*. p. 28.

1.2.3. Red de distribución

Consta de tuberías de distribución, tanques repartidores, pasos aéreos o de río, conexiones domiciliarias con o sin medidores y puede tener sistema electromecánicos de impulsión. Las tuberías y accesorios pueden ser de PVC o polietileno con diámetros menores a 6 pulgadas y las conexiones domiciliarias son con tubería de hierro o polietileno generalmente con diámetro de 1/2 pulgada.

Pueden ser redes de circuito cerrado cuando los puntos de distribución están próximos entre sí o líneas abiertas cuando esos puntos están muy dispersos.

2. ANTECEDENTES

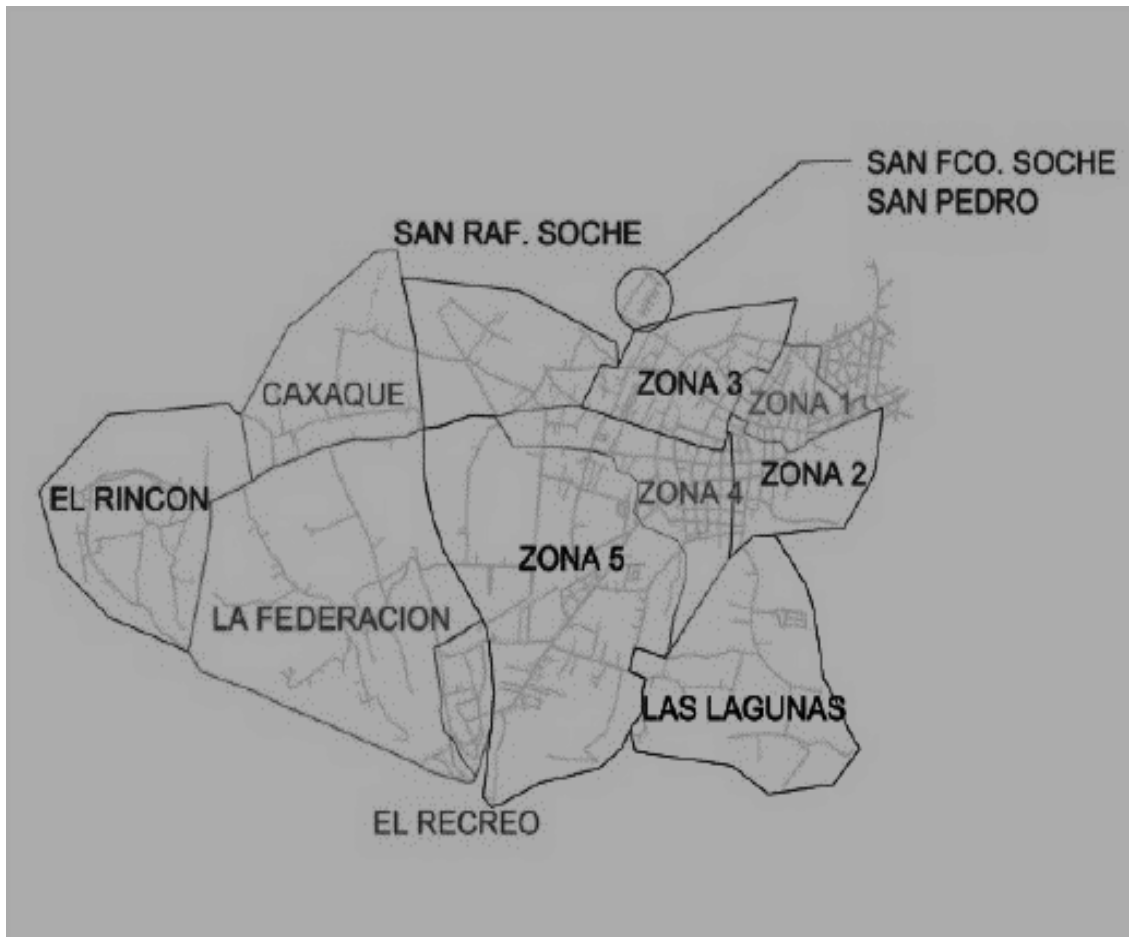
2.1. Reseña histórica

San Marcos fue fundado el 25 de abril de 1533, día del arribo de un contingente militar conformado por 50 hombres españoles que enviara el conquistador Pedro de Alvarado, al mando del capitán Juan de León Cardona, con el propósito de extender los dominios a estos lugares.

Llegaron al bosque llamado *Candacuchex* que significa tierra de frío, los españoles se apoderaron de él, para vivir apartados de los aborígenes, ya que su desconfianza hacia ellos era fuerte. En el punto dominante a la vista del pueblo, precisamente por donde hoy es el cantón Santa Isabel, hicieron alto y dispusieron descansar; tomando las medidas necesarias para su seguridad, durante la primera noche que iban a pasar en estas tierras, levantaron un improvisado campamento militar y encendieron fogatas; pues a pesar de que estaban en plena primavera, para ellos el clima era adverso⁵.

⁵ *Municipalidad de San Marcos*. <http://www.munisanmarcos.gob.gt/>. Consulta: abril de 2015.

Figura 1. **Mapa de zonas de la cabecera municipal y áreas rurales aledañas**



Fuente: TREJOS, May; FARRER S.R.L. Ingenieros consultores. *Plan maestro de agua potable de San Marcos*. p. 25.

El 25 de septiembre de 1675, el oidor de la Real Audiencia Lic. Juan Bautista de Arqueola, distribuye las tierras bajo la idea latifundista, surgiendo San Marcos como barrio de Quetzaltenango, al estilo español. El padre Juarros, en su Historia de Guatemala, dice que el barrio de San Marcos, aldea de ladinos en la provincia de Quetzaltenango, fue mandado a erigir por la Real Audiencia de 1755.

Don José Luis García A. dice sobre la fundación de San Marcos lo siguiente: con la construcción de viviendas al estilo español y con la necesidad de encauzar la vida colectiva dentro de normas administrativas, en 1752 San Marcos representado por 4, vecinos solicitó la instalación de su Ayuntamiento Municipal; iniciándose con esto la carrera política autónoma del pueblo y la actividad cívica de sus ciudadanos, principiando a figurar el apellido Barrios, para nominar a hombres que dedicaron su vida pública al nacimiento de la entidad de este nuevo pueblo.

Al distribuirse los pueblos del Estado de Guatemala para la Administración de Justicia por el Sistema de Jurados, adoptado en el Código de Livingston y decretado el 27 de agosto de 1836; San Marcos, fue adscrito al circuito del barrio; y fue elevado a la categoría de valle por Decreto el 12 de noviembre de 1825 y como tal, pasó a ser la cabecera del distrito territorial de su nombre, el 3 de julio de 1832. El censo fue levantado por el vecino Jesús del Castillo, el que dio por resultado la elección de la primera Municipalidad.

Los personajes que constituyeron la primera Municipalidad de San Marcos en 1754 fueron: alcalde primero, Sebastián de Barrios; alcalde segundo, Fernando Rodríguez; primer regidor, Pedro Escobar; mayordomo de cabildo, Marcos de Rodas.

El 16 de marzo de 1791, se produjo un terremoto y derrumbó el edificio de la Municipalidad. El 18 de abril de 1797, el Arzobispo don Juan Félix de Villegas ordenó la construcción del nuevo templo católico; este duró hasta el 6 de agosto de 1944, pues se desplomó a consecuencia de un nuevo terremoto.

El 30 de septiembre de 1821, siendo el alcalde don José Bonifacio Barrios, se reúne el ayuntamiento de San Marcos para jurar la Independencia Nacional, promoviendo una celebración con todo el pueblo. Por falta de medios de comunicación la noticia de la emancipación política nacional llegó a los 15 días.

El 8 de mayo de 1866, por Decreto Gubernativo se eleva el distrito a departamento. El 16 de agosto de 1898, asciende a cabecera departamental. El 27 de noviembre de 1933, el Decreto 477 dispone trazar una nueva población entre

San Marcos y San Pedro Sacatepéquez, con el nombre: “La unión”. El 9 de febrero de 1942, se establece un nuevo municipio, con el nombre de San Marcos La Unión. El 20 de julio de 1945, desaparece del departamento de San Marcos, el municipio de La Unión, para restablecer los municipios de San Marcos y San Pedro Sacatepéquez. El 8 de mayo de 1966, San Marcos celebra el primer centenario de su creación como departamento⁶.

2.2. Terremotos en San Marcos

El terremoto de Guatemala de 2012 fue un movimiento telúrico con una magnitud de 7,4 Mw, ocurrido el miércoles 7 de noviembre de 2012 a las 10:35:47 hora local (16:35:47 UTC). El epicentro del sismo se situó en el océano Pacífico a 35 km al sur de Champerico, Guatemala. El sismo pudo percibirse en gran parte de Centroamérica, así como el centro y sudoeste de México.

El Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico emitió un aviso sobre la posibilidad de un tsunami dentro de un área desde 160 a 320 km del epicentro (desde México hasta Colombia). Esta alerta fue cancelada posteriormente. Este es el sismo más fuerte que se haya registrado en Guatemala después de 36 años, cuando el terremoto del 4 de febrero de 1976, con una magnitud 7,5 Mw, sacudió el país, dejando más de 23 000 muertos.

En Guatemala, los departamentos afectados fueron San Marcos, Quetzaltenango, Sololá, Retalhuleu, Totonicapán, Quiché, Huehuetenango y Suchitepéquez. Se confirmaron un total de 44 muertos y 175 heridos en Guatemala, mientras que United States Geological Survey (USGS) da a 139 la cantidad de muertos por el sismo. En el departamento de San Marcos se registraron 30 muertos, así como edificios colapsados o con daños severos. Diez de las víctimas, todos de una sola familia, fallecieron soterrados por un deslizamiento que ocurrió en el municipio de San Cristóbal Cucho. En el departamento de Quetzaltenango se registraron once muertos en los municipios de Zunil, Concepción Chiquirichapa, Huitán y Quetzaltenango. Un día después del sismo, se registró un total de 2 966 evacuados y 5 251 damnificados de una

⁶ *Municipalidad de San Marcos*. <http://www.munisanmarcos.gob.gt/>. Consulta: abril de 2015.

población afectada de 1,3 millones. Siete días después del terremoto, estas cifras incrementaron a 25 941 evacuados y 26 010 damnificados.

Los daños materiales fueron considerables en los 8 departamentos afectados. Miles de viviendas sufrieron daños severos o fueron destruidas, carreteras fueron bloqueadas por deslizamientos y se produjeron cortes de electricidad y de comunicación. Según información preliminar de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (Conred), 12 376 viviendas fueron afectadas, de las cuales 2 637 han sido declaradas inhabitables. Brigadas de evaluación de daños —compuestas de 800 técnicos de Conred, militares, y voluntarios capacitados— fueron creadas para evaluar la totalidad de los daños en los departamentos afectados. Más de 25 000 personas fueron evacuados, de las cuales más de 9 000 están atendidas en 61 albergues en los departamentos de San Marcos, Quiché y Quetzaltenango.

En la capital del país, Ciudad de Guatemala, el edificio del Palacio Nacional de la Cultura (sede del gobierno hasta el 2001) y que sufrió algunos daños en el sismo de 1976, resultó con algunas fisuras; aunque estos fueron catalogados por las autoridades del palacio y museo como leves, hubo separaciones de las columnas que dividen los tres bloques que componen el edificio. Algunas lámparas quedaron rotas y ciertas piezas decorativas de madera se cayeron, pero la mayor preocupación es el desprendimiento de los murales del artista Alfredo Gálvez Suárez, entre el primer y el segundo pisos del inmueble, ya que es visible que el material sobre el que fueron pintados -celotex- se separó de las paredes⁷.

2.3. Línea de conducción de agua potable en el área urbana de la cabecera departamental de San Marcos a través del tiempo

En un sistema de abastecimiento de agua, el nivel de servicio se define básicamente por los siguientes parámetros:

⁷ *Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (Conred).* <http://www.conred.gob.gt/www/images/sismo72>. Consulta: abril de 2015.

- Cobertura
- Calidad
- Continuidad
- Presión
- Costo

A lo largo de todo el proceso de formulación y análisis del proyecto, se consideraron como requerimientos básicos las siguientes condiciones:

- Cobertura: mantener una cobertura del servicio de abastecimiento de agua de un 100 %, mediante la conexión de cada usuario.
- Calidad: se suministrará agua potable en toda el área. Las características del agua potable corresponden a las establecidas en la normativa vigente.
- Continuidad: en condiciones normales de operación, se brindará el suministro continuo (24 horas, 365 días al año) de agua al 100 % de los usuarios en el área de estudio.
- Presión: en condiciones normales de operación, todos los usuarios en el área de estudio tendrán un suministro de agua en su conexión con una presión mínima equivalente a aquella que permita el abastecimiento normal de una segunda planta de una residencia, y una presión máxima que no supere la presión de trabajo de las tuberías y accesorios de uso común, no propicie la ocurrencia de fugas y favorezca el control del agua no contabilizada.

- Hasta donde sea posible técnicamente, y de acuerdo con costos razonables, las zonas de presión se diseñarán para presiones máximas de 75 mca. Este criterio se aplicará en principio, sujeto a verificación posterior de factibilidad técnica y financiera en cada sistema.
- Costo: se identificará y recomendará la opción que represente el menor costo (de inversión, operación y mantenimiento evaluados al horizonte del proyecto) y que permita la satisfacción de las condiciones establecidas anteriormente para el resto de los parámetros que definen el nivel de servicio deseado en el área de estudio.

3. CARACTERÍSTICA DE LAS AMENAZAS, DAÑOS Y RIESGOS PARA LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL ÁREA URBANA DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS

3.1. Amenazas naturales

Guatemala es una región expuesta a varias amenazas naturales: sismos, huracanes, erupciones volcánicas, inundaciones deslizamientos y sequías, entre otros, las cuales se presentan con cierta frecuencia dejan a su paso pobreza y destrucción.

Los resultados de los últimos desastres han demostrado el incremento de la vulnerabilidad provocada por la acción del hombre, ha aumentado la frecuencia y el impacto de los desastres. Entre otras consecuencias, los servicios de agua y saneamiento se ven seriamente afectados, lo que influye de manera negativa sobre la salud y el bienestar de la población.

“De los 29 municipios que conforman este departamento, 13 tuvieron afecciones en el subsector agua y saneamiento, donde se dañaron 119 sistemas de saneamiento y el monto total estimado de daños asciende a los Q 8,2 millones”⁸.

Las amenazas naturales que afectan a la región son:

⁸ SEGEPLAN. *Informe evaluación impacto terremoto 2012*. p. 41.

- Terremotos
- Deslizamientos
- Erupciones volcánicas
- Tormentas
- Sequias

Siendo los terremotos los que predominan y los que han ocasionado mayores daños a las líneas de conducción de agua potable.

- Sismicidad histórica

“Históricamente, cada uno de los sistemas de fallas ha producido gran cantidad de eventos sísmicos importantes, entre ellos varios destructores. En el siglo XX se tienen registrados 18 eventos que generaron intensidades sísmicas mayores o iguales a VII en la escala de mercalli modificada, en distintos sitios del país. Los más importantes, debido al área afectada o a los daños causados, fueron”⁹.

Tabla I. **Sismicidad histórica**

Fecha	Región afectada
19 de abril de 1902	Zona suroccidente; Ms 7,9; IMM VIII; origen: zona de subducción, generó los mayores daños en Quetzaltenango, San Marcos y San Pedro Sacatepéquez (San Marcos). Se reportaron derrumbes en Cerro Quemado y licuefacción en Ocos. Se estima que murieron alrededor de 1 500 personas. Se sintieron un gran número de réplicas, principalmente en la zona costera.

⁹ Molina, et. al. 2009. *Evaluación de la amenaza sísmica en Guatemala*. Proyecto RESIS II. p. 55.

Continuación de la tabla I.

<p>25 de enero de 1918</p>	<p>Zona central; Ms 6,2; IMM VIII; origen: graben de ciudad de Guatemala Este fue el sismo de mayor magnitud de una serie de eventos que tuvo lugar desde finales de diciembre de 1917, hasta finales de enero de 1918. Los sismos anteriores a este ya habían causado daños graves en ciudad de Guatemala y Amatitlan. Se reportaron sismos con magnitudes entre Ms 5,1 a 6,2.</p>
<p>6 de agosto de 1942</p>	<p>Zona del altiplano; Ms 7,9; IMM VIII; origen: zona de subducción Los peores daños se reportaron en Chimaltenango y Sacatepéquez, fue sensible en el sureste de México. Las réplicas se sintieron hasta el mes de septiembre. Murieron 38 personas y las pérdidas fueron estimadas en 1 millón de dólares americanos. Se produjeron deslizamientos que bloquearon la carretera CA-1.</p>

Continuación de la tabla I.

4 de febrero de 1976	zona del altiplano central; Ms 7,5; IMM IX; origen: falla del Motagua, las poblaciones de San Juan y San Pedro Sacatepéquez del departamento de Guatemala registraron los mayores daños. Este terremoto causó 23 000 muertos 76 000 heridos y dejó 255 000 casas destruidas. Hubo gran cantidad de deslizamientos en el altiplano central y licuefacción en el departamento de Izabal. Afectó a 17 de los 23 departamentos del país. La traza de la falla fue observada a lo largo de 229 km, con un desplazamiento promedio, lateral-izquierdo, de 1 m. Se registró un pequeño tsunami de 45 cm de amplitud en el mareógrafo de Puerto Cortéz, Honduras. Las réplicas duraron varios meses y el evento activó el sistema de Fallas de Mixco, en el extremo oeste del graben de la Ciudad de Guatemala
----------------------	--

Fuente: elaboración propia.

3.2. Características de las amenazas y principales efectos en San Marcos

Las razones para proteger los sistemas de agua y saneamiento frente a desastres naturales, van desde la protección de la salud hasta asegurar la inversión de las instituciones del sector de agua y saneamiento.

La interacción entre las amenazas naturales y los sistemas de agua y saneamiento, ha dejado en evidencia cuán expuesta se encuentra la infraestructura a ser dañada. El efecto de los fenómenos naturales sobre los sistemas de agua se ha traducido en:

- Pérdidas económicas para la Empresa Municipal de Agua Potable (EMAP), por los cuantiosos daños directos e indirectos que se generan. Los daños directos están asociados a los físicos en la infraestructura. Los indirectos están asociados al costo adicional que incurre la EMAP para atender la emergencia y a la falta de recaudación debido a la interrupción de sus servicios, entre otros.
- Alteraciones en la calidad de los servicios y exposición a riesgos para la salud, debido al deterioro de la calidad de los mismos

La inversión en la mitigación y prevención de desastres pudo minimizar el gasto realizado en la emergencia y rehabilitación de la línea de conducción de agua potable, lo que hubiera significado un ahorro para la corporación municipal.

3.3. Efectos generales producidos por terremotos

Los movimientos de la corteza terrestre generan deformaciones intensas en las rocas del interior de la tierra, acumulando energía que súbitamente es liberada en forma de ondas que sacuden la superficie terrestre. Estos sacudones son los llamados terremotos, temblores o sismos. Este evento se caracteriza por ser un evento no predecible, no controlable, ni alterable por el hombre. La gravedad del impacto se relaciona con la magnitud de la energía liberada, la distancia y ubicación del epicentro del terremoto o sismo en relación con el elemento expuesto y las condiciones locales del terreno.

Un terremoto tiene efectos directos y secundarios. Los efectos directos son aquellos causados por el sacudimiento producido por el paso de la onda sísmica y los secundarios por las deformaciones permanentes del terreno, como deslizamientos y correntadas de lodo, licuación del suelo, avalanchas y maremotos. Para la caracterización de la amenaza sísmica, se dispone de información de varios niveles de complejidad, cuya utilización dependerá del tipo de estudio que se desee elaborar.

Los tipos más comunes de datos sobre esta amenaza son los siguientes: la sismicidad de la región, mapas de zonificación sísmica (que existen en muchos países y se pueden complementar con mapas sobre información geológica, en los cuales se destaquen los sistemas de fallas activas o potencialmente activas), la longitud de ruptura y desplazamientos permanentes de fallas activas (la magnitud Richter de un sismo está directamente relacionada a la longitud de ruptura o superficie del callamiento), datos sobre maremotos o tsunamis.

Según su magnitud, los terremotos pueden producir fallas en las rocas, en el subsuelo, hundimientos de la superficie del terreno, derrumbes, deslizamientos de tierras y avalanchas de lodo; pueden asimismo reblandecer suelos saturados (debido a la vibración), reduciendo la capacidad de sustentación de fenómenos, combinados con la ondulación del suelo, puede producir destrucción y otros daños directos en cualquier parte de los sistemas de abastecimiento de agua, alcantarillado sanitario o desagües de aguas lluvias, ubicados dentro del área afectada por el sismo.

También grandes lluvias pueden producir derrumbes, deslizamientos y avalanchas de lodo. Más adelante se incluye un listado de los tipos de daños que pueden sufrir las distintas partes de estos sistemas.

La magnitud y características de los daños estará usualmente relacionada con:

- La magnitud del terremoto y la extensión geográfica que cubre.
- El diseño antisísmico de las obras, su calidad constructiva, su tecnología, su mantenimiento y estado real a la fecha del desastre.
- La calidad del terreno donde se sitúan las obras y también el de la zona adyacente, ya que existe la posibilidad de que las obras mismas resistan al sismo, pero un deslizamiento de tierras adyacentes, por ejemplo, podría causar daños por efecto en cadena del terremoto, es también el caso de la rotura de una presa, destruida por el sismo, que podría dañar obras de este sector por efecto de la avalancha de las aguas.

La mayor parte de estas obras, especialmente las tuberías de agua potable, alcantarillado sanitario y alcantarillado de aguas de lluvia, se construyen bajo el nivel del suelo; luego se rellenan las excavaciones, por lo que no están usualmente a la vista. Estas estructuras enterradas reaccionan, frente a un sismo, de manera distinta que los edificios o estructuras sobre el nivel del suelo¹⁰.

¹⁰ *Secretaría de planificación y programación de la presidencia.* http://www.Informe_Evaluacion_impacto_terremoto_2012.pdf. Consulta: abril de 2015.

La escala sismológica de Mercalli es de doce grados desarrollada para evaluar la intensidad de los terremotos a través de los efectos y daños causados a distintas estructuras. Así, la intensidad de un terremoto no está totalmente determinada por su magnitud, sino que se basa en sus consecuencias, empíricamente observadas.

Tabla II. **Escala modificada de Mercalli**

Grado	Descripción	Efectos en los sistemas de Agua potable
I grado	Aceleración menor a 0,5 gal; detectado sólo por instrumentos, sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.	Turbulencia menor, efectos únicamente en el líquido mas no en la infraestructura.
II grado	Aceleración entre 0,5 y 2,5 gal; sacudida sentida sólo por muy pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios.	Turbulencia menor, efectos únicamente en el agua mas no en la infraestructura.
III grado	Aceleración entre 2,5 y 6,0 gal; acudida sentida claramente dentro de un edificio, especialmente en los pisos altos, muchas personas no la asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado.	Pequeñas oscilaciones en las tuberías con pasos aéreos.

Continuación de tabla II.

<p>IV grado</p>	<p>Aceleración entre 6,0 y 10 gal; sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de las vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.</p>	<p>Oscilaciones en los pasos aéreos.</p>
<p>V grado</p>	<p>Aceleración entre 10 y 20 gal; sacudida sentida casi por todos; muchos despiertan. Algunas piezas de vajillas, vidrios de ventanas, entre otros, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; objetos inestables caen. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Detención de relojes de péndulo.</p>	<p>Ocilaciones en pasos aereos considerables que generan agrietamientos en los soportes. Agrietamientos en paredes de tánques, cajas.</p>
<p>VI grado</p>	<p>Aceleración entre 20 y 35 gal; sacudida sentida por todos; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio, pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.</p>	<p>Ocilaciones en pasos aereos considerables que generan agrietamientos en los soportes. Agrietamientos en paredes de tanques, cajas.</p>

Continuación de tabla II.

<p>VII grado</p>	<p>Aceleración entre 20 y 35 gal; sacudida sentida por todos; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio, pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.</p>	<p>Daños de menor grado en las infraestructura. (tanques, oficinas, tubería)</p>
<p>VIII grado</p>	<p>Aceleración entre 60 y 100 gal; daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel de agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían vehículos.</p>	<p>Daños considerables al empezar destrucciones parciales en elementos y administración.</p>

Continuación de tabla II.

<p>IX grado</p>	<p>Aceleración entre 100 y 250 gal; daño considerable en estructuras de buen diseño; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.</p>	<p>Daños considerables al empezar destrucciones parciales en elementos y destrucción de tubería especialmente haciendo imposible el suministro de agua potable.</p>
<p>X grado</p>	<p>Aceleración entre 250 y 500 gal; destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.</p>	<p>Daños considerables al empezar destrucciones parciales en elementos y destrucción de tubería especialmente haciendo imposible el suministro de agua potable.</p>

Continuación de tabla II.

XI grado	Aceleración mayor a 500 gal; casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas	Una destrucción parcial de los elementos y oficinas administrativas.
XII grado	Destrucción total, ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel. Objetos lanzados al aire hacia arriba. Catástrofe.	Destrucción total en la tubería, elementos, haciendo imposible el suministro del vital líquido.

Fuente: elaboración propia con datos de: *Insivumeh*.

<http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica>. Consulta: noviembre de 2014.

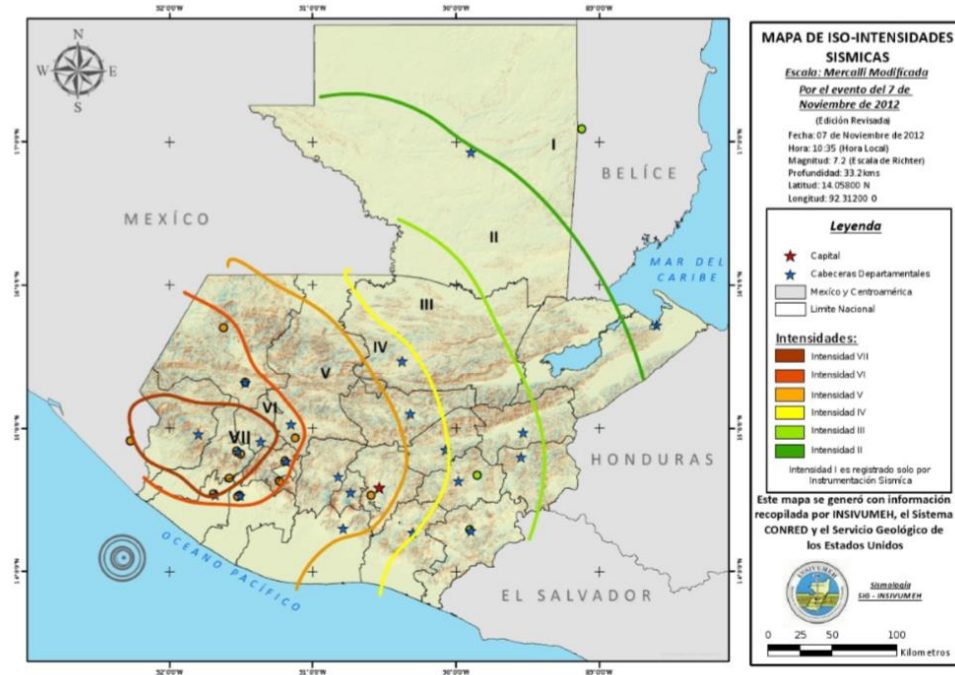
Con la utilización de la escala de Mercalli se puede definir el grado de intensidad para el siniestro ocurrido en el 2012, cuyas características en lo referido a los daños coinciden con lo establecido por los especialistas como un sismo de magnitud VII.

3.4. Daños producidos por el terremoto

A continuación se hace una breve descripción de los daños que se pueden producir por un terremoto. En la figura 2 se muestra el mapa de las intensidades macrosísmicas por medio de curvas isosistas en la escala de Intensidad de Mercalli Modificada (MMI). El mapa elaborado representa los niveles de daños producidos por el terremoto, sin distinguir si tales daños se debieron a la

vibración localizada del suelo, a la licuación de suelos, a deslizamientos u otros fenómenos locales

Figura 2. Mapa de isointensidades. Escala modificada de Mercalli



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Unidad de Investigación y Servicios Geofísicos Departamento de Sismología. *Sismo de magnitud 7,2 del 7 de noviembre de 2012*. p. 10.

- Obras sobre el nivel del suelo: son obras que en su mayor parte están a la vista, por lo que es posible una apreciación visual de los daños casi desde el momento de producirse un sismo. En estas obras, la resistencia de la estructura depende de la relación entre su rigidez y su masa, mientras que para las tuberías enterradas no es relevante la masa, sino principalmente las deformaciones del terreno producidas por el movimiento telúrico.

- Edificios, bodegas, viviendas y casas de máquinas: tanto los edificios de administración de los servicios, las bodegas de materiales, las viviendas de técnicos, cuidadores y operarios, así como diversos tipos de casas de máquinas o plantas, tenderán a comportarse en forma semejante a construcciones similares de otros sectores como vivienda, salud, entre otros, y a sufrir daños tales como fisuras, grietas, colapsos parciales o totales. El nivel de daños dependerá del diseño sísmo resistente y materiales empleados en la construcción de estas obras.
- Tanques: en este caso, la masa determinada por el volumen de agua almacenado puede ser muy grande y, por eso, serán también grandes las sollicitaciones producidas por el sismo. Si son tanques elevados existe el riesgo adicional de que las vibraciones de los terremotos puedan hacerlos resonar. Esta tendencia de las edificaciones elevadas a vibrar al compás de las vibraciones del suelo natural, alcanza su intensidad máxima cuando se asientan sobre capas gruesas de depósitos no consolidados. Además de los efectos del sismo sobre la estructura de los tanques, la oscilación y olas del agua almacenada puede implicar riesgos adicionales, especialmente cuando no se han diseñado placas amortiguadoras en su interior. Según la calidad de diseños, construcción y mantenimiento de los tanques, por una parte, combinado con la magnitud del sismo y la forma de reacción del suelo, por otra, pueden producirse desde daños menores hasta daños muy graves incluyendo su derrumbe o colapso. En caso que el agua derramada tenga un volumen importante puede producir daños adicionales de consideración.

- Tanques semienterrados: los construidos usualmente de mampostería de piedra, de concreto, concreto armado u otros materiales, pueden sufrir daños tales como:
 - Grietas en los muros, piso, cubierta o en las zonas de encuentro de dichos elementos, así como en los lugares de entrada o salida de las tuberías. Estas grietas pueden variar desde las fácilmente reparables, hasta las que implican reconstruir totalmente la obra.
 - Derrumbe parcial de la cubierta, pilares interiores o parte de muros o piso, que pueden requerir desde reparaciones parciales de cierta importancia a la reconstrucción total.
 - Derrumbe o colapso de la obra.
- Tanques elevados: los tanques elevados de tamaño regular o grande se construyen usualmente de acero o de concreto armado. Se incluyen aquí los tanques de regulación o almacenamiento para ciudades y pueblos.

Los tanques sostenidos por estructuras de acero: son con amplios tirantes diagonales, soportan bien los terremotos; su punto más vulnerable está donde las tuberías (que forman la estructura soportante) penetran en la tierra. Sin embargo, diversas formas de diseño, construcción y mantenimiento de los tanques de acero, combinado con diversas magnitudes de los sismos y distinta respuesta del terreno de fundación, podrían producir:

- Daños leves como cortadura de tirantes diagonales, los que pueden ser reparados o reemplazados rápidamente.
- Daños en la estructura de apoyo, o en la cuba (donde se almacena el agua), que pueden variar desde menores hasta graves, y que pueden producirse, más probablemente, en la zona de unión con la estructura soportante o donde entran o salen las tuberías de agua.
- Colapso o derrumbe de la obra.
- Los tanques de concreto, debido a sismos podrían verse afectados de la siguiente manera:
 - Pérdidas superficiales de estucos, fácilmente reparables, aunque pueden requerir andamios.
 - Daños en tuberías de entrada o salida del estanque o de elementos sobrepuestos, tales como escalas de acceso o similares, que en si no comprometen la estructura del estanque y pueden ser reparables con labores de simple a mediana dificultad.
 - Grietas en la estructura de apoyo y en la cuba, las que pueden producirse, por ejemplo, en las zonas de traslape de excesivo número de armaduras de hierro; en las zonas en que las tuberías cruzan los muros de concreto; en la unión de cuba y estructura soportante o en la base de esta última.
 - Desplome o inclinación de la estructura o fallas en las fundaciones, usualmente de significado muy grave.
 - Derrumbe o colapso de la obra.

El índice de supervivencia de los tanques elevados de concreto armado es menor que los de acero y las precauciones para su construcción, están claramente definidas. Una estructura de concreto armado puede esconder mucho más los daños que una estructura de acero, por lo que todo daño que vaya más allá de pérdidas superficiales del estuco, debiera ser examinado y diagnosticado por un especialista, a fin de evitar que lo que puedan parecer simples grietas se transformen, con un nuevo sismo, en origen de un problema más grave.

- Pequeños tanques elevados: son tanques pequeños de almacenamiento de agua, usados para viviendas aisladas, pequeños grupos de viviendas, escuelas, pequeñas industrias, entre otros, estos se construyen en una gran variedad de materiales que incluyen estructura de apoyo de madera, o perfiles metálicos u concreto armado, y la cuba de plancha de hierro corrugado o liso, cemento asbesto, polietileno u concreto armado.
- Los tanques de hierro corrugado se derrumban con frecuencia ante los terremotos, pero la experiencia indica que esto se debe más al mal mantenimiento que a la inestabilidad.
- Los pequeños tanques elevados pueden sufrir daños en la estructura de apoyo y en la cuba, desde ligeros, fácilmente reparables hasta el desplome de la estructura y necesidad de cambiar la cuba. En las estructuras de madera probablemente se pueda recuperar parte del material lo mismo que en las estructuras metálicas (excepto las partes que puedan estar corroídas).
- Represas y embalses: se considera solo las represas y embalses para abastecimientos de agua potable. Un movimiento sísmico importante

puede ocasionar, grandes olas en el embalse con el riesgo de que rebasen por sobre la presa. Este peligro puede ser aún mayor cuando derrumbes o deslizamientos de tierras, producidas por el propio terremoto, caen dentro del embalse, produciendo casi un maremoto interior. La ruptura de una represa puede tener consecuencias muy graves y muy inciertas por efecto de la avalancha de las aguas que pueden afectar a poblaciones ubicadas aguas abajo de la presa.

- Represas en relleno rocoso: son más flexibles que las de concreto y más resistentes que las de tierra pero, como se suele utilizar concreto o arcilla para impermeabilizarlas, estos materiales pueden agrietarse con un terremoto y presentar fugas de agua. Los daños que se pueden presentar serían:
 - Grietas o filtraciones menores, medianas o grandes
 - Embanques del embalse por derrumbes
 - Colapso o derrumbe de la presa

- Represas de tierra: pueden sufrir daños, durante un sismo, debido a fallas en las cimentaciones, grietas en los núcleos, deslizamientos de tierras en los diques o rebalses sobre la cortina debido a olas en el embalse, o derrumbes en el propio borde de contención. Los posibles daños son:
 - Daños menores que, si implican filtraciones, deben repararse con urgencia para evitar el aumento de las fugas debido a la erosión;
 - Embanques por derrumbes, los que habría que dragar, si es necesario.
 - El colapso o derrumbe de la represa.

- Presas de concreto: pueden agrietarse o sufrir fallas en las fundaciones. También, como en todas las presas, existe el peligro de que se formen olas que rebasen la cortina. Los daños que podrían presentarse son:
 - Grietas o filtraciones menores que debieran repararse rápidamente.
 - Las grietas que van de medianas a mayores que pudieran requerir incluso el vaciamiento del embalse para repararlas (lo que puede implicar la pérdida de agua almacenada).
 - Embanques por derrumbes.
 - Colapso o derrumbe de la presa.

- Obras bajo el nivel del suelo o enterradas. Se incluye en este punto las obras ubicadas bajo el nivel del suelo, principalmente:
 - Toda clase de tuberías y conductos de agua potable, alcantarillados sanitarios y desagües de aguas de lluvia, incluyendo las respectivas redes de distribución, cámaras, válvulas e instalaciones domiciliarias.
 - Las captaciones de aguas subterráneas como pozos, drenes, galerías, entre otros.

Estas obras presentan diferencias significativas con las que están sobre el nivel del suelo, ya que la mayor parte no está a la vista, por lo que la mayoría de los daños directos no serán visibles. Ello hará que la determinación real de los daños sea usualmente mucho más lenta y laboriosa. “En el terremoto de Ciudad de México, por ejemplo, aunque a los 15 días de ocurrido el desastre se habían reparado los daños mayores en los acueductos de agua potable, se requirió de

meses para completar las reparaciones menores y fue aún más complejo y lento reparar las redes de alcantarillado pluvial y sanitario¹¹.

Algunos daños pueden afectar a la cantidad o calidad de agua suministrada.

El sismo actúa con fuerzas de inercia sobre las construcciones que se levantan sobre el nivel del suelo; en cambio, las estructuras enterradas (como las tuberías, por ejemplo), se mueven con el suelo, experimentando deformaciones que pueden provocar daños en este tipo de componentes. Los terremotos ocasionan daños en las tuberías y en sus uniones rígidas. Esto implica que se puede esperar menores daños en las tuberías relativamente más flexibles (de PVC o acero soldado, por ejemplo) y mayores en las tuberías más rígidas de, por ejemplo, mortero comprimido, concreto, hierro fundido y cemento asbesto, especialmente si tienen uniones rígidas.

3.5. Riesgos de contaminación en redes de agua potable

Los sistemas de agua potable son diseñados según las necesidades y condiciones geográficas de la región, con la finalidad de que estos sean efectivos dentro del período de vida para el cual fueron diseñados.

Para la realización de estos proyectos se involucran las municipalidades, entidades del estado que tienen dentro de sus funciones velar por que se cumpla con las normativas establecidas, y los Cocodes, en algunas oportunidades entidades internacionales brindan apoyo económico para beneficiar a comunidad, pero estos sistemas aunque posean un diseño

¹¹ CEPAL. *Daños causados por el movimiento telúrico en México y sus repercusiones sobre la economía del país*. Consulta octubre de 2014.

adecuado y un programa de mantenimiento que se ejecute con periodicidad siempre están expuestos a las fuerzas de la naturaleza.

Entre los factores que contribuyen a aumentar la vulnerabilidad de los sistemas de agua potable están: la ubicación de los sistemas de agua potable (en zonas de amenaza sísmica). Especialmente en suelos pobremente consolidados, donde las vibraciones pueden ser amplificadas o deslizarse a la largo de fallas geológicas. La resistencia individual de las estructuras en las cuales influirá el diseño, tipo de materiales, calidad y antigüedad de la construcción.

Efectos generales de los terremotos:

- Destrucción total o parcial de las estructuras de la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución.
- Ruptura de las tuberías de conducción y distribución y daños en las uniones, entre tuberías o con los tanques, con la consiguiente pérdida de agua.
- Interrupción de la corriente eléctrica, de las comunicaciones y de las vías de acceso).
- Modificación de la calidad del agua por deslizamientos en áreas de topografía sinuosa.
- Variación (disminución) del caudal en captaciones subterráneas o superficiales.
- Cambio del sitio de salida del agua en manantiales.
- Daños por inundación costa adentro por impacto de tsunamis.
- Falla de taludes
- Licuefacción de suelos

La magnitud y características de los daños estarán usualmente relacionadas con el diseño antisísmico de las obras, su calidad constructiva, su tecnología y la calidad del terreno donde se sitúan las componentes del sistema.

Es usual que la inspección de las líneas de conducción y obras componentes de un sistema de agua se inicie por vía aérea, y el análisis con fotografía aérea de las áreas adyacentes de la instalación, a escalas del orden de 1:25 000 a 1:50 000, permitiendo descubrir evidencias importantes sobre grandes deslizamientos en curso, los cuales deberán ser evaluados con posterioridad en el sitio.

3.6. Daños producidos por el movimiento telúrico del 7 de noviembre del 2012 en el área urbana de la cabecera departamental de San Marcos

El terremoto dejó 44 personas fallecidas, miles de damnificados en albergues y más de 11 mil viviendas con daños estructurales; se decretaron 60 días de estado de calamidad pública en los departamentos de Retalhuleu, Quetzaltenango, Suchitepéquez, Sololá, Quiché, Totonicapán, San Marcos y Huehuetenango, para dar prioridad a las acciones de emergencia.

Tabla III. **Boleta de evaluación rápida de daños departamento de San Marcos**

No	Municipio	Colapso parcial (Daño moderado)	Colapso total (Daño severo)	Daños en muros (Daño leve)	Daños en techos (Daño moderado)	Edificio inclinado (Daño severo)	Elemento inclinados (Daño moderado)	Total
1	San Marcos	659	413	1,008	54	476	368	2,978
2	Comitanillo	447	66	495	16	129	222	1,375
3	Concepción Tutuapa	8	5	6	-	4	1	24
4	El Quetzal	221	70	252	17	131	113	804
5	El Rodeo	13	2	45	2	4	15	81
6	El Tumbador	33	3	90	3	39	33	201
7	Esquipulas Palo Gordo	232	177	309	10	272	184	1,184
8	La Reforma	103	14	109	14	66	34	340
9	Nuevo Progreso	70	10	187	6	46	42	361
10	Pajapita	1	-	-	-	-	-	1
11	San Antonio Sacatepéquez	232	310	164	24	316	170	1,216
12	San Cristobal Cucho	127	27	261	7	57	48	527
13	San José Ojetenan	36	6	25	-	10	9	86
14	San Lorenzo	68	35	44	5	54	29	235
15	San Miguel Ixtahuacán	4	-	34	2	1	1	42
16	San Pablo	15	3	17	1	7	8	51
17	San Pedro Sacatepéquez	1,095	573	1,058	71	674	509	3,980
18	San Rafael Pie de la Cuesta	36	7	77	3	21	16	160
19	Sibinal	21	8	159	1	17	14	220
20	Sipacapa	99	8	399	11	13	29	559
21	Tacaná	34	6	22	-	7	27	96
22	Tajumulco	245	55	432	9	45	71	857
23	Tejútla	143	134	161	7	89	72	606
Totales		3,942.00	1,932.00	5,354.00	263.00	2,478.00	2,015.00	15,984.00

Fuente: Secretaria General de Planificación de la Presidencia. Consulta: octubre de 2014.

Según la evaluación que realizó la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal), Guatemala necesita unos 200 millones de dólares para la etapa de reconstrucción en las áreas afectadas por el terremoto.

Un total de 75 comunidades de 14 municipios de San Marcos serán beneficiadas con la reconstrucción de redes de agua y saneamiento que sufrieron daños por el terremoto del 7 de noviembre de 2012 en el occidente del país.

El presupuesto para estos proyectos, apoyados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), era originalmente de Q 5 millones, por lo que; con las gestiones realizadas a través del INFOM, se logró un ahorro de casi Q 3,4

millones, que podrán ser utilizados en nuevos proyectos hídricos de reemplazo total de tuberías donde están dañadas por el uso y tiempo de instalación¹².

3.7. Efectos esperados en los sistemas de abastecimiento de agua potable

Los efectos observados en los sistemas urbanos de agua potable afectados por el sismo en la zona, demuestran que los componentes más afectados fueron la captación y la conducción, con pequeños daños en la distribución y ninguno en los tanques de almacenamiento.

Los daños en la captación fueron:

- Agrietamiento de muros de concreto construido con materiales de baja calidad.
- Destrucción parcial por caída de rocas de estructuras localizadas junto a taludes y laderas empinadas.
- Variación de caudal en manantiales y, principalmente.
- Destrucción de estructuras por deslizamiento de terreno en laderas con pendiente mayores a 30 °.

Los efectos en la conducción fueron:

- Roturas en las uniones de la tubería de PVC.
- Roturas de tubería en pasos aéreos o ríos por crecidas.
- Principalmente, destrucción de tubería por deslizamiento de terreno en laderas de fuerte pendiente.

¹² *Plan Nacional de Reconstrucción*. <http://plandereconstruccion.transparencia.gob.gt>. Consulta: noviembre de 2014.

Tabla IV. **Resumen de daños en sistemas de agua potable**

Daños	Especificación
Captación	Agrietamiento de muros Destrucción por caída de rocas Destrucción por cambios en el caudal Deslizamiento en el terreno en pendientes mayores a 30°
Conducción	Roturas en uniones Roturas en tuberías colocadas en terrenos de fuerte pendiente

Fuente: elaboración propia.

Se cuantificó el número de rupturas por kilómetro, este total osciló entre 0,3 y 1,0, con un promedio de 0,65 rupturas por kilómetro. El terremoto fue capaz de modificar y destruir el entorno físico de la región.

Los daños en los sistemas de agua potable son fuertemente influidos por las condiciones del suelo, por ejemplo; en terraplén, que son construidos con rellenos, o en terrenos blandos, se pueden producir grietas debido al sismo, que pueden provocar rupturas en las tuberías ubicadas en ellos. También se ha observado fallas de las tuberías en zonas de transición de la calidad del suelo, lo mismo que por cambio de los espesores de los rellenos naturales. El reblandecimiento del suelo es uno de los efectos más dañinos de los terremotos, ya que reduce la capacidad de sustento de las fundaciones. Gran parte del daño de las tuberías, en terrenos de aluvión o de arena saturada de agua, se debe al reblandecimiento ocasionado por las vibraciones de los sismos. Por otra parte, conviene tener presente que las tuberías de gran diámetro, ubicados a poca profundidad, sufren más daños que los de diámetro menor, debido a que tienen menos capacidad para resistir las ondas Rayleigh,

que, debido al sismo se desplazan sobre la superficie del terreno en forma semejante, pero menos obvias que las olas del mar.

- Utilidad de planos y mapas de riesgos sísmicos, según calidad de terrenos. Dadas las dificultades para ubicar los daños en las tuberías existentes sería recomendable revisar los planos de riesgos sísmicos de las localidades afectadas por el terremoto (si es que existen), ya que habrá más probabilidad de que ocurran daños en las zonas más vulnerables al sismo, por ejemplo:
 - Áreas con capas profundas: de suelos blandos, arenas y gravas sedimentarias, ciénagas y terrenos rellenados (subsuelos que no amortiguan las vibraciones de los terremotos como las rocas duras).
 - Áreas con capas: de arena suelta, saturada de agua y otras capas de suelo carentes de cohesión, en las que se puede reblandecer el suelo.
 - Fallas en los estratos de rocas: las tuberías que atraviesan esas fallas pueden sufrir daños.

- Sugerencias para encontrar daños en las tuberías:
 - Tuberías de agua potable: los daños en las tuberías de agua potable producen, por lo común, afloramientos de agua en zonas cercanas a las roturas de tuberías o uniones, pero para determinar su magnitud y alcance y hacer las reparaciones (que usualmente son urgentes), habrá que excavar y poner al descubierto las tuberías rotas. Sin embargo, es posible que la alta permeabilidad del suelo en que se produjeron las roturas o presión baja del agua,

oculte zonas de roturas que tal vez se podrían ir detectando posteriormente, una vez reinstalado el servicio, considerando por ejemplo:

- Nuevos afloramientos de agua, evidenciados por aumentos de la presión en la red, una vez que se reparen las roturas detectadas primero.
- Existencia de áreas de la ciudad o pueblo que siguen sin recibir agua o que disponen de menor presión que en situación normal, lo que puede deberse a daños en tuberías alimentadoras de esas zonas, las que habría que identificar y reparar.
- Detección de fugas: esto puede demorar, especialmente si no se dispone del equipamiento y experiencia a nivel local. Por otra parte, puede resultar difícil saber cuáles fugas se deben al sismo y cuáles son anteriores a él.
- Mediante la utilización de medidores de caudal en las alimentadoras o en la red, si es que existen o pueden instalarse en los puntos adecuados, para determinar la posible existencia de otras fugas.
- Riesgo de contaminación del agua en las redes de agua potable: si se rompen simultáneamente las tuberías de las redes de agua potable y las de alcantarillado sanitario, es posible que algo de aguas servidas se mezcle o penetre a la red de agua potable. Ello se debe a que usualmente las tuberías de agua potable y de alcantarillado sanitario se construyen en forma paralela, por las mismas calles y a pocos metros entre sus ejes. Así, pueden haber roturas cercanas en ambas tuberías que posibiliten la entrada de aguas servidas a la red de agua potable

(especialmente si es considerable el volumen de aguas servidas vertidas al terreno). En algunas oportunidades existen aguas subterráneas superficiales que cubren las redes de agua potable y de alcantarillado. Si el sismo produce roturas y fugas en la red de alcantarillado se contaminará la napa freática. Por su parte, esa napa superficial puede contaminar el agua de la red de agua a través de roturas en la misma o por infiltración hacia la red de agua potable por juntas no herméticas, si en esa red se producen presiones negativas (menores que la atmosférica), debido a roturas en partes más bajas o por efectos de racionamientos del agua potable.

- Captaciones de aguas subterráneas: en zonas donde se extrae agua de pozos o galerías profundas puede ocurrir que el terremoto ocasione que las napas de aguas subterráneas se encaucen hacia fallas recién abiertas, determinando una disminución (e incluso agotamiento) del caudal que se obtenía de dichas captaciones. Por otra parte existe el riesgo de que el agua subterránea se contamine con grietas o fallas recién abiertas que conectan el agua superficial o agua de letrinas con la napa subterránea. Este es un riesgo serio ya que puede dejar fuera de posibilidades de uso una o varias captaciones.
- Pozos profundos, de mediano y de gran diámetro: dada la variedad de pozos que existe se pueden producir daños variados que van desde:
- Hundimiento del suelo alrededor del pozo, con daños de leves a graves.

- El colapso y pérdida total del pozo (debido, por ejemplo, a una falla que pasa por el mismo pozo y produce su colapso, o por derrumbes que lo cubren).
- Daños en los mecanismos de bombeo de leves a graves (los equipos de bombeo se evaluarán por separado).
- Galerías de infiltración o drenes: debido al sismo se pueden producir diversos tipos de daños, como los siguientes:
 - Galería de infiltración: se trata de un tipo de captación semejante a un dren, pero construida a mayor profundidad, tal como el túnel, con pequeñas aberturas en los muros, para que penetre el agua subterránea.
 - Grietas en los muros, tuberías o dovelas que forman el dren o galería que pueden variar desde grietas pequeñas, relativamente fáciles de reparar (si la galería es visitable) hasta grietas mayores que pueden requerir colocar refuerzos interiores o cambiar el revestimiento.
 - Derrumbe de parte de la galería o dren o de algunos de los pozos de inspección.
 - Colapso total de la galería o dren.
 - Daños en los equipos de bombeo, los que se evaluarán por separado.
- Contaminación de las fuentes de agua potable: en el punto anterior se hizo referencia a los riesgos de contaminación del agua subterránea, pero es mucho más frecuente que ocurra contaminación de fuentes

superficiales de agua potable, ya sea por presencia de animales muertos, vaciamiento de petróleo, productos industriales o tóxicos en las aguas, causados por el sismo. Este puede ser uno de los efectos más graves del terremoto por riesgos sanitarios en gran escala que puede implicar. En estos casos habrá que buscar, con extrema urgencia, fuentes alternativas de abastecimiento y construir (o habilitar si existen) nuevas obras de captación de agua potable y de conducción de las mismas, si el caso lo requiere.

4. FUNDAMENTO PARA EL ANÁLISIS Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

4.1. Significado de la vulnerabilidad

“Dicha palabra emana del latín está conformada por tres partes latinas claramente diferenciadas: el sustantivo *vulnus*, que puede traducirse como herida; la partícula *-abilis*, que es equivalente a “que puede”; y finalmente el sufijo *-dad*, que es indicativo de “cualidad”. De ahí que vulnerabilidad pueda determinarse como “la cualidad que tiene alguien para poder ser herido”¹³. Ver tabla V.

La vulnerabilidad también está dada por las condiciones sociales y culturales. En este sentido, una persona que vive en la calle es vulnerable a diversos riesgos (enfermedades, ataques, robos, entre otros). Por otra parte, un individuo analfabeta también se encuentra en una situación de vulnerabilidad, ya que difícilmente pueda acceder al mercado laboral y, por lo tanto, satisfacer sus necesidades. Por último, está relacionada con los desastres naturales.

Una zona vulnerable es aquella que aparece expuesta a un fenómeno con potencialidad destructora (por ejemplo, un pueblo desarrollado a los pies de un volcán activo).

¹³ *Qué es, significado y concepto*. <http://definicion.de/vulnerabilidad/#ixzz3oTKXKH3c>. Consulta: abril de 2015.

Tabla V. **Vulnerabilidad global**

Tipo	Descripción	Observaciones en la línea de conducción de agua del área en estudio
Natural	Factores meteorológicos, que se transforman en amenazas potenciales.	Debido a las condiciones climáticas y la mala administración de los recursos naturales, la línea de conducción se encuentra a la vista de la población.
Física	La localización geofísica inadecuada.	El aumento de las comunidades afecta la línea de conducción, ya que se deben construir más viviendas y en algunos casos dañando la línea de conducción del agua.
Económica	Se expresa en desempeño, ingresos insuficientes, inestabilidad laboral, dificultad o irresponsabilidad de acceso a los servicios básicos (educación, de recreación, salud y otros).	La falta de fuentes de empleo, así como los empleos informales, no hacen posible que al momento que se dañe la línea de conducción de agua, se le puedan hacer las reparaciones necesarias para que siga funcionando.
Social	Nivel de cohesión interna que posee una comunidad, relaciones que vinculan a los miembros de la misma, formas de organización y otros.	En las comunidades se puede contar con grupos organizados para diferentes actividades, por ejemplo, velar por la seguridad de los vecinos, sin embargo, en lo que respecta a las reparaciones que se deben hacer en la línea de conducción, lo dejan a los Cocodes o municipalidades.
Política	Constituye el valor recíproco del nivel de autonomía que posee un comunidad para la toma de las decisiones, mientras mayor sea la autonomía menos vulnerable será.	Por lo general, las comunidades están organizadas en comités o cocodes, para lograr mejoras en la infraestructura, líneas de conducción de agua, escuelas, entre otros, y sí crear más economía para la población y no ser vulnerables.

Continuación de tabla V.

Técnica	Se relaciona con la tecnología implantada y la capacitación del personal que la maneja.	Por la lejanía que existe para llegar a las escuelas, la población no cuenta con estudios necesarios que les ayuden a salir de la pobreza y la pobreza extrema, y en algunas comunidades que se encuentran más céntricas, tienen personas capacitadas, dependiendo el grado de dificultad que se requiera para manejar cierta tecnología.
Ideológica	Se refiere a la respuesta que logre despegar una comunidad ante una amenaza en base a su concepción del mundo y del papel que el hombre desempeña de él.	Ante un evento sobrenatural las comunidades en algunos casos lo atribuyen a los dioses en los que ellos creen, quedando vulnerables ante cualquier desastre.
Cultural	La aplicación colectiva del concepto se ajusta a la influencia de los medios del mundo y del papel que el hombre desempeña de él.	Es importante que en las comunidades existan diferentes culturas, debido a que al momento de algún evento sobrenatural, puedan ayudarse mutuamente.
Educativa	Se traduce en ausencia de programas de elementos que instruyen sobre el medio ambiente, el entorno que habitan los pobladores, su equilibrio o desequilibrio, también se refiere al grado de preparación que recibe la población sobre formas de comportamiento en caso de amenaza u ocurrencia de situaciones de desastre.	Algunas comunidades no cuentan con escuelas, vías de acceso o una adecuada infraestructura que les permita tener una educación adecuada, así como la falta de empleo no permite que puedan ir a comunidades cercanas a estudiar, por lo que no cuentan con conocimientos necesarios para saber qué hacer en caso de un evento adverso.
Ecológica	El modelo de desarrollo actual, basado en la dominación por destrucción de los recursos del ambiente, conduce ecosistemas altamente vulnerables, incapaces de autoajustarse internamente y altamente riesgosos.	La tala inmoderada de árboles, la contaminación de ríos, usar productos nocivos al ambiente, la hecho que el ambiente natural con que contaban los seres vivos, flora y fauna, estén vulnerables ante eventos naturales.
Institucional	Prevalece en las instituciones, las decisiones políticas, el dominio de criterios personalistas, impidiendo respuestas adecuadas y ágiles a las realidades existentes.	El Estado es responsable de realizar a las municipalidades la transferencia del 10 % del presupuesto nacional que servirá para dar mejores condiciones de vida a los pobladores de las comunidades.

Fuente: elaboración propia.

La capacidad de recuperación que pueda tener la población, las infraestructuras que posee o sus gobiernos son otros de los factores que pueden hacer que un lugar sea más vulnerable que otro a determinadas catástrofes de este tipo.

El análisis de vulnerabilidad es el método que permite determinar las debilidades de los componentes de un sistema frente a una amenaza, con un doble objetivo: establecer las medidas de mitigación necesarias para corregir esas debilidades, y proponer las medidas de emergencia para dar una respuesta adecuada cuando el impacto de la amenaza se produce.

El objetivo del análisis de vulnerabilidad y de la identificación de las medidas de mitigación para los sistemas urbanos de agua potable es tener sistemas sostenibles y seguros frente a las amenazas naturales.

Para conseguir este objetivo es necesario primero conocer las características de los niveles organizativo, administrativo y de operación (características administrativo-funcionales) y las de los componentes físicos (características estructurales); así como aquellas relacionadas con las amenazas naturales de la zona y su impacto potencial. Con esta información se procede a identificar las vulnerabilidades del sistema y las medidas de mitigación.

Las características administrativo/funcionales permiten identificar los diferentes niveles organizativos y administrativos, sus jerarquías, normas vigentes y sus responsabilidades con respecto al buen funcionamiento del sistema. Esto permite delinear las estrategias para establecer las medidas de mitigación y ubicar los recursos disponibles que pudieran ser usados para la implementación de dichas medidas. Este conocimiento de la organización

institucional, de la administración y capacidad de operación locales lleva a establecer las vulnerabilidades administrativo/funcionales, muy importantes de resolver para lograr la sostenibilidad de los sistemas urbanos de agua potable.

Las medidas de mitigación para reducir la vulnerabilidad identificada se conocen mediante este análisis, así se determina la ejecución de las medidas de mitigación y como demandan disponibilidad de recursos humanos, materiales y económicos, es necesario estimar los costos, priorizar su ejecución y visualizar la capacidad de respuesta actual de los sistemas. Los datos obtenidos sirven para la formulación de un plan de implementación de las medidas de mitigación.

4.2. Naturaleza del problema

Los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado construidos en áreas urbanas y rurales son muy vulnerables a los impactos que se generan por eventos adversos, originados por las amenazas naturales y antrópicas.

Por sus componentes, puede resultar afectada especialmente la captación, la conducción o la planta de tratamiento, provocándose la interrupción del servicio o alteración de la calidad del agua, lo cual originaría una crisis sanitaria en la zona, debido al incremento de enfermedades y epidemias en la población.

Por estas razones debe darse énfasis al estudio, diseño, construcción y mantenimiento de esta clase de estructuras, ya que estas deben resistir de mejor manera a los embates de la naturaleza, pues de su comportamiento depende en gran escala la vida de muchas personas en casos de desastres.

Para evitar o mitigar esta situación es necesario realizar análisis de vulnerabilidad en los sistemas de agua y saneamiento, a fin de conocer en detalle:

- Las debilidades físicas en los componentes de las instalaciones sanitarias.
- Las debilidades organizativas y administrativas.
- Las debilidades de operación, especialmente en casos de ocurrencia de desastres.

Mediante la realización de estos estudios se pueden alcanzar los siguientes objetivos básicos:

- Conocer y cuantificar las amenazas naturales y antrópicas a la infraestructura sanitaria.
- Estimar cuan susceptibles (vulnerables) son los componentes de la infraestructura sanitaria ante la ocurrencia de un desastre.
- Definir obras y acciones necesarias a ejecutarse para reducir la vulnerabilidad de las instalaciones.
- Identificar procedimientos emergentes de acuerdo a las debilidades encontradas.

4.3. Comportamiento esperado de los componentes físicos del problema

Es necesario primero conocer las características de los niveles organizativo, administrativo y de operación (características administrativo-funcionales) y las de los componentes físicos (características estructurales); así como aquellas relacionadas con las amenazas naturales de la zona y su impacto potencial. Con esta información se procede a identificar las vulnerabilidades del sistema y las medidas de mitigación.

Las características estructurales identifican los componentes, el funcionamiento físico del sistema y las características de las amenazas, determinan su posible impacto sobre el mismo, estableciéndose una relación directa entre las características estructurales del sistema y las amenazas. Esta relación se visualiza por medio de la sobreposición de las amenazas con respecto a los componentes del sistema y determina la capacidad de resistencia del mismo y por consiguiente, su vulnerabilidad física y su capacidad operativa ante la ocurrencia del fenómeno. Es necesario conocer las vulnerabilidades administrativo/funcionales en los diferentes niveles, especialmente en aquellos administrativos y operativos, pues son los encargados de garantizar la operación, mantenimiento y administración con un mínimo de ayuda externa.

Las medidas de mitigación para la vulnerabilidad física tienden a fortalecer el estado actual del sistema y sus componentes, así como a mejorar las condiciones de los mismos frente al impacto de una amenaza determinada. Las medidas de mitigación para la vulnerabilidad administrativa/funcional tienden a mejorar la organización, gestión local, capacidad de operación, para fortalecer

el funcionamiento del sistema en condiciones normales o frente al impacto de una amenaza.

El análisis de vulnerabilidad demanda conocer y determinar lo siguiente:

- La organización para el abastecimiento urbano de agua
- La forma de operación de los sistemas urbanos
- Los componentes del sistema y su funcionamiento
- Las amenazas, sus características e impactos
- La vulnerabilidad administrativa/funcional y física

Las medidas de mitigación para reducir la vulnerabilidad identificada se conoce mediante este análisis, así se determina la ejecución de las medidas de mitigación y cómo demandan disponibilidad de recursos humanos, materiales y económicos, es necesario estimar los costos, priorizar su ejecución y visualizar la capacidad de respuesta actual de los sistemas. Los datos obtenidos sirven para la formulación de un plan de implementación de las medidas de mitigación.

4.4. Cuantificación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad de un sistema de distribución de agua potable puede ser física, operativa u organizativa, y depende de sus características estructurales, recursos con los que se cuenta para el manejo de los sistemas, capacitación del personal, métodos operativos y la propia organización de la empresa. El objetivo de tal estimación, a partir de la evaluación de los posibles efectos de la amenaza, es el de contar, en el nivel de análisis que aquí se desarrolla, con la identificación de ciertas medidas de mitigación que puedan adoptarse. Este análisis se efectúa con el auxilio de los planos de amenazas y permitirá obtener

los planos de vulnerabilidad del sistema, elaborados para cada una de las posibles amenazas.

A continuación se describen los elementos que intervienen en el proceso de estimación de la vulnerabilidad:

- Amenaza: cada análisis de vulnerabilidad se asocia a una determinada amenaza, llamada de diseño, la cual ha sido evaluada previamente a fin de que el trabajo se haga en forma secuencial.
- Estructuras expuestas: son vulnerables si son susceptibles de sufrir daños en forma directa (inundación de una planta de tratamiento), o indirecta (deterioro de válvulas a raíz de operación no normal ocasionada por la emergencia).
- Equipos expuestos: muchos equipos están protegidos por obras civiles que pueden colapsar por el impacto directo de una amenaza y ocasionar daños en los mismos. Estos equipos son vulnerables también a impactos indirectos tales como cortes de suministro eléctrico, incendios, entre otros.
- Organización institucional: como se indicó anteriormente, la experiencia indica que la organización de la institución es el elemento más vulnerable al impacto de las amenazas, dada la poca preparación y capacitación existente para atender situaciones de emergencia.
- Operación y mantenimiento: dentro de la organización, las actividades de operación y mantenimiento son las más importantes durante la emergencia, pues se deberá trabajar a un ritmo anormal y recargado, y con programas no establecidos que incrementan la vulnerabilidad del sistema.
- Componentes de soporte y servicio: deben analizarse tanto los componentes internos de la empresa municipal de agua potable EMAP

que prestan soporte a las actividades de operación y mantenimiento (por ejemplo el transporte, las comunicaciones y el suministro de materiales) como los componentes externos (suministro eléctrico, teléfonos, bomberos, entre otros).

- Capacidad de respuesta: en esta parte del análisis de vulnerabilidad se debe tener un conocimiento de la capacidad de respuesta de la institución y del sistema ante los factores de vulnerabilidad que se identifiquen¹⁴.

La cuantificación de los niveles de vulnerabilidad puede considerarse en términos cualitativos o cuantitativos, algunos estudios han contemplado una escala que cuantifica la vulnerabilidad en términos de escasa, baja, media, alta y extrema de acuerdo al grado de exposición del elemento bajo evaluación. Así mismo, puede ser evaluada y expresada en una escala que va de “0”, o sin daño a “1” o pérdida total, del resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso.

La vulnerabilidad de un determinado componente o sistema, se expresa como probabilidad de alcanzar un determinado estado dado que ocurra, se expresa como:

$$P = (E_j/A_i) \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde

P=pérdida total

E_j= es la sumatoria de los posibles daños

A_i= es el estado ocurrido

¹⁴ Alcantarillado. www.eclac.org /... / Caso % 20Alcantarillado % 20- % 20Saneamiento.doc
Consulta: 20 de abril de 2014.

Los estados son previamente definidos a conveniencia y descritos en forma precisa. En lo que se refiere a daños y operatividad de equipos, es frecuente adoptar los cuatro estados de daño siguientes:

E1 = no daños

E2 = daños leves; equipo operativo

E3 = daños reparables; equipo no operativo

E4 = daños graves o ruina; equipo fuera de servicio

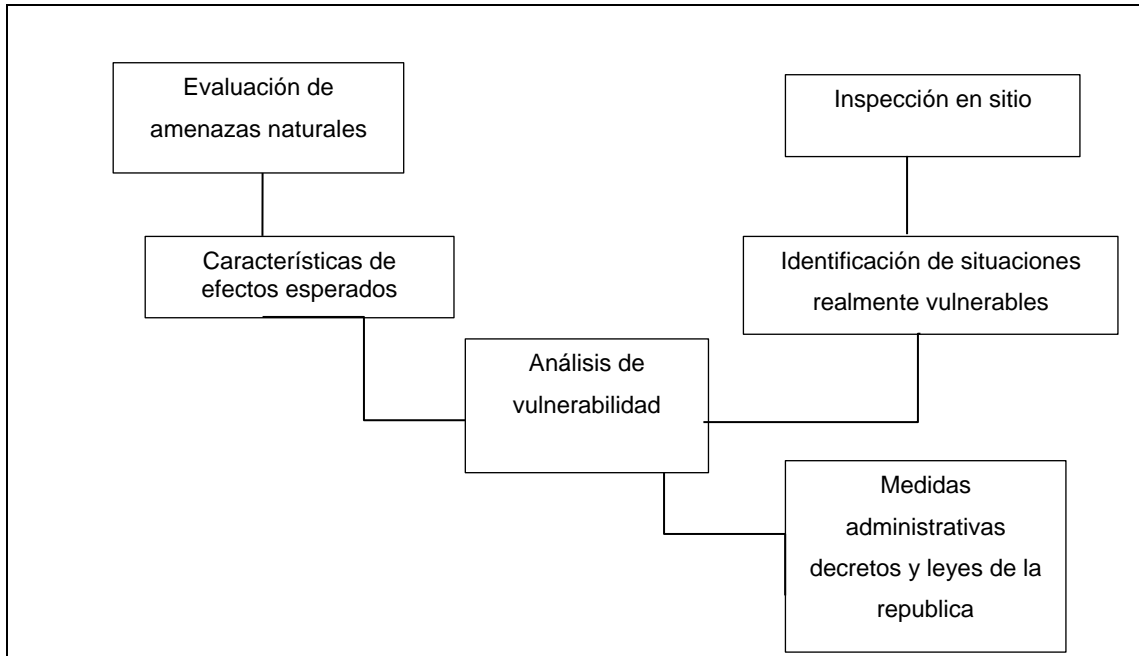
Obsérvese que ocurrido un determinado fenómeno natural (sismo, huracán, inundación u otro), el componente o sistema ha de quedar en uno, y sólo uno de los cuatro estados adoptados.

Cuándo debe hacerse un análisis de vulnerabilidad, debe realizarse un análisis de vulnerabilidad en aquellas instalaciones y obras de infraestructura, cuyo eventual mal funcionamiento o ruina (debido a los efectos esperados de los desastres considerados) pueda generar situaciones de emergencia o demandas que excedan la capacidad de atención, cuando el riesgo no es tolerable, es obligatoria la adopción de medidas de ingeniería para reducirlo, lo anterior debe ser complementado para aplicarlo a los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado.

4.4.1. Cálculo de la cuantificación física del sistema

La evaluación preliminar, basada en inspecciones en sitio y cálculos sencillos corresponden al sistema de agua es aquel para el cual se requiere un análisis básico en cualquiera de los dos componentes a evaluar, el resultado debe expresarse en la forma cuantitativa para facilitar la toma de decisiones por parte de las autoridades correspondientes.

Figura 3. **Diagrama de flujo para la evaluación de la vulnerabilidad y medidas de mitigación**



Fuente: OPS/OMS, 1997b (1).

Se mencionó anteriormente el denominado recorrido básico de inspección del sistema. Los resultados de esta evaluación preliminar, generalmente respaldada por cálculos sencillos, pueden ser sintetizados en matrices de probabilidad de daños, las cuales son únicamente matrices de vulnerabilidad fundamentadas en información estadística y en la experiencia de quienes lleven a cabo tal inspección en base a los siguientes criterios:

- Topografía y estabilidad: los mapas de topografía representan una excelente fuente de información para la detección de deslizamientos. Con frecuencia grandes áreas de deslizamiento se pueden identificar en mapas topográficos, mediante el análisis de condiciones particulares.

- Pluviosidad: tiene un efecto primordial en la estabilidad de taludes, ya que influencia la forma, incidencia y magnitud de los deslizamientos. En suelos residuales, los cuales generalmente se encuentran no saturados, la pluviosidad tiene un efecto muy importante ya que el efecto acumulativo puede llegar a causar la saturación del terreno activando así, un deslizamiento. Con respecto a la pluviosidad, hay tres aspectos importantes:
 - El ciclo hidrológico sobre un período de años, por ejemplo, alta precipitación anual *versus* baja precipitación anual.
 - La acumulación de pluviosidad en un año dado, en relación a la acumulación normal.
 - Intensidades de una tormenta dada.

- Erosión: puede ser causada por agentes naturales y humanos. Entre los agentes naturales se pueden incluir: el agua de escorrentía, aguas subterráneas, olas, corrientes y viento. La erosión causada por agentes humanos incluye cualquier actividad que permita un incremento de la velocidad del agua, especialmente en taludes sin protección; entre los principales está la tala de árboles, el sobrepastoreo y la presencia de ciertos tipos de vegetación que no permiten mantener el suelo en sitio.

La erosión puede causar la pérdida de soporte de fundación de estructuras, pavimentos, rellenos y otras obras de ingeniería. En terrenos montañosos, la erosión incrementa la incidencia en la inestabilidad de taludes pudiendo resultar en la pérdida de vías u otras estructuras.

- Licuefacción debido a sismos: la falla de taludes y licuefacción de suelos constituyen uno de los principales efectos causados por los sismos, que

puede afectar de modo desfavorable obras hechas por el hombre generando grandes pérdidas materiales y hasta humanas. La gran mayoría de las fallas de taludes durante sismos se deben al fenómeno de licuefacción en suelos no-cohesivos. Sin embargo, fallas en suelos cohesivos también han sido observadas durante eventos sísmicos.

- Tipos más importantes de deslizamientos: los principales factores que influyen en la clasificación de los deslizamientos son:
 - Forma del movimiento
 - Forma de la superficie de falla
 - Coherencia de la masa fallada
 - Causa de la falla
 - Desplazamiento de la masa
 - Tipo de material
 - Tasa de movimiento

5. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

En la aplicación de la metodología del análisis de vulnerabilidad para las diferentes clases de amenazas naturales se indican los puntos esenciales en los que debe concentrarse el análisis y las referencias donde se encuentra la información necesaria para efectuarlo.

La organización de la información en forma matricial permite visualizar fácilmente los elementos para el análisis de vulnerabilidad. Se utilizan para ello las cuatro matrices descritas en el capítulo segundo y que cubren los aspectos más relevantes del análisis: aspectos operativos, administrativos y capacidad de respuesta, aspectos físicos e impacto en el servicio y medidas de mitigación y emergencia. Cada una de estas matrices cuenta con un encabezado general con espacio para especificar el nombre y el tipo del sistema que será evaluado. Es importante destacar que los datos requeridos para completar las matrices que analizan los aspectos operativos, administrativos y la capacidad de respuesta son los mismos, independientemente del tipo de desastre cuyo impacto se desee evaluar.

El proceso de análisis parte por un lado del conocimiento del sistema y sus componentes, de su funcionamiento y por las características de la amenaza natural que potencialmente puede afectarle. Es necesario, además conocer el entorno general del sistema en cuanto a aspectos de organización y legislación.

5.1. Identificación de la organización para el abastecimiento de agua potable y la administración local

Organización nacional y regional: antes de efectuar el análisis de vulnerabilidad, es necesario identificar la organización nacional y regional, sus normas de funcionamiento y los recursos disponibles que pudieran ser usados para el abastecimiento de agua y evacuación de aguas residuales en situaciones de emergencia y durante la rehabilitación. Es usual, que las empresas de servicios públicos, por ejemplo, cuenten con plantas eléctricas portátiles y maquinaria pesada para la construcción, que pueden utilizarse para las reparaciones del sistema de agua potable o para el alcantarillado.

Normativa legal vigente: en esta etapa se identificará la legislación general para la atención de emergencias y desastres del país y la específica referente a los aspectos particulares de cada fenómeno, tales como:

- Legislación y reglamentación referente a la atención de las diferentes fases de las emergencias y desastres: defensa civil, comisiones de emergencia, organización nacional, regional y local, entre otros.
- Legislación respecto a la responsabilidad civil y penal en el manejo de emergencias y desastres, a nivel de empresa y de funcionario.
- Los códigos y reglamentos sísmicos que se han aplicado y aplican en las nuevas construcciones, así como en los análisis de las estructuras antiguas. Debe investigarse si se encuentran actualizados y si responden al conocimiento actualizado de la sismicidad del país o región. De igual forma, se debe revisar la existencia de normas y reglamentaciones para la construcción en áreas susceptibles a efectos de huracanes e

inundaciones, legislación vigente sobre procedimientos de adquisición de bienes, materiales y administrativos y a construcción de ejecución de estudios y construcción de obras en caso de contingencia así como las aplicables a áreas de impacto de materiales vulcanológicos que indiquen las características del riesgo probable.

5.2. Identificación de la forma de operación del sistema

El informe de agosto 2004, del Proyecto Xlok'a denominado "Diagnóstico del abastecimiento del agua potable del área urbana del municipio de San Marcos", contiene en el punto 2 de su sección III: situación técnica, una excelente descripción de la infraestructura existente en el acueducto de San Marcos a esa fecha. Por ello, el presente capítulo se basa en la información contenida en el documento supracitado, al cual solamente le hemos introducido alguna información actualizada al 2006, producto de nuestras visitas de campo y entrevistas al personal municipal, y que se complementa con los planos de las redes que se han preparado para el presente estudio.

Esquema general: la figura 4 es un esquema general del Acueducto de San Marcos, constituido por:

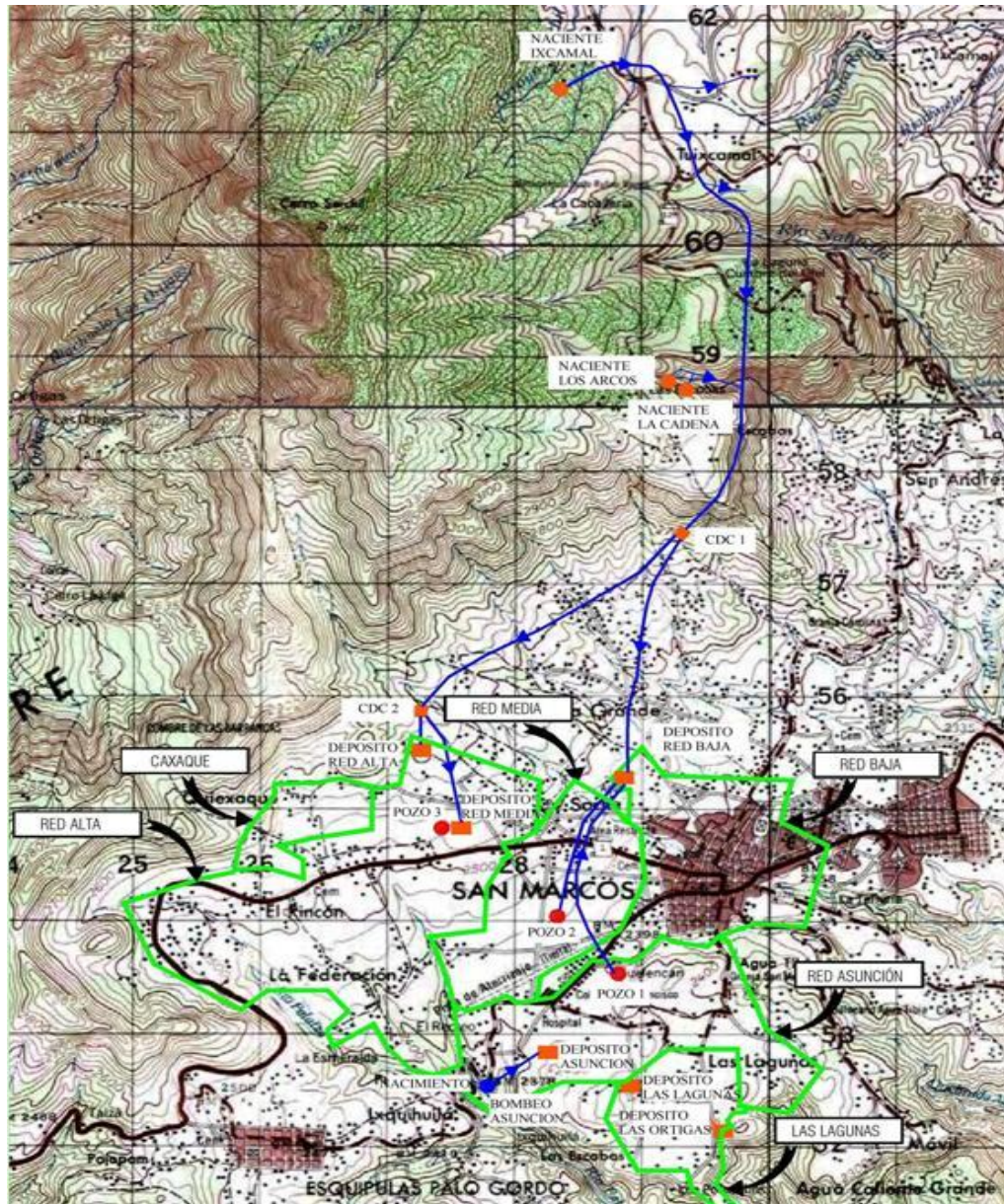
- Producción: nacimientos Santa Lucía Ixcamal, Los Arcos, La Cadena, nacimientos La Asunción, pozos 1, 2 y 3.
- Conducción: de los nacimientos Santa Lucía Ixcamal a depósitos de zona alta, media y baja.
- Impulsión: tuberías de impulsión de los pozos P1 y P2 a depósitos Red Baja bombeo, y tubería de impulsión de los nacimientos La Asunción a los depósitos La Asunción

- Almacenamiento: depósitos de Red Alta, Red Media, Red Baja y La Asunción.
- Distribución: redes de zona alta, zona media, zona baja y La Asunción.

Además, en el área de estudio se encuentra el acueducto del Consejo de Desarrollo Comunitario (CDC) de Las Lagunas, constituido por:

- Producción: nacimientos Los Cangrejos y Las Ortigas.
- Conducción: de nacimientos Los Cangrejos a depósitos El Cementerio.
- Impulsión: de nacimientos Las Ortigas a depósitos El Cementerio.
- Almacenamiento: depósitos El Cementerio.
- Distribución: red del CDC Las Lagunas.

Figura 4. Esquema general del acueducto de San Marcos



Fuente: acueducto Empresa Municipal de Agua Potable (EMAP).

En las tablas siguientes se incluye una breve descripción de los manantiales o nacimientos con que cuenta el acueducto de San Marcos.

El sistema de abastecimiento de agua potable de San Marcos, consta de los nacimientos:

- Santa Lucía Ixcamal
- Los Arcos
- Cerro Chil (La Cadena)
- La Asunción

Todos ellos están captados. En las tablas VI, VII, VIII, IX se incluye información de estos nacimientos.

Tabla VI. **Nacimiento Santa Lucía Ixcamal**

Ubicación	Aldea Santa Lucía Ixcamal, jurisdicción del municipio de San Marcos a una altitud aproximada de 2 996 msnm y a una distancia aproximada de 13 km de la cabecera municipal.
Extensión	Extensión aproximada de 20 cuerdas, actualmente la municipalidad cuenta solamente con derecho de paso.
Tipo de captación	Francés
Tubería	Ø = 2"
Caudal captado	1,9 l/s, abastece las aldeas de Santa Lucía Ixcamal y Serchil
Rebalse	Sí, caudal de 10 l/s distribuidos: - 0,5 l/s aldea de Madre Selva - 9,5 agua que llega a San Marcos Con dos tubos de 6" HF.

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Nacimiento de Los Arcos**

Ubicación	Aldea San Andrés Chapil, jurisdicción del municipio vecino de San Pedro Sacatepéquez, a una altitud aproximada de 2 948 msnm
Extensión	Extensión del terreno es de aprox. 2-3 cuerdas y posee escrituras.
Tipo de captación	El agua gotea de la pared rocosa de la montaña y es captada directamente por medio de cuatro chimeneas y conducida a través de un canal rectangular hacia la siguiente caja unificadora de caudales.
Tubería	No se tiene información
Caudal captado	Aprox. 2,35 l/s
Rebalse	No

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Nacimiento del Cerro Chil (La Cadena)**

Ubicación	Aldea Serchil, del municipio vecino de San Pedro Sacatepéquez a una altitud aproximada de 2 947 msnm.
Extensión	Terreno de aprox. 5 cuerdas y posee escrituras.
Tipo de captación	Francés
Tubería	No se tiene información
Caudal captado	Aprox. 3,4 l/s
Rebalse	No

Fuente: elaboración propia.

Los caudales corresponden al periodo de verano y la altitud fue medida con altímetro o GPS, en todos los casos.

El agua captada en el nacimiento Santa Lucía Ixcamal, es conducida por medio de gravedad hasta una caja unificadora de caudales que recibe también agua del nacimiento de Los Arcos (entre estos dos nacimientos se encuentra una derivación que abastece al cantón Madre Selva con 16 servicios de agua y consumo mensual aproximado de 300 m³), luego continúa por gravedad a la próxima caja, donde se junta con el agua del nacimiento del Cerro Chil (La Cadena) y continúa por gravedad hasta los depósitos de almacenamiento de la Red Baja, Media y Alta de San Marcos.

Tabla IX. **Nacimiento La Asunción**

Ubicación	Zona urbana de San Marcos (5ª calle, prolongación zona 5) dentro de la propiedad del Colegio de La Asunción, a una altitud aproximada de 2 337 msnm.
Extensión	No se tiene información
Tipo de captación	Ver carpeta 5 del anexo 10 (digital) de fotografías. El agua captada se reúne en una caja de captación e inmediatamente pasa a un depósito de bombeo (de unos 7 m ³) bomba instalada de 14 etapas con motor de 40 HP (sobredimensionado). Se bombeo en el 2006 unas 16 horas/día en promedio.
Tubería	Mediante una impulsión de 4" PVC (60 m en HG y 540 m en PVC SDR26) se bombea a los depósitos de La Asunción. La diferencia de altura es de unos 120 m. Se encuentra muy superficial y esto ha provocado daños.
Caudal captado	Unos 10,7 l/s. Se bombearon unos 616,32 m ³ /día en el 2006
Rebalse	Muy poco

Fuente: elaboración propia.

El sistema consta de 3 pozos, en los cuadros siguientes se resumen las características de los pozos 1, 2 y 3 respectivamente.

En las carpetas 3, 4 y 5 del anexo 10 (digital), se muestran fotografías de estos pozos y sus alrededores.

Tabla X. **Pozo número 1**

Ubicación	Zona urbana de San Marcos, 14 avenida, entre 1ª y 5ª calle de la zona 5 a aprox. 2 411 msnm.
Característica de la bomba	Bomba sumergible de 75 HP y $\varnothing = 6''$ prof. 158 m. La perforación es de aproximadamente 262 m.
Tubería	4"HG luego pasa a ser de 6" y continúa en la tubería de conducción (L=2 100 m de 10"HF hasta el sistema de depósitos de la Red Baja.
Tiempo de bombeo	Verano hasta 24 horas diarias. Promedio 2006: 21,08 hora/día. Invierno la bomba descansa cada 2 días durante 1 noche. Promedio 22 horas diarias
Caudal producido	Aprox. 21,0 l/s.
Caudal bombeado	1 593,90 m ³ /día
Accesorios	1 válvula de cheque, 1 válvula compuerta, 2 válvulas reguladoras de presión (solo una funciona). No hay macromedidor.
Descripción	El pozo bombea al tanque de bombeo (Red Baja) a $\Delta H=75m$ aprox. (2 486 msnm). Llenado del tanque en forma manual. Dos guardaniveles de tipo electrodo que sirven de protección para la bomba.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Pozo número 2**

Ubicación	Periferia de San Marcos, 15 avenida Plazuela Barrios zona 5 y, a aproximadamente 48 metros sobre el nivel de los depósitos de la Red Baja, aprox. 2 446 msnm.
Característica de la bomba	Bomba sumergible de 50 HP Ø = 4" profundidad 122 m. La perforación es de aproximadamente 262 m.
Tubería	4"HG luego pasa a ser de 6" PVC (L=1 348 m) hasta el depósito Red Baja bombeo". Hay una ramificación de 4 PVC abasteciendo al depósito de agua de la Montaña de la zona baja de presión.
Tiempo de bombeo	Verano hasta 24 horas diarias. Promedio 2006: 21,08 hora/día.
Caudal producido	20,3 l/s.
Caudal bombeado	1 540,77 m ³ /día
Accesorios	1 válvula de cheque, 1 válvula compuerta, 1 válvula reguladora de presión (no funciona). No hay macromedidor
Descripción	El llenado del tanque se hace de forma manual, no existe ningún dispositivo que lo regule automáticamente.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Pozo número 3**

Ubicación	Periferia de San Marcos, aldea Caxaque detrás del Instituto Mixto Normal de Occidente aproximadamente 35 m sobre el nivel del pozo núm. 1 (2 532 msnm).
Característica de la bomba	Bomba sumergible de 30 HP profundidad 158 m. La perforación es de aproximadamente 262 m.
Tubería	3”HG, abastece directamente a las dos cámaras del “depósito Red Media”. Diferencia de altura entre la bomba y el depósito aproximadamente 0,5 m.
Tiempo de bombeo	El tiempo en el 2006 fue de 15 horas/día
Caudal producido	9,3 l/s
Caudal bombeado	502,20 m ³ /día
Accesorios	Un cheque invertido que hace la función de válvula de aire. No hay macromedidor
Descripción	El llenado del tanque se hace automáticamente por medio de un sistema con guarda niveles de electrodos instalados en el depósito de distribución de la Red Media.

Fuente: elaboración propia.

- Conducciones e impulsiones.
- Conducciones: las tuberías que conducen por gravedad las aguas de las nacientes de Ixcamal–Los Arcos–La Cadena hacia los depósitos de zona alta, media y baja; se describen en los cuadros siguientes.

Este sistema de conducción está compuesto por diferentes tramos, en total, la conducción tiene una longitud total de 15,38 km. En el se detalla la estructura del sistema de conducción.

Tabla XIII. **Sistema de conducción Ixcamal / Los Arcos / La Cadena**

Desde	Caudal	Diámetro (in)	Derivación	Hasta	Longitud del tramo
Nacimiento de Santa Lucía Ixcamal	10l/s	6" HF	Q = 0,5 l/s, Ø = 2" PVC) 1,25 km aguas abajo	Cantón Madre Selva.	-
	9,5l/s después de la derivación	6" y 4" HF	No	Nacimiento de Los Arcos luego de pasar por los cajas rompe presión	3,6 Km
Nacimiento de Los Arcos	2,35l/s	4" HF	No	Cerro Chil	100 m
Nacimiento La Cadena o Cerro Chil	3,4 l/s	4" HF	No	Caja rompe presión	1,6 Km
Caja rompe presión	9,5l/s + 2,35l/s+ 3,4l/s = 15,25l/s	6" y 4" HF	No	Caja unificadora de caudales (núm. 1)	

Continuación de tabla XIII.

Caja unificadora de caudales (núm. 1)	4,15l/s	4"HF y 6" PVC	No	Depósito Red Baja	3 Km
Caja unificadora de caudales	11,1/s	4"PVC y 2 ½"PVC	No	Caja rompe presión	-
Caja rompe presión	11,1/s	6"PVC	No	Caja unificadora de caudales (núm. 2)	3,13 Km
Caja unificadora de caudales (núm. 2)	7,2 l/s	3"PVC	No	Depósitos de la Red Alta	2,8 Km.
Depósito Red Alta y Red Media	3,9 l/s	3"PVC	No	Depósitos de la Red Media	2,8 Km.
Notas					
<ul style="list-style-type: none"> • La tubería de conducción se encuentra por partes enterrada, a flor de tierra o suspendida por apoyos en pasos aéreos. La mayoría de los apoyos se encuentran rotos. • Fugas de agua en las uniones de los tubos. <p>En general, el estado de la tubería es regular.</p>				Longitud total	15,38Km

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, la conducción consta de:

- 7 cajas rompe presión
- 3 válvulas de aire (operación manual)
- 15 válvulas de limpieza

La diferencia de altura respecto al nivel de los depósitos, tomando como referencia el nacimiento de Santa Lucía Ixcamal) es:

- 361 m depósito Red Alta
- 462 m depósito Red Media
- 510 m depósito Red Baja

Impulsiones

- Del pozo 1 al depósito de Red Baja bombeo: 2,100 m, de 10" PVC: diferencia de elevación: 75 m: buen estado.
- Del pozo 2 al depósito de Red Baja bombeo: 1 450 m, de 6" PVC: diferencia de elevación: 43 m, buen estado.
- Del pozo 3 al depósito de Red Media: pozo contiguo al tanque.
- De nacimiento La Asunción a depósito La Asunción: 600 m, de 4" PVC (60 m en HG y 540 m en PVC SDR26). Diferencia de elevación: 120 m. mal estado.

Desinfección

El sistema de desinfección de San Marcos consta de cuatro subsistemas ubicados según la zona de presión:

- Red Baja
- Red Media
- Red Alta
- Red La Asunción

El proceso de desinfección se realiza por medio de cloración, con sistema de cloro gas.

- Sistema de desinfección Red Baja

El sistema de desinfección de la Red Baja se divide en:

- Depósito Red Baja bombeo
- Depósito Agua de la Montaña

La descripción del sistema de desinfección del depósito Red Baja bombeo y el sistema de desinfección del depósito Agua de la Montaña se muestran en el respectivamente.

Tabla XIV. **Sistema de desinfección tanque de bombeo**

Fuente	Pozos núm.1 y 2.
Tipo de sistema	Inyectado por medio de una bomba centrífuga (1/2 HP) a través de una tubería de ½" PVC que se encuentra dentro de la tubería de conducción del pozo núm. 1, sale a la caja unificadora de caudales, donde concurren ambas tuberías de los pozos.
Descripción	Marca Wallace & Tiernan

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Sistema de desinfección tanque agua de la montaña**

Fuente	Manantiales Ixcamal/Los Arcos/La Cadena
Tipo de sistema	Alimentación directa. El punto de inyección del cloro: tubería de conducción de los nacimientos, la cual inmediatamente ingresa al depósito.
Descripción	Marca Wallace & Tiernan, modelo 20-057A de 25 lb/día

Fuente: elaboración propia.

- Sistema de desinfección Red Media: este consta de un solo depósito, en él se resumen las características del sistema de desinfección de Red Media.

Tabla XVI. **Sistema de desinfección tanque Red Media**

Fuente	Alimentado por el caudal del pozo núm. 3 y por los nacimientos de Santa Lucía Ixcamal, Los Arcos y La Cadena. El pozo núm. 3 posee su propio sistema de cloración, mientras que el agua proveniente de los nacimientos es tratada en una estación separada.
Tipo de sistema	El sistema de cloración tipo inyectado con bomba centrífuga. Punto de inyección del cloro: tubería de conducción del pozo núm. 3, inmediatamente antes de ingresar el agua al depósito de la Red Media.
Descripción	Marca Wallace & Tiernan, modelo V-100

Fuente: elaboración propia.

- Sistema de desinfección Red Alta: consta de un solo depósito, en el se resumen las características del sistema de desinfección.

Tabla XVII. **Sistema de desinfección tanque Red Alta**

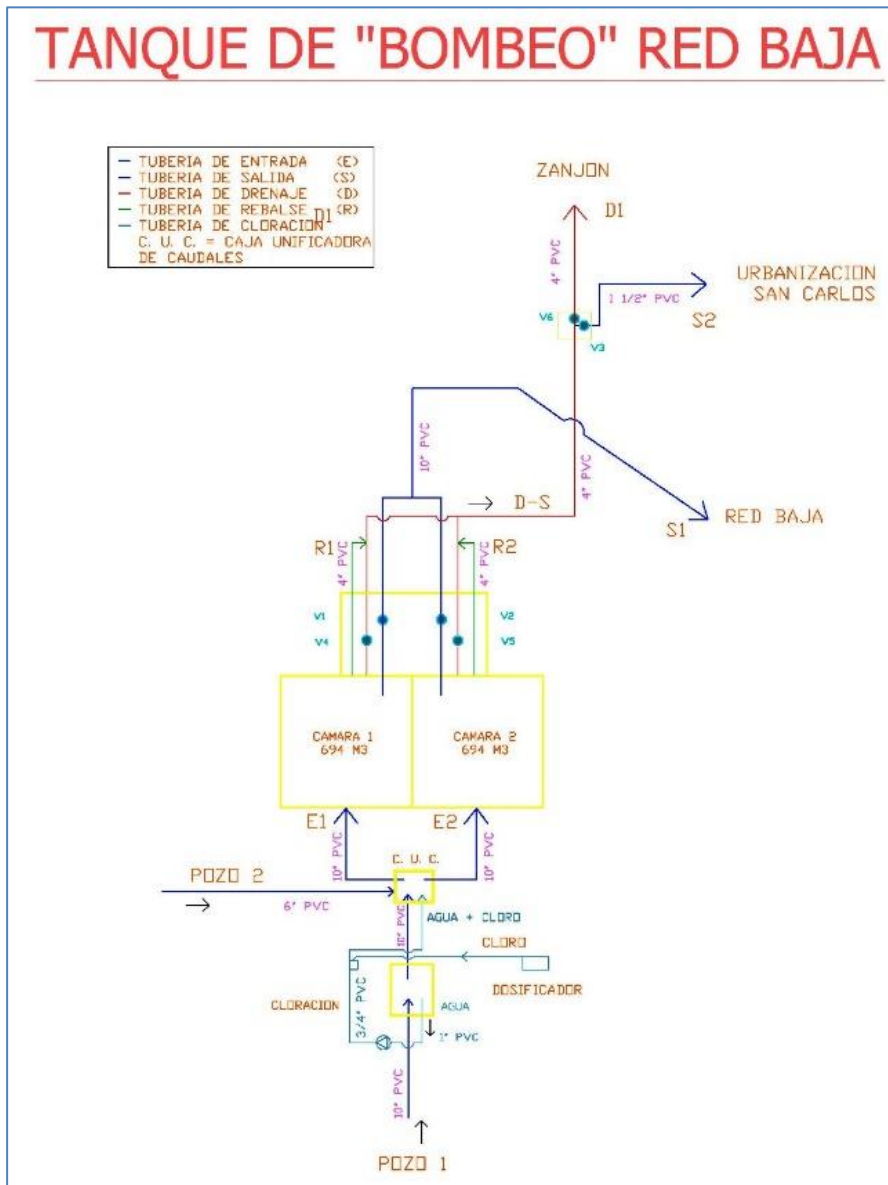
Fuente	Nacimientos Ixcamal, Los Arcos, La Cadena
Tipo de sistema	El sistema de cloración tipo de alimentación directa. Punto de inyección: tubería de conducción de los nacimientos Inmediatamente el agua clorada pasa a una caja de distribución de caudales, donde se reparte hacia el depósito de la Red Alta y la Red Media.
Descripción	Marca Wallace & Tiernan, modelo 20-057A de 10 lb/día

Fuente: elaboración propia.

- Sistema de desinfección La Asunción: antes de ingresar el agua al depósito La Asunción, se desinfecta por medio de una estación de cloro gas, ubicada sobre el tanque de 50 lb/día.
- Almacenamiento: cada zona de abastecimiento tiene su propio almacenamiento de agua en forma de depósitos. Para las cuatro zonas se cuenta una capacidad total de almacenamiento de 3 626 m³.
- Zona Baja: cuenta con los siguientes depósitos de almacenamiento:
 - Depósito de bombeo
 - Depósito Agua de la Montaña (formado por dos depósitos independientes y uno a la par del otro).

Las tablas siguientes se resumen las características de estos depósitos. En las figuras 5 y 6 presentan esquemas de estos depósitos y sus tuberías.

Figura 5. Esquema del depósito de Red Baja bombeo



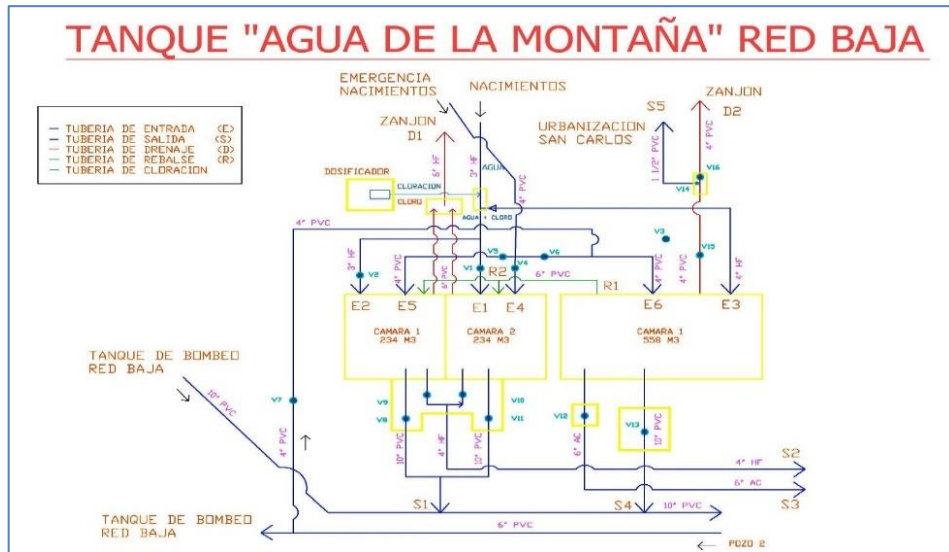
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla XVIII. Depósito Red Baja bombeo

Fuente	Alimentado por medio de los pozos núm. 1 y 2.
Tamaño	Dos cámaras de almacenamiento independientes de 694 m ³ (l x a x h = 27,3 x 8,77 x 2,9 m) cada una, total de 1 388 m ³ .
Descripción	Una cámara de válvulas con dos salidas de 10" PVC las cuales se unifican en un solo tubo de 10" PVC y los dos desagües de 4" PVC de cada una de las cámaras. Todas las tuberías de salida tienen filtros. Paredes y piso de concreto armado en buen estado. Techo de tabiques prefabricados, en mal estado. Dos respiraderos por cámara Circulada con tapias de bloques de concreto
Limpieza	1 vez al año con jabón y cepillos.

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Esquema del depósito de Red Baja Agua de la Montaña



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla XIX. **Depósito Agua de la Montaña 1**

Fuente	Rebalse (6" PVC) del segundo depósito de este sistema.
Tamaño	Dos cámaras de almacenamiento independientes de 234 m ³ (l x a x h = 11,98 x 8,42 x 2,32 m), total de 468 m ³ .
Descripción	<p>Una cámara de válvulas con dos salidas de 10" PVC (actualmente cerradas) que se unifican a la tubería de salida (10" PVC) del depósito del primer sistema y dos salidas de 4" PVC (en uso) que inmediatamente se unifican en un solo tubo de 4" PVC y dos desagües de 4" PVC de cada una de las cámaras de almacenamiento.</p> <p>Todas las tuberías de salida tienen filtros.</p> <p>Paredes y piso del depósito es de concreto armado. El recubrimiento interior está en mal estado y constantemente se desprenden pedazos.</p> <p>Fugas de agua en paredes exteriores.</p> <p>Dos respiraderos por cámara</p> <p>No hay malla de protección</p> <p>El terreno parcialmente circulado.</p>
Limpieza	1 vez al año con jabón y cepillos.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Depósito Agua de la Montaña 2**

Fuente	Alimentado por el pozo núm. 2 por medio de una tubería de 4" PVC y por los nacimientos.
Tamaño	Una cámara de 558 m ³ (l x a x h = 18,63 x 12,80 x 2,34m). Dos salidas de agua, una de 5" PVC y otra nueva de 10" PVC que no se encuentra en uso.
Descripción	Las cajas de las válvulas de las tuberías de entrada en mal estado y sin tapa de protección. Paredes y piso del depósito en concreto armado. Todas las tuberías de salida tienen filtros Cuatro respiraderos, sin malla de protección El terreno totalmente circulado, en mal estado.
Limpieza	1 vez al año con jabón y cepillos.

Fuente: elaboración propia.

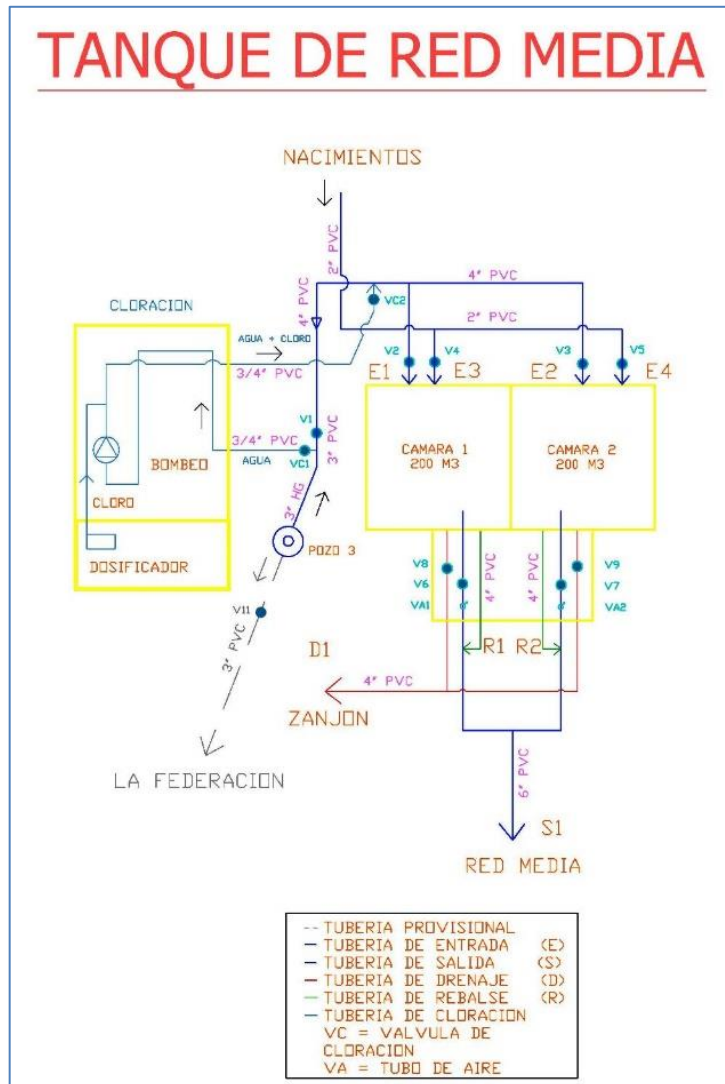
- Zona media: cuenta únicamente con un depósito de almacenamiento, en la tabla XXI se resumen las características de este depósito. En la figura 7, se presenta un esquema de este tanque y sus tuberías. La carpeta 9 del anexo digital fotográfico, incluye varias fotografías de este depósito.

Tabla XXI. **Depósito de Red Media**

Fuente	Pozo núm. 3, ubicado a la par del depósito, con un caudal de 9,3 l/s y por los nacimientos a través de una tubería de 3" PVC con un caudal desconocido.
Tamaño	Dos cámaras de almacenamiento independientes con un volumen de 200 m ³ (l x a x h = 10,60 x 8,20 x 2,30 m), total de 400 m ³ .
Descripción	<p>Una cámara de válvulas que alberga las dos salidas de 6" PVC las cuales inmediatamente se unifican en un solo tubo de 6" PVC y los dos desagües de 4" PVC de cada una de las cámaras de almacenamiento.</p> <p>Todas las tuberías tienen filtros.</p> <p>Paredes y piso del depósito de concreto armado, en buen estado. El techo está hecho con tabiques prefabricados, de los cuales ya han empezado a caerse pedazos.</p> <p>Las paredes exteriores del depósito tienen algunas grietas.</p> <p>Dos respiraderos por cámara, sin malla de protección</p> <p>El terreno está circulado.</p>
Limpieza	1 vez al año con jabón y cepillos.

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Esquema del depósito Red Media



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

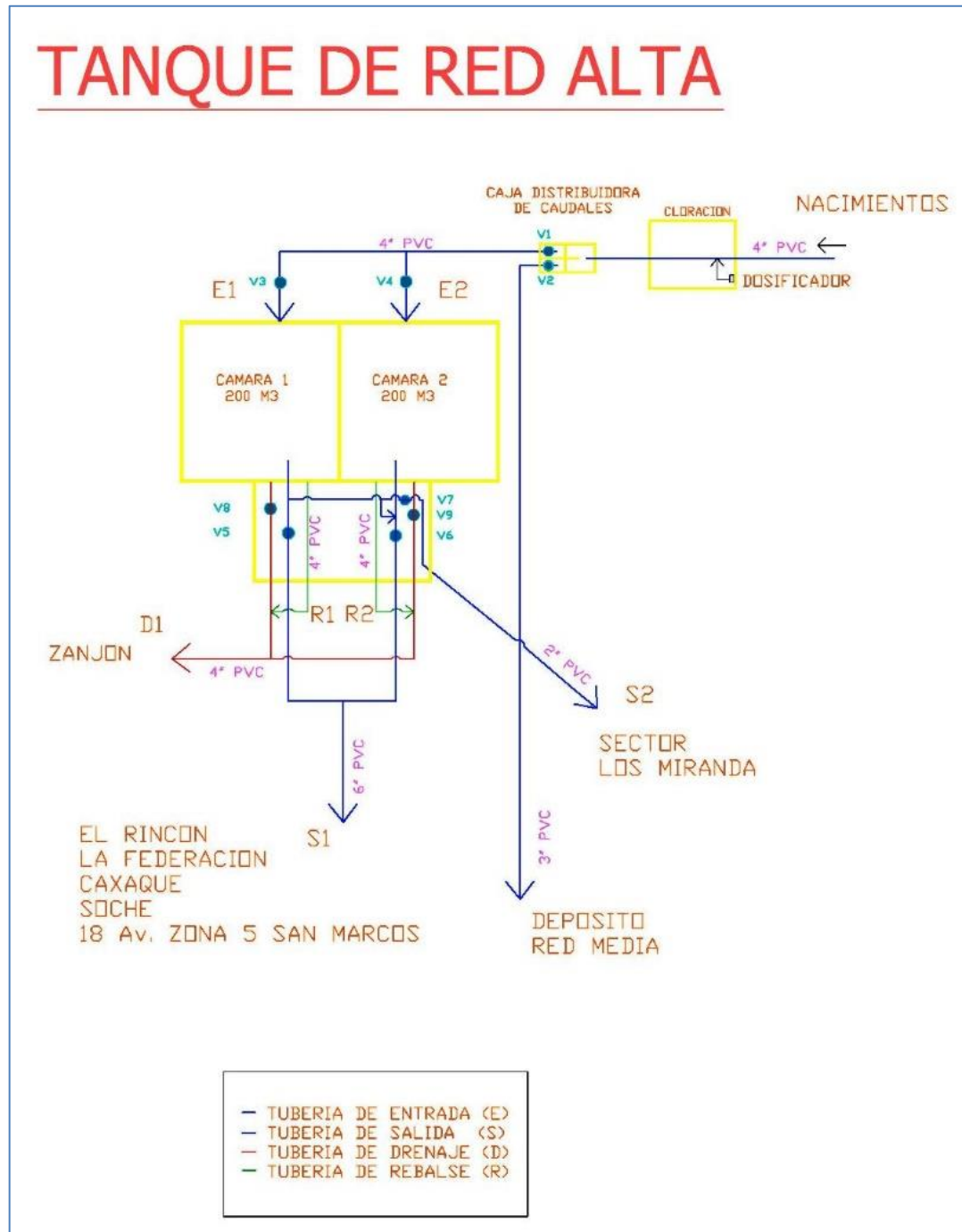
- Zona alta: cuenta únicamente con un depósito de almacenamiento, en la tabla XXII se resumen las características de este. En la figura 8 se presenta un esquema de este tanque y sus tuberías. La carpeta 8 del anexo 10 (digital), incluye varias fotografías de este depósito.

Tabla XXII. **Depósito de Red Alta**

Fuente	Nacimientos Ixcamal, Los Arcos y La Cadena, a través de una tubería de 4" PVC con un caudal de 7,2 l/s. Se encuentra a aprox. 101 m sobre el nivel del depósito de la Red Media, es decir, a aproximadamente 2 635 msnm.
Tamaño	Dos cámaras de almacenamiento independientes de 200 m ³ (l x a x h = 10,60 x 8,20 x 2,30 m), total 400 m ³ .
Descripción	<p>Una cámara de válvulas que alberga las dos salidas de 6" PVC y que reducen a 4" PVC y las cuales inmediatamente se unifican en un solo tubo de 4" PVC y los dos desagües de 4" PVC de cada una de las cámaras de almacenamiento.</p> <p>Todas las tuberías tienen filtros.</p> <p>Paredes y piso del depósito en concreto armado, en buen estado.</p> <p>El techo está hecho con tabiques prefabricados, de los cuales ya han empezado a caerse pedazos.</p> <p>Dos respiraderos por cámara.</p> <p>El terreno no está circulado.</p>
Limpieza	Una vez al año con jabón y cepillos.

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Esquema de depósito Red Alta



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

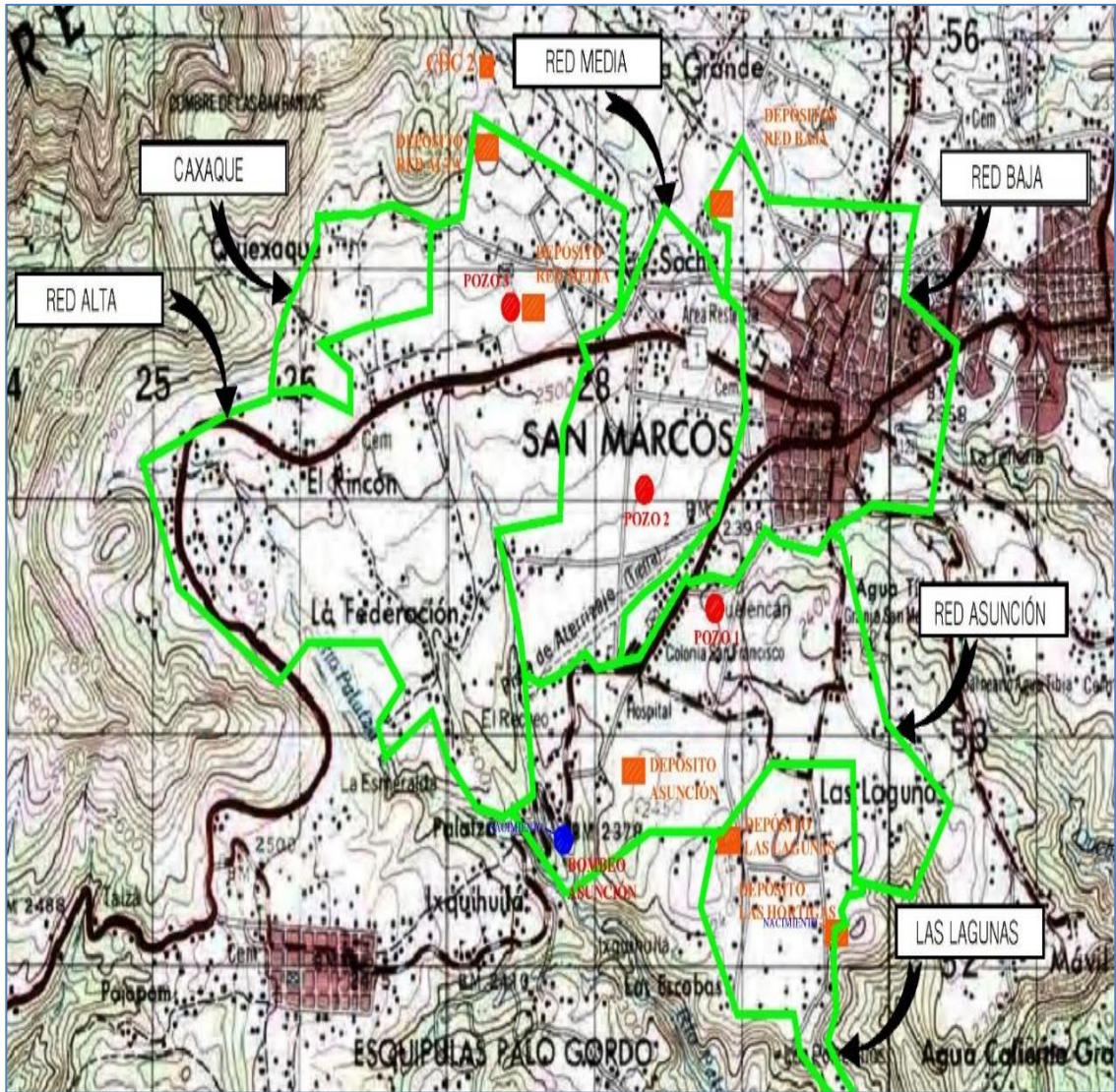
Tabla XXIII. **Depósito de red La Asunción**

Fuente	Nacimientos La Asunción, a través de la línea de impulsión de 4" (60 m en HG y 540 m en PVC SDR26) y 120 m de diferencia de elevación. Está a aproximadamente 2 443 msnm.
Tamaño	Dos cámaras de almacenamiento independientes de 206 m ³ cada una (l x a x h = 9,22 x 9,16 x 2,44m), total 412 m ³ .
Descripción	Paredes y piso de piedra y mortero. Techo de losa de concreto armado. Cámara de válvulas que alberga las salidas de 6" PVC (sin filtros), que se unen luego en una sola de 6", que se amplía luego a 8" PVC. Dos desagües de 6" PVC de cada cámara. Dos respiraderos por cámara. El terreno no está circulado.
Limpieza	1 vez al año con jabón y cepillos.

Fuente: elaboración propia.

- Distribución: el sistema de distribución está constituido por las tuberías que transportan el agua desde los depósitos de almacenamiento hasta las casas de los usuarios. En el caso de San Marcos, en la figura 10, se muestran los límites de las redes de distribución. En esta figura se detallan las áreas de abastecimiento del sistema.

Figura 10. Límites de la red de distribución



Fuente: acueducto Empresa Municipal de Agua Potable (EMAP).

Tabla XXIV. **Áreas de abastecimiento**

Área de abastecimiento	Zona
Área urbana	Casco urbano (cinco zonas)
	Parte de los cantones El Mosquito, Tonalá, La Unión, San Francisco Soche y la aldea Piedra Grande (jurisdicción del municipio de San Pedro Sacatepéquez)
Área rural	Aldeas Caxaque, El Rincón, La Federación, Las Lagunas, La Asunción, El Recreo y San Rafael Soche ubicadas en el municipio de San Marcos
	Parte del cantón Madre Selva localizado en la aldea de Santa Lucía Ixcamal

Fuente: elaboración propia.

Según las zonas de abastecimiento del sistema actual de distribución se contemplan 4 diferentes áreas. Las redes de distribución de estas cuatro zonas de abastecimiento están separadas entre sí por medio de tapones en los extremos de las tuberías. En la tabla XXV se incluyen algunas de las características de la red de distribución según la zona de abastecimiento.

Tabla XXV. **Red de distribución según zona de abastecimiento**

Zona	Abarca	Tubería típica	Topografía	Deficiencias
Zona Baja	Casco urbano de San Marcos, la aldea Las Lagunas y parte de la aldea El Recreo y los cantones el Mosquito, Tonalá, La Unión, San Francisco Soche y la aldea Piedra Grande que pertenecen a la jurisdicción de San Pedro Sacatepéquez.	Ø = 5" PVC	Muy variable con una diferencia de altura de aproximadamente 140 m.	-
Zona Media	Casco urbano de San Marcos, y las aldeas la Federación, parte de El Recreo y parte de San Rafael Soche.	Hasta Ø = 6" PVC.	Variable con una diferencia de altura de aproximadamente 100 m.	-
Zona Alta	Aldeas de Caxaque, El Rincón, parte de La Federación y parte de San Rafael Soche.	Hasta Ø = 4" PVC.	Muy variable con una diferencia de altura de aproximadamente 175 m.	Cantón el Rosario debido a que se encuentra casi al mismo nivel del depósito.
Zona La Asunción	La Asunción	Hasta Ø = 4" PVC.	Variable con una diferencia de altura de aproximadamente 106 m.	-

Fuente: elaboración propia.

Acueducto Las Lagunas: en forma muy sucinta se indican algunas características de este pequeño acueducto administrado por el CDC (Concejos de Desarrollo Comunitario) de Las Lagunas, y que abastece a unas 300 a 400 viviendas.

- Producción: cuenta con los aportes de los manantiales de Los Cangrejos (2,0 l/s, aforo del 30/Nov/2006) y Las Ortigas (8,5 l/s, aforo del 14/Dic/06, solo la parte que llega al tanque de bombeo). En la carpeta 7 del anexo

10 (digital) se incluyen fotografías de la captación de los nacimientos Las Ortigas y su tanque de bombeo.

- Conducción: la naciente Los Cangrejos abastece por gravedad los depósitos del Cementerio. No se tiene datos ciertos de esta conducción, aunque se obtuvo la información que tiene una longitud de unos 6 km y que es en diámetro de 3" de HG con partes de PVC.
- Impulsión: para vencer la diferencia de altura entre el tanque de bombeo de Las Ortigas (120 m³) y los depósitos del Cementerio, de unos 115 metros; se impulsa el agua con una bomba electro sumergible de 30 HP colocada en foso en el fondo del tanque de bombeo), por medio de una tubería de unos 850 m de longitud de 4" de HG al inicio y luego en PVC.
- Almacenamiento: cuentan con dos depósitos, contiguos al cementerio de la localidad. Uno viejo de unos 80 m³ y uno nuevo (año 2003) de unos 140 m³ (dos compartimentos). Ver carpeta 12 del anexo digital fotográfico.
- Desinfección: no cuenta con desinfección
- Distribución: no cuentan con planos del sistema

Consideraciones para el proyecto propuesto: se propone, en lo que a infraestructura se refiere, incluye solamente las obras de rehabilitación mayor y las obras de ampliación que requiere el acueducto municipal de San Marcos.

Algunos aspectos, si bien quizás relevantes, que no forman parte de los componentes del proyecto propuesto por ser resorte de la gestión municipal en

general o correspondientes a las actividades de operación y mantenimiento del acueducto, son:

- Nacimiento Santa Lucía Ixcamal: continuar manejando una buena relación con la comunidad, para evitar conflictos de uso.
- Nacimiento La Asunción: dada la condición sanitaria del cercano Río Paltazá, se recomienda mantener una vigilancia continua de la calidad del agua.
- Pozo 2: debe ponerse a operar su sistema de desinfección.
- Pozo 3: resolver el problema del cercano tanque séptico y drenaje de la escuela.
- Conducción nacimientos Ixcamal, Los Arcos y La Cadena a depósitos: mantener un *stock* básico de tubería y piezas de reparación, para atender los daños que, dada la inestabilidad del terreno en algunos tramos, pueden ocurrir en la época de lluvias.
- Conducciones: paulatinamente resolver el problema de servidumbres en terrenos privados e instalar válvulas de aire.
- Depósito zona alta: resolver la situación, con una vecina, de que el área escriturada es menor que el área realmente ocupada.
- Depósito La Asunción: escriturar el terreno donado donde se ubica el depósito.

- Suministro eléctrico: coordinar con la empresa eléctrica para disminuir las interrupciones del servicio eléctrico a pozos y sistemas de desinfección.

Por otro lado, tampoco se incluyen en el proyecto propuesto, por estar en construcción las siguientes obras:

- Mejoras a casetas y accesorios del pozo 1
- Cambios de tuberías en redes de distribución. Se han incluido estas tuberías como existentes.

5.3. Descripción de la zona del sistema y su funcionamiento

Es deseable caracterizar la zona donde se ubica, y a la cual sirve el sistema de agua potable o alcantarillado sanitario mediante datos como ubicación (distancia a otros centros poblados, región en que se encuentra, entre otros); clima (temperatura, precipitación, humedad, entre otros); población (tasa de crecimiento, densidad, entre otros); estructura urbana (zona residencial, industrial y comercial, tipo de viviendas, entre otros); salud pública y saneamiento (servicios de salud, recolección de basura, entre otros); desarrollo socioeconómico (actividades socioeconómicas, desempleo, entre otros), datos geológicos, geomorfológicos y topográficos. También es importante conocer los servicios con los que cuenta la zona, tales como comunicaciones, vías de acceso, servicios públicos en general, entre otros.

Descripción física del sistema: en esta etapa se recopilarán los datos físicos del sistema y se describirán los datos más relevantes de cada componente, tales como geometría, materiales, diámetros, masas, anclajes,

entre otros, mediante planos, esquemas y detalles. Se efectuará la descripción del funcionamiento del sistema especificando, junto con los respectivos esquemas en el caso del agua potable, datos como cantidad suministrada, y dotación, continuidad del servicio y calidad del agua. En el caso del alcantarillado sanitario, además de los planos, se incluirán datos como cobertura, capacidad de evacuación, y calidad de efluentes y de cuerpos receptores. Deberán considerarse también las variaciones de las épocas de verano e invierno que pudieran ocasionar diferentes modalidades de operación y de condición de los servicios.

Descripción funcional del sistema: se describirá el funcionamiento del sistema con los datos más relevantes de cada componente, tales como flujos, niveles, presiones y calidad del servicio. Para el caso del agua potable, interesa conocer la cantidad suministrada, dotaciones, continuidad del servicio y calidad del agua. Para el alcantarillado, se debe conocer la cobertura, la capacidad de evacuación, la calidad de efluentes y de cuerpos receptores. En ambos casos, se incluirán las variaciones que puedan presentarse entre las épocas de verano e invierno.

5.4. Identificación y características de las amenazas

Para realizar la correcta identificación y determinar las características de las amenazas se deben seguir los siguientes pasos:

- Breve descripción general
 - Generalidades

Los fenómenos que dan origen a los sismos pueden deberse a movimientos tectónicos, actividad volcánica, grandes derrumbes y explosiones. Los más frecuentes son los movimientos tectónicos, que consisten en la liberación repentina de energía acumulada en las zonas de choque o contacto entre las placas de la corteza terrestre.

De especial atención son los procesos de subducción en toda la costa del Pacífico de las Américas. Las placas oceánicas del Pacífico se están introduciendo bajo las placas continentales, lo que genera zonas de fricción y acumulación de energía denominadas zonas de subducción que se extienden de norte a sur en el continente. A lo largo de estas zonas están localizadas las grandes cadenas montañosas y volcánicas. Gran parte de los sismos en estas zonas están asociados a la liberación de energía acumulada por este proceso.

De igual atención son los sistemas de fallas regionales y locales, como es el caso de la falla del Motagua en Guatemala, que causó el terremoto de 1976 y del sistema de fallas locales del valle central de Costa Rica que causó los terremotos de 1983 y 1984.

La identificación de estos sistemas de subducción y de fallas locales es fundamental para determinar la vulnerabilidad de las estructuras ubicadas sobre o cerca de ellos.

- Magnitud sísmica

La magnitud sísmica es la energía liberada por un sismo en su epicentro y se calcula a partir del registro obtenido a cualquier distancia del origen mediante fórmulas desarrolladas al efecto y se expresa en ergios. La escala más utilizada es la de Richter que se indica a continuación.

Magnitud	Energía liberada en ergios
3,0 - 3,9	$9,5 \times 10^{15} - 4,0 \times 10^{17}$
4,0 - 4,9	$6,0 \times 10^{17} - 8,8 \times 10^{18}$
5,0 - 5,9	$9,5 \times 10^{18} - 4,0 \times 10^{20}$
6,0 - 6,9	$6,0 \times 10^{20} - 8,8 \times 10^{21}$
7,0 - 7,9	$9,5 \times 10^{22} - 4,0 \times 10^{23}$
8,0 - 8,9	$6,0 \times 10^{23} - 8,8 \times 10^{24}$

- Intensidad sísmica

La intensidad de un sismo se mide según el grado de destrucción que produce. Un sismo puede tener una magnitud dada y distintos grados de intensidad según el sitio donde interese conocer sus efectos. Para medir la intensidad sísmica se utiliza la escala de Mercalli modificada que se indica a continuación:

Tabla XXVI. **Intensidad sísmica**

Intensidad	Descripción
I	Detectada por instrumentos muy sensibles.
II	Sentido únicamente por personas en estado de reposo.
III	Sentido en el interior de edificaciones, semejante vibraciones al paso de un camión.
IV	Movimientos de latos, ventanas, lámparas.
V	Ruptura de planos, ventanas y otros.
VI	Caída de acabados, chimeneas, daños estructurales menores.
VII	Daños considerables en edificios mal construidos.
VIII	Caída de paredes, monumentos, chimeneas.
IX	Movimientos de fundaciones en edificios de mampostería, grandes grietas en el suelo, rotura de tuberías.
X	Destrucción de la mayoría de mampostería, grandes grietas en el suelo, doblamiento de rieles de ferrocarril, derrumbes y deslizamientos.
XI	Solo muy pocas construcciones permanecen en pie, ruptura de puentes.
XII	Daño total, presencia de ondas en la superficie, distorsión de líneas de nivel, objetos arrojados al aire.

Fuente: elaboración propia.

- Relación magnitud intensidad

Con relación a la intensidad el autor O' Rourke (1985) establece la relación siguiente entre magnitud e intensidad:

Magnitud (M)	Máxima intensidad
2	I a II
3	III
4	V
5	VI a VII
6	VII a VIII

7	IX a X
8	XI

- Evaluación de la amenaza sísmica: las características de la amenaza se determinan a través de una evaluación de la amenaza sísmica, lo que permite definir los parámetros de análisis y diseño que son necesarios para las obras civiles. Estos parámetros son la aceleración y la velocidad que se pueden esperar en los sitios donde se ubican las estructuras del sistema de agua potable para diferentes periodos de retorno y los periodos predominantes del movimiento del suelo al considerar sismos originados en las diferentes fuentes sísmicas de la zona en estudio.

Se han propuesto diferentes metodologías para determinar estos parámetros, una de las más conocidas es la de Cornell en su publicación, Engineering Seismic Risk Analysis. Bull. Seism. Soc. Am., de 1968, en la cual indica que como fundamento teórico considera que el proceso de ocurrencia de sismos es un proceso Poisson, el que supone una independencia espacio-temporal entre los temblores analizados y que no existe memoria en el sistema con relación a eventos pasados o futuros. Esta teoría establece la probabilidad de que el movimiento del suelo sobrepase un nivel x en un determinado sitio en función del número promedio de eventos por unidad de tiempo en los cuales un evento sobrepase el valor x . El modelo de recurrencia de temblores, según la teoría, sigue la relación de Gutenberg y Richter.

Para estimar la amenaza sísmica es necesario analizar las fallas activas y caracterizar la sismicidad de la región de acuerdo con registros históricos y datos sobre subducción, temblores interplacas y temblores originados en los sistemas de fallas locales. Con los parámetros de las fuentes y eventos se podrá elaborar el modelo de sismicidad y pronosticar las magnitudes máximas,

las relaciones de atenuación, las máximas duraciones probables de las sacudidas sísmicas, las aceleraciones máximas del suelo, las velocidades máximas esperadas y las deformaciones para una probabilidad de excedencia esperada. Los códigos sísmicos de los países también proveen esta información para el análisis y diseño de las estructuras civiles.

Para el análisis de estructuras de concreto y de acero y tuberías, la ingeniería estructural provee los elementos para definir los reforzamientos necesarios para minimizar los efectos del impacto de la amenaza.

En todo caso, la interpretación de la información sísmica y el establecimiento de estos parámetros, así como el análisis de las estructuras, debe ser efectuado por profesionales con amplio conocimiento de la materia.

5.4.1. Evaluación de la amenaza sísmica

Los pasos realizados para la evaluación de la amenaza son los siguientes:

- Primero: asignar un factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FTPS) según se indica en la tabla XXVI.

Tabla XXVII. **Factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FDPS)**

Denominación	Descripción	FDPS
Rocoso	Estratos rocosos o suelos muy consolidados, con velocidades de propagación de ondas de corte en exceso a 750 m/seg.	1,00
Firme	Estratos de suelos bien consolidados o blandos con espesor menor a 5 metros.	1,5
Blando	Estratos de suelos blandos con espesores en exceso a 10 metros.	2,0

Fuente: Pan American Health Organization. Caso de estudio.

<http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/publicaciones/050/050.8.htm>. Consulta: mayo de 2015.

- Segundo: se asigna un factor de amenaza por licuefacción potencial del suelo (FLPS) según se establece en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII. **Factor de amenaza por licuefacción potencial (FLPS)**

Denominación	Descripción	FDPS
Baja	Suelos bien consolidados y con alta capacidad de drenaje, estratos subyacentes sin contenido de arena apreciable.	1,00
Moderada	Suelos con moderada capacidad de drenaje, estratos subyacentes con contenido de arenas moderado.	1,5
Alta	Suelos mal drenados, niveles freáticos altos, estratos subyacentes con alto contenido de arena, zonas deltaicas de ríos y depósitos aluviales.	2,0

Fuente: Pan American Health Organization. *Caso de estudio*.

<http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/publicaciones/050/050.8.htm>. Consulta: mayo de 2015.

- Tercero: asignar un factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS) con arreglo a la tabla XXVII.

Tabla XXIX. **Factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS)**

Denominación	Descripción	FDPS
Baja	Suelos bien consolidados con pendientes bajas, rellenos bien compactados, áreas alejadas de cauces de ríos o fallas geológicas.	1,00
Moderada	Suelos consolidados, terrenos con pendientes menores al 25 % rellenos compactados, áreas cercanas a cruces de ríos o fallas geológicas.	1,5
Alta	Suelos mal consolidados, terrenos con pendientes superiores al 25%, áreas ubicadas muy cerca o dentro de cauces de ríos o fallas geológicas.	2,0

Fuente: Pan American Health Organization. Caso de estudio.

<http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/publicaciones/050/050.8.htm>. Consulta: mayo de 2015.

De acuerdo a este procedimiento, el factor de amenaza sísmica (FAS) del área es caracterizada por el producto:

$$(FAS) = (FTPS) \times (FLPS) \times (FDPS) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

FAS = factor de amenaza sísmica

FTPS = factor de amenaza por tipo de perfil de suelo

FLPS = factor de amenaza por licuefacción potencial

FDPS = factor de amenaza por deformación permanente del suelo

Valores de (FAS) inferiores a 2 se consideran de baja amenaza sísmica; entre 2 y 4 amenaza sísmica moderada; iguales o mayores que 4, amenaza sísmica alta.

5.4.2. Estimación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad de sistemas de tuberías a las acciones sísmicas viene expresada por el número esperado de fallas por kilómetro de longitud. Tomando en consideración las estadísticas disponibles, resulta ventajoso emplear como referencia el número de fallas por sismo en tuberías de hierro fundido (HF), para diferentes grados de la intensidad de Mercalli.

Para el cálculo de la vulnerabilidad sísmica se siguen los siguientes pasos:

- Seleccionar el índice básico de daño según la tabla XXVIII

Tabla XXX. **Índices básicos de daño (IBD) por sismos, en tuberías de hierro fundido (HF)**

Intensidad de Mercalli	Índice Básico de Daños(IBD)	(Fallas/Km)
	FAS < 2	FAS 2
VI	0,0015	0,02
VII	0,015	0,09
VIII	0,15	0,55
IX	0,35	4,00
X	0,75	30,0

Fuente: Pan American Health Organization. Caso de estudio.

<http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/publicaciones/050/050.8.htm>. Consulta: mayo de 2015.

- En caso de que la tubería no sea de hierro fundido (HF), se recomienda emplear los factores de corrección que se dan en la tabla XXX.

Tabla XXXI. **Factores de corrección por tipo de material (FCM)**

Material	FCM
Ácerodúctil(AD)	0,25
Hierrofundido(HF)	1,00
Clorurodepolivinilo(PVC)	1,50
Asbestocemento(AC)	2,60
Concretoreforzado(CR)	2,60

Fuente: Pan American Health Organization. Caso de estudio.

<http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/publicaciones/050/050.8.htm>. Consulta: mayo de 2015.

Estos factores pueden ser afectados por el estado general de la tubería y los años de servicio, a juicio del profesional responsable de la evaluación. Para tuberías viejas o en mal estado los valores de la tabla XXXi pueden incrementarse hasta en un 50 %; si su estado es considerado regular este porcentaje no tiene por qué sobrepasar el 25 %; y para tuberías en buen estado no es necesario modificar los valores de esta tabla.

- Las estadísticas de daños también revelan que las tuberías de menor diámetro tienden a ser más vulnerables. Así, para tuberías con diámetros menores o iguales a 75 mm., puede aplicarse un factor de aumento de hasta 50 %; diámetros entre 75 mm. y 200 mm. se puede incrementar hasta un 25 %; y para tuberías con diámetros en exceso a 200 mm. no es preciso incrementar los valores dados.

5.4.3. Cálculo del número esperado de fallas por kilómetro

La metodología para el cálculo del número de fallas por kilómetro, se ilustrará con un ejemplo. Este consiste en una tubería de concreto reforzado

(CR), relativamente nueva y en buenas condiciones, de 500 mm. de diámetro, ubicada en un área donde se esperan sismos con intensidades de Mercalli grado IX; su longitud total es de 15,5 km., la cual se puede dividir en los siguientes tres tramos:

Tabla XXXII. **Cálculo del número esperado de fallas por kilómetro**

Tramo 1:	1,8 Km. de longitud en áreas de baja amenaza sísmica (FAS < 2)
Tramo 2:	12,7 Km. de longitud en áreas de amenaza sísmica moderada (FAS > 2)
Tramo 3:	1,0 Km. de longitud en áreas de alta amenaza sísmica (FAS > 2)

Fuente: elaboración propia.

Sumatoria de:

Longitud en áreas de baja amenaza * factor IBD * factor FCM +longitud en áreas de amenaza sísmica moderada * factor IBD * factor FCM +longitud en áreas de alta amenaza * factor IBD * factor FCM (ecuación 3)

El total de fallas esperadas es igual a:

$$1,8 \times 0,35 \times 2,60 + 12,7 \times 4,0 \times 2,60 + 1,0 \times 4,0 \times 2,60 = 144 \text{ fallas/Km.}$$

Para la realización de los cálculos los factores correspondientes al ejemplo se encuentran en las tablas XXIX y XXX

Obsérvese que si esta tubería hubiese sido de acero dúctil (AD), el número de fallas por kilómetro se reduce a: $144 \times (0,25/2,60)=14$; es decir diez

veces menor. Es por lo anterior que la evaluación de impactos ambientales y análisis de riesgos en todos los proyectos que se emprenden, deben constituirse en una actividad intrínseca de estos, más que el cumplimiento de una ley.

- Demanda mínima de agua

Los requerimientos mínimos de agua de la población y las prioridades de abastecimiento pueden obtenerse con base en estudios especializados y la realidad de cada región, y considerando ciertos factores como clima, uso y tiempo de duración de la emergencia. En este caso, la demanda mínima es de 680 m³/d para lo cual deberá analizarse en qué grado el 80 % del caudal total necesario (que corresponde a la capacidad remanente) puede satisfacer tal demanda durante un periodo de 4 a 6 días, tiempo en que se rehabilitará a plenitud el sistema.

En los casos en que el sistema de abastecimiento se ha colapsado parcial o totalmente, las empresas deberán plantearse la necesidad de proveer por medios diferentes a los habitantes, en forma temporal, una cantidad mínima de agua con la calidad requerida.

- Índice de calidad de cobertura de agua.

Si bien esta cobertura bajo el criterio de Conagua representa un estimador adecuado de las viviendas que tienen infraestructura de agua entubada cerca de su casa, resulta evidente que las cuatro categorías representan distintas calidades de vida para los habitantes. A fin de reflejar estas diferencias se presenta aquí una propuesta exploratoria de índice de calidad en la cobertura de agua (ICCA) calculado mediante la siguiente fórmula:

$$ICCA = (4^a + 3b + 2c + d) / 4n$$

[Ecuación 4]

Donde:

a = viviendas con agua entubada.

b = viviendas con agua entubada fuera de la vivienda pero dentro del terreno

c = viviendas que acarrear agua de viviendas vecinas

d = viviendas que acarrear agua desde llave pública o hidrante

n = número de viviendas particulares habitadas con dato respecto a la cobertura de agua.

El índice adquiere valores entre 0,25 y 1, donde 1 representa la calidad máxima en la cobertura del servicio (cuando el total de viviendas cuenta con servicio de agua entubada en vivienda) y 0,25 el mínimo (cuando el total de las viviendas con servicio acarrea agua de una llave pública o hidrante).

El ICCA puede interpretarse también como un estimador de necesidades de inversión en infraestructura con alto potencial de rentabilidad, en tanto se calcula atendiendo sólo a viviendas con tubería cercana. En términos absolutos la necesidad de inversión de alta rentabilidad puede estimarse mediante la sumatoria de las viviendas que acarrear agua potable desde llave pública, hidrante o casa vecina, variable que también se presenta en la base de datos para el total de viviendas y distinguiendo entre viviendas urbanas y rurales.

- Estimación del índice de escasez

Una vez realizadas las respectivas mediciones, cálculos y análisis con respecto a la oferta hídrica neta y a la demanda, se calcula el índice de escasez

a partir de la expresión matemática estableciéndose de esta manera una relación porcentual.

Fórmula del índice de escasez

$$I_e = (D/O_n) * 100 \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Donde:

I_e: índice de escasez en porcentaje

D: demanda hídrica en metros cúbicos (m³)

O_n : oferta hídrica superficial neta en metros cúbicos (m³)

100: para expresarlo en porcentaje

Unidad de medida del indicador

La unidad de medida del índice de escasez es el porcentaje (%)

Categorías e interpretación del índice de escasez

Si bien el índice de escasez da cuenta de los niveles de abundancia o escasez, relacionando la oferta específica con la demanda correspondiente, debe tenerse en cuenta que el abastecimiento de agua para los diferentes usos involucra aspectos como el almacenamiento y transporte del recurso hídrico. Por ello, no necesariamente los altos niveles de escasez en áreas específicas coinciden con problemas graves de abastecimiento de los sistemas, para los cuales se han desarrollado infraestructuras de manejo particulares.

El índice de escasez se agrupa en cinco categorías:

Tabla XXXIII. **Índice de escasez**

Categoría	Rango	Color	Explicación
Alto	> 50 %	Rojo	Demanda alta
Medio alto	21-50 %	Naranja	Demanda apreciable
Medio	11-20 %	Amarillo	Demanda baja
Mínimo	1-10 %	Verde	Demanda muy baja

No significativo < 1 % Azul Demanda no significativa

Fuente: elaboración propia.

Para evaluar la relación que existe entre la oferta hídrica disponible y las condiciones de demanda predominantes en una unidad de análisis seleccionada, se deberá considerar la clasificación citada por Naciones Unidas en la cual se expresa la relación entre aprovechamientos hídricos como un porcentaje de la disponibilidad de agua. En esta relación cuando los aprovechamientos representan más de la mitad de la oferta disponible se alcanza la condición más crítica.

MAVDT - Grupo de Análisis Económico. *Metodología para el cálculo del índice de escasez*. Documento preliminar, Bogotá, D.C., 2004.

5.5. Identificación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad de los sistemas de agua potable puede ser física, organizativa y operativa, y depende de las características estructurales, recursos con los que se cuenta para el manejo del sistema, capacitación del personal, métodos operativos, esquema administrativo, así como de la forma de organización y de las características de la institución que los agrupa.

5.5.1. Vulnerabilidad administrativa y funcional

Entre las debilidades detectadas en este estudio en el orden administrativo y funcional, se pueden mencionar:

- No existe un manual de procedimientos donde se detallen las acciones para que las dos direcciones (Dirección de Servicios Públicos y la Dirección de Obras) coordinen las acciones a seguir y sus departamentos (Servicios Públicos y Obras) trabajen en forma coordinada y logren mantener la operatividad del sistema de agua potable. Además, en caso de emergencia se tengan las directrices a seguir a fin de solventar la situación a la mayor brevedad y restablecer los servicios de agua potable.
- No existen planos del sistema de agua potable, que apoyen las labores de mantenimiento, extensión o restructuración. Esto representa una amenaza al mismo, sobre todo en caso de una emergencia.
- No existe una adecuada planificación y calendarización de las acciones que debe desarrollar la Dirección de Obras para que el mantenimiento de la infraestructura del sistema de agua cuente con un adecuado mantenimiento preventivo.

5.6. Vulnerabilidad operativa

- Se considera que existe vulnerabilidad funcional en la sección operativa de agua, pues los 20 fontaneros de esta dependencia no reciben ninguna capacitación al respecto y no disponen de planos actualizados del sistema de agua, por lo que resulta difícil que puedan garantizar la operación, mantenimiento y administración con un mínimo de ayuda externa.

- El sistema de tarifa única dificulta financiar el desarrollo y adecuado mantenimiento preventivo del sistema.

5.7. Vulnerabilidad física

Las características de los componentes físicos del sistema de agua potable presentan algunas debilidades en algunos de los componentes del sistema. Estas son:

- El camino de acceso al sitio de la captación es vulnerable a los eventos de deslizamientos.
- El sistema de captación: dado lo irregular del terreno, existen pasos aéreos que sostienen la tubería que están contruidos provisionalmente con horcones de madera, también existen algunos pasos aéreos de estructura metálica, que necesitan mantenimiento.
- Existen tramos de la línea de conducción que han sido reparados con hules para evitar la fuga del agua, en otros casos, se han cambiado tramos de la tubería por tipo PVC debido a la gravedad de la destrucción del tubo. En términos generales la línea de conducción está en muy mal estado, altamente oxidada y se encuentra expuesta al medio ambiente.
- La planta de tratamiento está ubicada en la parte superior de un talud y la tubería que conduce el agua desde el tanque a dicha planta se encuentra expuesta.

- Existe una guardianía cerca de la captación (presa), con un fontanero siempre de turno; este funcionario es el responsable de dar la alerta ante una emergencia y lo hace a través de un radio portátil proporcionado por la municipalidad.

En caso de falla del aparato este funcionario se queda incomunicado.

6. PLAN DE ACCIÓN ANTE LA EMERGENCIA

Iniciar la planificación ante emergencias y desastres de forma tal que pueda organizarse y designar los responsables de llevar adelante tal cometido, para atender las situaciones de emergencia en los sistemas de agua potable y saneamiento se requiere la participación de las unidades técnico-operativas y de las unidades de apoyo que integran la empresa administradora de los servicios, así como de otras organizaciones que tienen que ver con el saneamiento ambiental y el manejo de las amenazas. La primera medida a adoptar podría ser conformar el comité de emergencia y la oficina o unidad de emergencias y desastres, o algún otro comité técnico, pues constituye un mecanismo de coordinación.

Seguidamente, como segunda acción, habría que conocer los problemas existentes en la región o sistemas y los objetivos que se pretende lograr, considerando los recursos financieros. Se presentan a continuación algunas actividades, ordenadas, para la formulación y aplicación del programa de prevención, mitigación y atención de emergencias y desastres.

Formulación del programa de prevención y atención de emergencias y desastres. Según se vaya disponiendo de los resultados del análisis de vulnerabilidad puede ir formulándose, paralelamente, el programa de prevención y atención de emergencias y desastres. Camino hacia la mitigación de desastres. Este programa comprende:

- Normativa nacional e institucional para situaciones de emergencia.

- Guías para la elaboración de planes nacionales de respuesta de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.
- Descripción de los sistemas.
- Análisis de vulnerabilidad.
- Actividades de prevención y mitigación.
- Planes operativos de emergencias.
- Anexos y documentación de respaldo.

Estos elementos del programa se realizarán de forma secuencial, en función de la información obtenida y una vez evaluados los recursos. Como se puede observar, este programa engloba toda la temática de emergencias y desastres, desde la normativa hasta el análisis de vulnerabilidad, pasando por los planes operativos. Una vez concluido el programa debe someterse a aprobación de los responsables de la empresa y, de forma inmediata, ponerlo en conocimiento de todos los empleados. Conviene subrayar que un programa de este tipo, así como los planes operativos de emergencias se realizan con los recursos disponibles en ese momento, ya que deben iniciarse en forma inmediata, una vez se detallan las debilidades de los componentes y las del sistema en general.

Conforme se elabora el programa, los distintos niveles operativos deben ir realizando los respectivos planes operativos de emergencia en los que se especifiquen los procedimientos para su aplicación, como describiremos con mayor profundidad. La empresa administradora de los sistemas de agua potable y alcantarillado debe incluir en este programa los aspectos administrativos y normativos, los términos de referencia para el análisis de vulnerabilidad, el programa de medidas preventivas y de mitigación y los planes operativos de emergencia, a fin de brindar la mayor seguridad en la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento, en cuanto a calidad, cantidad y continuidad en el caso de presentarse eventos adversos.

El programa dispondrá las acciones en el ámbito general empresarial, que deben ser de cumplimiento obligatorio por todas las áreas de la empresa administradora de servicios de agua potable y saneamiento. El programa de prevención, mitigación y atención de emergencias y desastres es, en términos generales, más de carácter estratégico, y permitirá conocer con exactitud quién y qué acciones deben desarrollarse en la empresa para la atención de emergencias y desastres. Este programa operativo deberá contemplar los aspectos puntuales y concretos referentes a cada una de las posibles amenazas que se hayan registrado en el plan de vulnerabilidad.

Cuando un desastre natural importante afecta a las comunidades, se debe disponer de todos los servicios existentes y todo su recurso, aunque mínimo, se podrá clasificar a los pacientes y encontrar mecanismo de selección y traslado de los damnificados.

Es conveniente que siempre esté un médico en el sitio del desastre, quién se encargará de la definición y selección para el traslado y determinar donde debe ser atendido el paciente, su primera tarea será determinar la magnitud del desastre. Puede efectuarse con la ayuda de la policía o de otra autoridad que se encuentre disponible, deberá hacer un enlace con hospitales que recibirán a las víctimas, así como con los cuerpos de salvamento, defensa, bomberos, cruz roja, ejército y otros.

El tratamiento en el sitio del accidente debe reducirse a las medidas básicas de resucitación necesarias para salvar la vida. Si varios pacientes necesitan de esas medidas, o están atrapados y seriamente lesionados, el médico encargado, solicitará la colaboración de una unidad médica móvil. Cuando el número de heridos sea crítico y los recursos insuficientes será de vital importancia distinguir aquellos que pueden responder al tratamiento de los que irremediablemente van a morir.

Debe reservarse un equipo adecuado de ambulancias para los últimos. Las defunciones deberán ser certificadas para evitar que se pierda tiempo tratando de utilizar personal médico para que confirme dichas muertes.

- Información a la población

Se deben utilizar los medios de divulgación existentes y los más apropiados. Los programas teóricos de simulación deben llevar al desarrollo e implementación de simulacros con el propósito de poner en práctica todos los procedimientos establecidos en los planes (Conred, Plan de emergencia).

- Comunicación

Los sistemas de comunicación se dividirán en 2 sectores: sistema de comunicación oral: el uso de los medios de comunicación serán restringidos a las personas que están en servicio (integrantes del equipo de la coordinadora local y su personal en servicio de las diferentes instituciones de los actores principales), para cubrir las necesidades específicas. El teléfono deberá ser específico de la situación. Los teléfonos celulares, aunque de propiedad particular, serán importantes para el uso y buen funcionamiento del servicio y la situación. La información dada a la población (por medio de megáfonos o altavoces) deberá ser específica; el sistema de comunicación vial: deben estar definidas e identificadas las vías de acceso principales, de estas estar obstruidas se deberán de utilizar las vías alternas para no quedar incomunicados.¹⁵

6.1. Situación anterior

En este Departamento se localizan las siguientes carreteras: ruta nacional 1, ruta nacional 6-W, ruta nacional 12-S y La Interamericana C A-2 que, partiendo de la ciudad Tecún Umán, municipio de Ayutla, frontera con México, y recorriendo la zona costera del país, al llegar a Escuintla, por la carretera interoceánica, el departamento se comunica con la ciudad capital.

¹⁵ GIRON CORDÓN, Maria del Mar. *Propuesta de plan de atención de emergencias ante los efectos de sismos para la alcaldía auxiliar de la zona cinco de la ciudad capital*. p. 29.

También existen roderas, veredas y caminos vecinales de terracería en el departamento, que sirven de comunicación entre poblados vecinos. Existen además las vías y estaciones del ferrocarril en la parte fronteriza con México, sobre todo en los municipios de Ayutla, Pajapita y Ocos. Tiene una red vial total de 1,020 km. que se divide en 260 km. de asfalto, 498 km. de tercería y 262 km. de caminos rurales.

San Marcos cuenta con todos los servicios necesarios para una población. Cuenta tanto con hospital Regional y centro de Salud; posee escuelas, bancos, tiendas, restaurantes, farmacias, entre otros. A pesar de que cuentan con los servicios necesarios estos no se dan abasto para las necesidades del departamento puesto que es uno de los departamentos más pobres de la República de Guatemala.

6.2. Evaluación de daños

Una vez ocurrido el impacto se deben accionar las actividades de respuesta, las cuales comprenden búsquedas, rescate, socorro y asistencia de personas, comunicaciones y labores de operación y mantenimiento en el caso de los sistemas.

Figura 11. **Evaluación de daños**



Fuente: departamento de San Marcos.

La capacidad de respuesta será mayor si se han diseñado las acciones que deben ejecutarse en el periodo de impacto de la amenaza natural, que puede variar de unas cuantas horas (terremotos) a algunos meses (sequías).

Las acciones de respuesta deberán ejecutarse según lo diseñado en el plan de emergencia, el cual comprenderá el manejo de los recursos humanos, materiales y económicos, tales como el personal técnico, maquinaria y equipos, y presupuestos para contingencias. Asimismo, tendrá estructurada la secuencia de operaciones por realizar, desde la evaluación de daños hasta la reparación y puesta en funcionamiento de los componentes de los sistemas, todo esto bajo una normativa legal y estratégica.

Las actividades por desarrollar después de ocurrido el desastre, con una intensidad acorde con la magnitud del mismo, son las siguientes:

- **Rehabilitación:** es el proceso de restablecimiento de las condiciones normales de vida mediante la reparación, adecuación y puesta en marcha de los servicios vitales que hayan sido interrumpidos o deteriorados por el desastre.
- **Reconstrucción:** las actividades de reconstrucción se refieren al proceso de recuperación a mediano y largo plazo de los elementos, componentes y estructuras afectadas por el desastre.

6.3. Daños estimados

Los daños y pérdidas económicas ascienden a Q 1 027,00 millones (más de 128 millones de dólares de los Estados Unidos de América). Desde el punto de vista metodológico, se considera como un daño a la destrucción parcial o total del acervo, es decir de los bienes patrimonio de la población y de la sociedad, de propiedad tanto pública como privada. Las pérdidas, en cambio, son las afectaciones a los flujos económicos ocasionadas por la destrucción del patrimonio y pueden ser tanto pérdidas de producción, de ingresos, la no prestación de servicios; o gastos extraordinarios y costos adicionales generados por el desastre. El terremoto del 7 de noviembre dio lugar a más daños que pérdidas, en parte porque las áreas afectadas se ubican en zonas destinadas a la agricultura campesina cuyas cosechas no se perdieron. Cabe anotar, por otra parte, que el comercio impactado es de pequeña escala y que, al momento de la evaluación, no se contó con un recuento detallado sobre el efecto del sismo en este sector, ni con información de su composición y estructura.

A partir de la estimación de daños se cuenta con una primera aproximación sobre cuáles son las necesidades de reconstrucción; por su parte, de las pérdidas se infieren los requerimientos de recuperación que permiten restaurar los flujos de producción y procurar la recuperación de ingresos, empleos y medios de vida.

Parte de esas necesidades de recuperación las tendrá que asumir el Estado en apoyo a aquella población que, habiendo sufrido pérdidas, no tiene la capacidad de auto recuperación debido a sus condiciones de vulnerabilidad económica y social.

Como se ha referido, las necesidades identificadas como consecuencia del terremoto del 7 de noviembre ascienden a más de Q 1 657,00 millones (más de 207 millones de dólares), cantidad que requerirá el uso de recursos fiscales tanto del presupuesto del gobierno central como de los recursos de municipios y departamentos. Si bien estos fondos podrían movilizarse rápidamente de los presupuestos existentes debido a saldos remanentes no ejecutados, generarían en el período fiscal siguiente (2013), alteraciones en el presupuesto ya elaborado. Por otro lado, si no se encuentran fuentes de financiamiento adicionales a las existentes, se generará postergación o cancelación de proyectos y acciones contempladas en los actuales programas de desarrollo en los niveles municipal, departamental y nacional, dificultando la consecución de las metas trazadas. Por un lado, el esfuerzo de reconstrucción y recuperación de medios de vida, empleo y crecimiento tiene que ser consistente con los programas existentes; por el otro, es preciso generar recursos adicionales para hacer frente a las necesidades que el desastre conlleva, tanto en términos de reponer lo dañado y perdido, como en términos de reducir el riesgo y condiciones de vulnerabilidad que el terremoto puso en evidencia. Por ejemplo, los efectos del terremoto permitieron el registro de un número significativo de

viviendas en riesgo (las cuales superan las 6 mil, cifra que casi duplica el número de unidades habitacionales destruidas por el sismo); también permitieron la identificación de necesidades de mejora sustancial en los siguientes ámbitos:

- La red vial, particularmente la terciaria (municipal y rural)
- Los sistemas de agua y saneamiento
- El acceso a la educación y a servicios de salud

Según el informe de Segeplan las actividades fueron desarrolladas bajo las indicaciones que personal de la Conred realizó siguiendo los procedimientos establecidos con la colaboración de todas las entidades involucradas. Concluyendo que ante el impacto que ocasiona la ocurrencia de los desastres naturales la organización y colaboración de todas las entidades es de vital importancia. Pero, también es importante la realización de estudios de vulnerabilidad para evitar desastres de magnitudes mayores.

Tabla XXXIV. Resumen de daños y pérdidas por sectores

*Tabla 3
Resumen de daños y pérdidas, por sectores: consolidado nacional*

Sector	Daños	Pérdidas	Total	Sector público	Sector privado	Necesidades identificadas
SOCIAL	685	59	744	282	462	1,136
Vivienda	423	17	440	15	425	828
Salud	15	1	16	16	-	54
Educación	215	4	219	219	-	219
Patrimonio cultural y deportes	32	37	69	32	37	37
PRODUCTIVO	24	-	24	-	24	24
Agricultura	5	-	5	-	5	10
Industria	-	-	-	-	-	-
Comercio	19	-	19	-	19	14
Turismo	-	-	-	-	-	-
INFRAESTRUCTURA	67	112	179	158	21	497
Transporte	35	106	141	123	18	167
Energía	3	-	3	1	2	-
Agua y saneamiento	13	1	14	14	-	116
Infraestructura institucional	16	5	21	20	1	214
TRANSVERSALES	-	80	80	80	-	-
Medio ambiente	-	-	-	-	-	-
Impacto sobre la mujer	-	-	-	-	-	-
Gestión de riesgo	-	-	-	-	-	-
Gastos de emergencia	-	80	80	80	-	-
Total en millones de quetzales	776	251	1,027	520	507	1,657
Total en millones de dólares	97	31	128	65	63	207

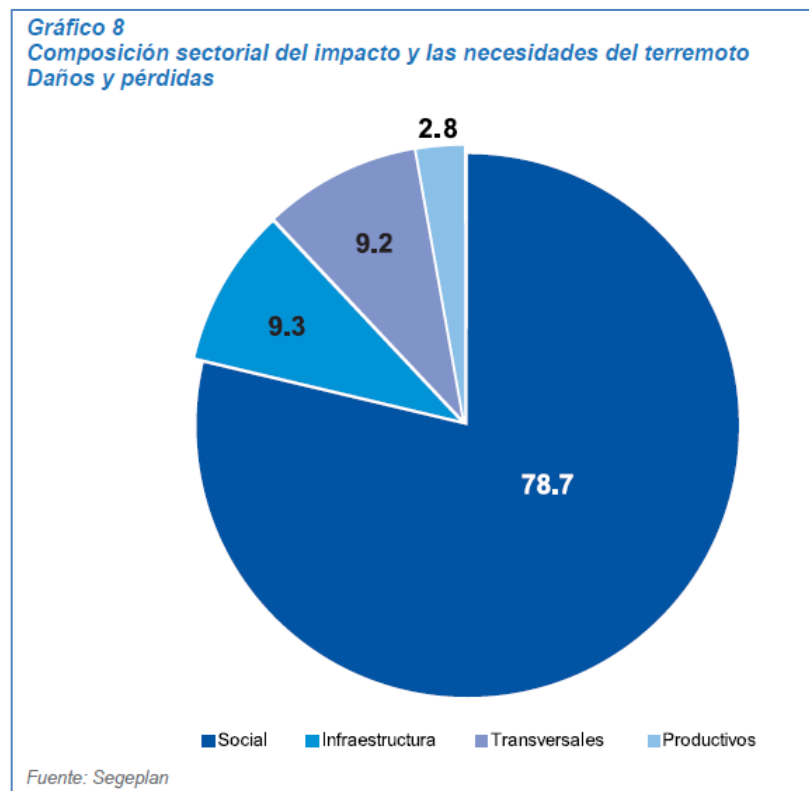
Fuente: elaboración propia, con base en cifras oficiales proporcionadas por Conred y por las diferentes entidades gubernamentales involucradas en la atención de la crisis.

Fuente: Secretaría General de Planificación de la Presidencia (Segeplan).

El sector más afectado fue el de la vivienda, pues sufrió Q 766 millones en daños, concentrados en destrucción parcial o total de viviendas (Q 423 millones); daños en establecimientos escolares (Q 215 millones) por destrucción física y por su uso como albergues; y daños a la infraestructura vial (Q 35 millones), con efectos colaterales de pérdidas significativas en el sector (Q 106 millones) y en otros. Como consecuencia de los daños se estiman pérdidas (flujos económicos en todos los sectores) superiores a Q 251 millones.

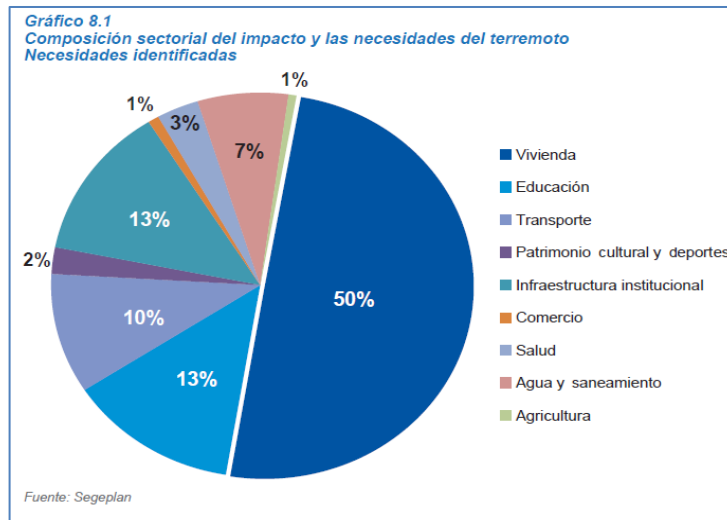
Ello afecta de manera directa al sector público en Q 520 millones, y en Q 507 millones al sector privado. Por la precariedad de los grupos sociales afectados (un buen número de ellos vive en el medio rural y se dedica a la agricultura de subsistencia, proviene de hogares de jefatura femenina, con niveles de ingreso bajo), el Gobierno asume una parte significativa de la rehabilitación y reconstrucción que se requieren, por un valor de Q 113 691 544,00. Se estima que hay 22 767 damnificados y 33 379 evacuados en los umbrales de la pobreza o por debajo de ella. El gráfico ilustra la composición sectorial de daños, pérdidas y necesidades.

Figura 12. **Composición sectorial del impacto y las necesidades del terremoto I**



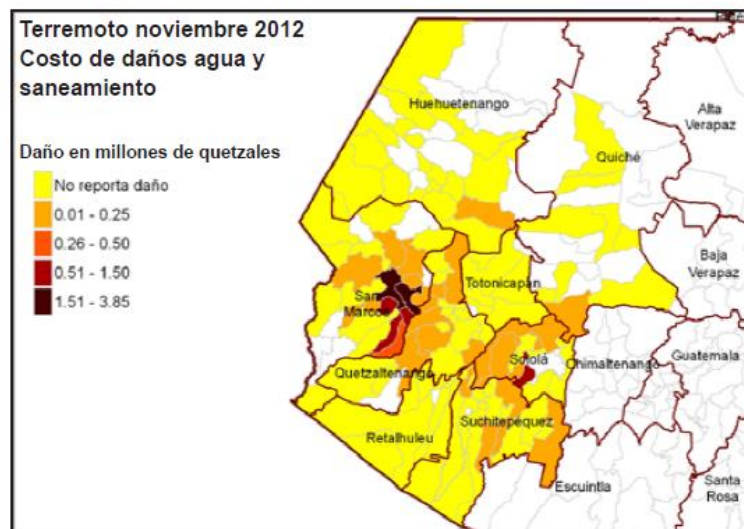
Fuente: Secretaría General de Planificación de la Presidencia (Segeplan).

Figura 13. **Composición sectorial del impacto y las necesidades del terremoto II**



Fuente: Secretaría General de Planificación de la Presidencia (Segeplan).

Figura 14. **Daños en los sistemas de agua y saneamiento**



Fuente: Secretaría General de Planificación.

Departamento de San Marcos. De los 29 municipios que conforman este departamento, 13 tuvieron afectaciones en el subsector agua y saneamiento. Los municipios afectados son: Comitancillo, El Quetzal, El Rodeo, Esquipulas Palo Gordo, La Reforma, San Antonio Sacatepéquez, San Cristóbal Cucho, San Lorenzo, San Marcos, San Pedro Sacatepéquez, San Rafael Pie de la Cuesta, Tajumulco y Tejutla. Se dañaron 119 sistemas de agua y saneamiento y el monto total estimado de daños asciende a Q 8,2 millones.

Tabla XXXV. **Número de sistemas de agua y saneamiento dañados y monto total de daños**

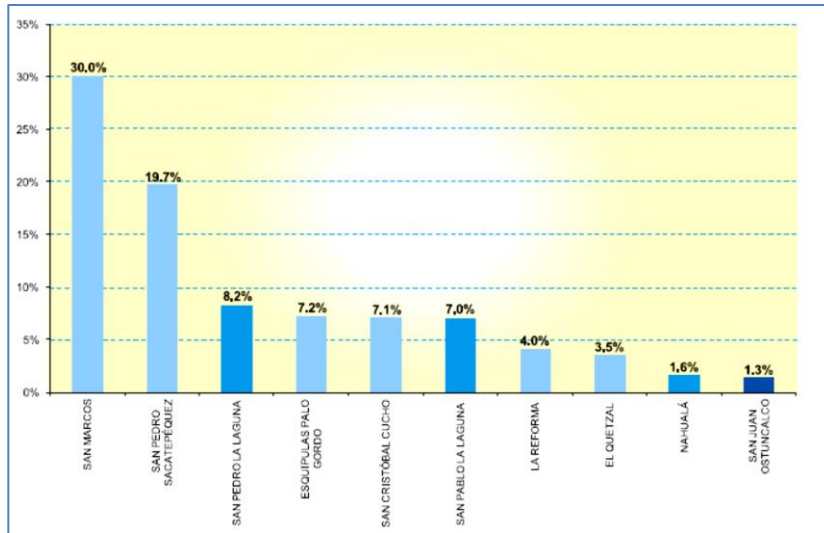
Tabla 12
Número de sistemas de agua y saneamiento dañados y monto total de daños
(en millones de quetzales)

Departamentos	Núm. de sistemas de agua y saneamiento dañados	% del total de sistemas dañados	Monto total de daños	% total de daños
San Marcos	119	70.8	9.47	73.7
Sololá	19	11.3	2.57	20.0
Quetzaltenango	24	14.3	0.64	5.0
Suchitepéquez	4	2.4	0.15	1.2
Huehuetenango	1	0.6	0.01	0.1
Quiché	1	0.6	0.01	0.1
TOTAL	168	100.0	12.85	100.0

Fuente: Infom.

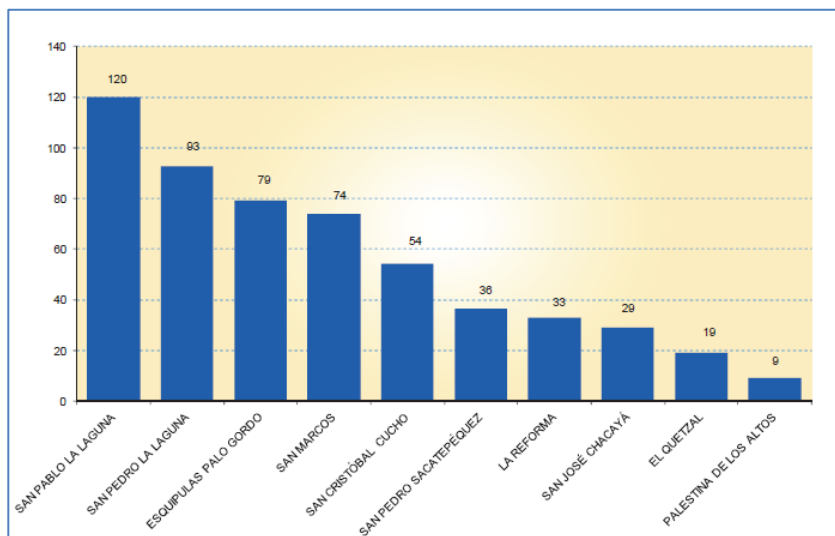
Fuente: Instituto Nacional de Fomento Municipal.

Figura 15. **Impacto absoluto y relativo en agua y saneamiento por municipio**



Fuente: Secretaría General de Planificación de la Presidencia (Segeplan).

Figura 16. **Necesidades identificadas en agua y saneamiento**



Fuente: Secretaría General de Planificación de la Presidencia (Segeplan).

Tabla XXXVI. **Necesidades identificadas en agua**

Resumen necesidades de agua y saneamiento	Millones de quetzales
San Marcos	112.55
Sololá	2.57
Quetzaltenango	0.64
Huehuetenango	0.01
Quiché	0.01
Suchitepéquez	0.15
TOTAL	115.93

Fuente: Secretaría General de Planificación de la Presidencia (Segeplan).

De los 29 municipios que conforman este departamento, en 2 se reportaron afectaciones en el subsector comercio: San Marcos y San Pedro Sacatepéquez. Se estimó que los daños al subsector comercio ascienden a un total de Q 18,9 millones, monto que incluye daños a inmuebles, mercadería, mobiliario y equipo y materia prima.

6.4. Tiempo de rehabilitación

Es el proceso de restablecimiento de las condiciones normales de vida mediante la reparación, adecuación y puesta en marcha de los servicios vitales que hayan sido interrumpidos o deteriorados por el desastre.

En el corto plazo se debe continuar con la ayuda humanitaria focalizada no solo en la población alojada en albergues, sino también en la albergada. Asimismo, es necesario priorizar el apoyo a los pequeños productores rurales, generando un programa de almacenamiento de cosechas, ya que debido a la destrucción de viviendas e infraestructura productiva dichos productores no

cuentan con sitios adecuados para almacenar su producción (silos, trojas, cobertizos, tapancos, entre otros).

Dado que la autoconstrucción tiene una alta prevalencia, sobre todo en zonas rurales, se recomienda un programa de capacitación de maestros de obra, albañiles y trabajadores de la construcción. Ello permitiría asegurar un mejor comportamiento sísmico de las viviendas en eventos futuros, con alta probabilidad de ocurrencia en la región. En el mediano plazo se requiere apoyo a la reactivación productiva general de los pequeños comercios, en especial los asentados en la vivienda, con énfasis en hogares de jefatura femenina.

Debido a las condiciones de inhabilitabilidad que se presentan en algunas zonas declaradas de alto riesgo y ante la persistencia de grupos poblacionales que buscan ubicarse en ellas, se necesita establecer un proceso participativo, de diálogo amplio y búsqueda de consensos. Ello, con el objetivo de generar soluciones viables que rompan con el círculo vicioso de falta de seguridad, abandono, exclusión y carencia de oportunidades. Estas son parte de las acciones que, en el mediano y largo plazos, contribuirían a una efectiva reducción del riesgo en un proceso de desarrollo más sostenible, adecuado al entorno ambiental y las amenazas recurrentes conocidas.

6.5. Prioridades de abastecimientos

Estas tienen un peor desempeño cuando se encuentran enterradas en suelos blandos o rellenos artificiales, que cuando están sobre terreno natural duro. Las zonas de cambio brusco en las características de los suelos, constituyen los puntos vulnerables de la red. Los acoplamientos rígidos tienen peor comportamiento que los flexibles. Por otra parte, la corrosión degrada considerablemente el comportamiento sísmico de las tuberías de hierro. Por

todo lo anterior, para el diseño de redes de agua potable y alcantarillados, o para evaluar su vulnerabilidad sísmica, es de vital importancia un buen conocimiento de la sismicidad, condiciones y fallas geológicas, nivel freático, estabilidad de taludes y características geotécnicas,

Después de un terremoto, la continuidad del servicio de agua potable es altamente prioritaria, por la propagación de epidemias y la alta probabilidad de que ocurran incendios derivados de cortocircuitos o escapes de gas. Sin el suministro de agua, los incendios pueden propagarse convirtiéndose en una catástrofe adicional

Una red de agua potable con diseño redundante y con diferentes vías alternas constituye una necesidad en zonas de alta sismicidad, lo que debe ser acompañado con un continuo y adecuado mantenimiento.

Para la mitigación de los riesgos de rupturas de tuberías, es importante tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

Si no se puede evitar el cruce de fallas activas, hay que hacerlo con el ángulo óptimo de cruce, 70° a 90° , con respecto al rumbo de la falla. Es deseable que exista la posibilidad de deslizamiento entre el suelo y la tubería, lo que se logra envolviendo la tubería con capas de polivinilo y enterrándola a baja profundidad. Los anclajes o empotramientos de la tubería deben evitarse a distancias menores de 300 m del cruce de la falla. Es preferible excavar la zanja con las paredes inclinadas, para permitir movimientos de la tubería. Es conveniente reforzar la tubería hasta unos 20 m de la zona de falla, utilizando tubería de hierro de mayor ductilidad o de acero de mayor espesor. Se debe reducir el espaciamiento entre válvulas, e instalarlas a ambos lados de la traza de la falla. También, es recomendable dejar salidas ciegas a cada lado de la

falla, para conectar allí un desvío externo que permita restablecer el servicio en caso de rotura por desplazamiento de la falla, por lo que es menester tener, en las cercanías, acopio del material necesario para ello.

En lo posible, evitar zonas de suelos blandos, taludes inestables, suelos con potencial de licuación y cambios abruptos de las condiciones geológicas o geotécnicas. Si esto es inevitable, es necesario tener sistemas redundantes, colocar las tuberías lo más superficialmente posible e instalar válvulas de seguridad para aislar zonas que puedan dañarse. En zonas de posible deslizamiento lateral (*lateral spreading*), las tuberías deben colocarse paralelas a las curvas de nivel.

En las tuberías matrices o troncales, debe tomarse el máximo de precauciones. Para los tanques de almacenamiento valen las mismas recomendaciones generales especificadas para los tanques de combustible y agua de plantas eléctricas.

Ingreso y registro de los suministros: procedimientos en los puntos de ingreso y sitios de recepción, esta suele ser una tarea crucial ya que es básicamente el primer contacto con las donaciones que ingresan y el desempeño en esta etapa tendrá un impacto notable en el resto del sistema. Como se ha establecido en el capítulo anterior, los suministros deben registrarse lo más rápidamente en los sitios de ingreso y recepción mediante un sistema estandarizado y que ofrezca herramientas para el control y el seguimiento.

Esto requerirá la disposición de un equipo humano en estos sitios para las diferentes tareas, así como un coordinador que oriente el trabajo y resuelva

consultas sobre selección, prioridad, clasificación y en general el tratamiento de las donaciones según sus categorías y otros criterios que se hayan establecido.

Los procedimientos más importantes para el registro de las donaciones en los puntos de ingreso son:

- Registro: los suministros que llegan deberían registrarse bajo el concepto unitario de envío, esto es el conjunto de provisiones que llegan al mismo tiempo, por el mismo medio de transporte, provenientes del mismo donante y dirigidos a un mismo destinatario.
- Basándose en la documentación que acompaña a la carga se hace un registro de cada uno de los envíos que ingresan. Por lo general, en los puntos de ingreso de los suministros no hay condiciones adecuadas (espacio, disponibilidad) para hacer la verificación detallada de la carga o bien esta viene referida a un destinatario que la llevará a sus propias bodegas; de manera que para hacer un registro adecuado de las provisiones entrantes se debe procurar obtener la mayor cantidad posible de detalles particulares de la carga, tales como:
 - Procedencia.
 - Destinatario.
 - Medio de transporte.
 - Cantidad de bultos.
 - Peso (de ser posible, precisar el peso de los diferentes tipos de suministros individualmente; Pe 1 000 kg de alimentos, 1 Kg de medicamentos, entre otros).
 - Contenidos y formas de empaque.
 - Condición en que llega la carga.

Separación por prioridad y etiquetado: la organización a cargo del manejo de estos suministros deberá establecer las prioridades para los diferentes tipos de suministros dependiendo de las necesidades más urgentes detectadas. Por ejemplo, en caso de terremoto, los suministros y equipo médico para el tratamiento de heridas y fracturas podrían ser prioritarios, mientras que en una inundación, la prioridad podría ser agua y alimentos.

De esta manera, la separación por prioridad permite brindarle atención a los suministros que están siendo solicitados con más urgencia y separar aquellos que pueden esperar antes de ser enviados. Todas las cajas y paquetes serán etiquetados o rotulados mostrando claramente su nivel de prioridad y se agruparán en sectores distintos del punto de ingreso o sitio de recepción.

También se debe etiquetar o rotular visiblemente aquellos suministros que requieran refrigeración o algún cuidado particular.

Clasificación de los suministros: para efectos del registro de los suministros recibidos, estos se deben clasificar por categorías y sus respectivas subcategorías. Esto además de facilitar la identificación de los artículos recibidos, contribuye a unificar los procedimientos de clasificación, almacenaje y control de existencias.

6.6. Plan de emergencia

La administración de la municipalidad debe propiciar el desarrollo de un plan de emergencia que considere la planificación, organización, dirección, control y capacitación de las actividades municipales, humanas y operativas

que deben coexistir para dar servicios de agua potable y alcantarillado a la población de este municipio.

Este proceso administrativo deberá hacerse bajo el marco legal que ampare y promueva tales programas, para lo cual se puede buscar el consejo de la Asesoría Legal que posee la municipalidad. El otro componente necesario es la base de información suministrada en un estudio sobre las amenazas, riesgos y componentes de los sistemas.

La Municipalidad deberá establecer los órganos funcionales que asuman tal responsabilidad durante todo el ciclo de los desastres, dando especial importancia a la etapa de mitigación, a la ejecución de los planes y a las medidas preventivas.

6.6.1. Declaratoria de alerta y emergencias

Los fenómenos naturales tienen características de impacto diferentes, y por ello generan situaciones de alerta y emergencia propias. Un sismo que se produce sin previo aviso y esto origina que la acción sea inmediata, no así la sequía que presenta condiciones climáticas fácilmente identificables para su presencia, permite un período de alerta relativamente extenso y, según su impacto, la etapa de emergencia también puede ser amplia. El estado de alerta es el período que transcurre desde el momento en que se declara el alerta y se inicia la movilización de recursos, hasta que se produce el impacto; si éste es muy débil, no se genera una situación de emergencia. La fase o estado de emergencia es la que sigue al impacto. Se declara cuando éste es inminente o, en el caso de los fenómenos repentinos, cuando ya ha ocurrido. El señor alcalde debería ser la autoridad que declare el estado de emergencia a nivel del

municipio y solicite al gobierno central o la autoridad competente la declaratoria de emergencia local conforme lo establece la ley.

La clasificación de las alertas utilizadas en el sistema nacional es la siguiente:

- Alerta verde: actividades de preparación, capacitación y acciones de mitigación en las comunidades. Se trabajará en la divulgación y mejoramiento del plan.

Después de darse el sismo, dependiendo de la afectación de la zona, se establecerán:

- Alerta amarilla: la afectación parcial, sin daños considerables de una o varias comunidades con poca capacidad de respuesta o con necesidades mínimas, pudiendo apoyarse en comunidades vecinas.
- Alerta anaranjada: afectación parcial, con daños considerables de una o varias comunidades con poca capacidad de respuesta o con necesidades mínimas, pudiendo apoyarse en comunidades vecinas.
- Alerta roja: una o varias comunidades se ven afectadas en forma parcial o total, rebasando la capacidad de respuesta local, lo cual requerirá de la ayuda de la Comred (Municipalidad). Se suspenderán todo trabajo normal, debiéndose enfocar todos los esfuerzos a la atención de la emergencia.

Adicionalmente de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas, la alerta temprana provee de información oportuna y eficaz a través de instituciones y actores claves, que permita, a individuos expuestos a una amenaza, la toma de acciones a fin de evitar o reducir su riesgo y prepararse

para una respuesta efectiva. Los sistemas de alerta temprana incluyen cuatro elementos, a saber: conocimiento y mapeo de amenazas; monitoreo y pronóstico de eventos inminentes; proceso y difusión de alertas claras para autoridades políticas y la población; así como adopción de medidas apropiadas y oportunas en respuesta a tales alertas.

Tabla XXXVII. **Sistemas de alerta temprana en Guatemala**

	Sistemas Institucionales centralizados	Sistemas comunitarios desconcentrados
Monitoreo de precursores	INSIVUMEH	Voluntarios en comunidades
Pronóstico	INSIVUMEN	Comred, Colred
Alerta	INSIVUMEH SE-CONRED Medios de comunicación	Comred, Colred
Respuesta anticipada	CONRED, Instituciones población	Comred, Colred, Población local
Tipos de amenaza	Eventos de cobertura multidepartamental o nacional, huracanes, erupciones, sequía, tsunamis, inseguridad nutricional	Eventos locales: inundaciones, erupciones
Comentarios	En varios casos se tienen todos los elementos del sistema pero no se reconoce o denomina como tal	Implementados por Conred o por entidades internaciones y ONGs, bajo la coordinación de CONRED

Fuente: Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. <http://www.conred.gob.gt>.

Consulta: 6 de noviembre de 2015.

Se puede decir que un plan de acción ante la emergencia puede tomar los siguientes pasos, para tener un sistema eficiente en cualquier circunstancia:

- Para garantizar la prestación del servicio de agua potable en el nivel de servicio adecuado se requiere de la participación de los tres actores básicos que conforman el triángulo del buen servicio: los clientes, el regulador (que se propone sea la Municipalidad) y el operador del servicio, o sea la Empresa Municipal de Agua Potable de San Marcos.
- Para que el operador del servicio cuente con mejores condiciones para ejecutar en forma eficiente y eficaz sus responsabilidades, se considera básico continuar con el fortalecimiento de la Empresa Municipal de Agua Potable de San Marcos.
 - Para lograr un carácter formal al estudio y mejorar la posibilidad de implementación de lo propuesto en el mismo, se consideran necesarias las siguientes acciones: a) que sea conocido por el Consejo Municipal, b) que se emita un acuerdo de aprobación del Consejo Municipal al estudio, c) que se publique el acuerdo de aprobación, y d) que se elabore un plan para la implementación de los resultados del plan maestro.
- Paralelamente a la ejecución de las inversiones propuestas es necesario que se ejecuten acciones concretas para la mejora de la gestión, específicamente relacionadas con la protección del recurso hídrico, con la comercialización (catastro, micromedición, lectura, facturación, cobro), con las finanzas (tarifas), con la operación y mantenimiento (organización, procesos, procedimientos, control, recurso humano,

equipos, instalaciones, entre otros, y con el servicio al cliente instalaciones, educación, comunicación, rendición de cuentas.

7. RESULTADOS ESPERADOS DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Los beneficios en una situación de riesgo están determinados por los costos evitados, los cuales pueden ser de cuatro tipos: en la infraestructura, en la economía, en lo social, en lo ambiental y en lo político.

7.1. Beneficios sociales

En lo social el desastre provoca pérdida de vidas humanas, heridos así como personas sin trabajo y sin hogar, lo cual reduciría la resiliencia e intensificaría el empobrecimiento de la población. Su medición puede hacerse con base en el costo de atención de los heridos así como en el número de pérdidas humanas, asimismo, ocasionará problemas en la salubridad de la población que implicará que los planes de emergencia médica ante posibles focos de epidemias sean activados de forma inmediata. El análisis de vulnerabilidad permite generar los parámetros y condicionantes que deben respetarse para aprobar las áreas como espacios habitables, permitiendo esto que ante las catástrofes futuras los pobladores no resulten tan afectados y las vidas humanas tengan un mejor resguardo.

El agua potable es el beneficio más importante, ya que de este se derivan los demás beneficios. Socialmente la salud, educación, trabajo, entre otros, vienen posteriores a tener un sistema de agua potable útil y constante.

7.2. Beneficios ambientales

En lo ambiental el desastre genera efectos cambiando los ecosistemas y en las cuencas, incrementando o disminuyendo los caudales del vital líquido, lo que implicaría efectos negativos en la biodiversidad y otros derivados. Su medición necesitaría una evaluación del impacto ambiental, la cual permitirá identificar las áreas más adecuadas para la habitabilidad del ser humano, con la finalidad de que este no cambie el pasaje tanto visiblemente como en sus ecosistemas, y a la vez habite en él obteniendo y disfrutando de la riqueza del mismo.

La Municipalidad y la Empresa Municipal de Agua EMAP deberán impulsar una política de preservación, protección y cuidado del medio ambiente en el municipio. Debido a que se tiene la responsabilidad para las futuras generaciones

7.3. Beneficios económicos

La infraestructura puede sufrir daños en sus componentes, lo que implicaría la interrupción de los servicios públicos y su medición podría realizarse con base en el costo de reconstrucción de la infraestructura y de reposición del mobiliario y equipo destruido.

En lo económico el desastre podría causar pérdidas económicas debidas a los daños, lo que implicaría pérdidas consecuenciales o lucro cesante (lo que se deja de ganar). Su medición podría hacerse con base en las pérdidas económicas.

El análisis de viabilidad permitirá a los inversionistas identificar las áreas y los índices de peligrosidad para determinar si son aptas para la inversión evitándose las millonarias pérdidas de la inversión realizada en áreas de alta peligrosidad.

7.4. Beneficios políticos

La Municipalidad generará proyectos para el desarrollo de la comunidad, en especial a las redes de abastecimiento de agua potable, generando fuentes de empleo e incrementando la calidad de vida de sus habitantes. Esto proporciona en los usuarios un ambiente de confianza hacia las autoridades, pues con los estudios de vulnerabilidad que se generen permitirá de una forma adecuada realizar la asignación de los recursos, evitando que exista la necesidad de reinvertir nuevamente debido a la generación de proyectos realizados en áreas vulnerables o inadecuadas para la realización de los mismos y que pueden ante una situación de alerta cobrar la vida de integrantes de la comunidad.

CONCLUSIONES

1. La tendencia actual de la ingeniería sismorresistente es establecer, inicialmente, los niveles tolerables de riesgo para cada instalación. Siendo las instalaciones de agua potable resistentes en un nivel IV ante una escala de Mercalli modificada, luego de este nivel las estructuras según sus características sufrirán porcentualmente de daños.
2. La línea de conducción de agua potable del área urbana de la cabecera departamental de San Marcos es vulnerable frente a los fenómenos naturales (sismos, deslaves, tormentas) y no cuenta con planes de mitigación, ni emergencia para contrarrestar los mismos, el período de diseño de los sistemas de agua potable es de un promedio de 20 años sin mantenimiento. El tiempo de vida útil de la línea conducción depende de varios factores, debido a que esta se diseña considerando el crecimiento poblacional, incremento en el sector comercial e industrial en el lugar, realización de más edificaciones en el sector.
3. Los componentes del sistema de agua potable de la línea de conducción de agua potable del área urbana de la cabecera departamental de San Marcos son vulnerables ante los fenómenos naturales, según la investigación realizada en este documento son, todos los componentes desde el tanque de captación hasta el tanque de almacenamiento, debido a que son obras de infraestructura con un tiempo de vida útil que puede ser alterado ante estos fenómenos. La calidad y condiciones de los elementos de la línea deberán ser los definidos en el diseño para que

de esta forma el período de duración de estos sea como mínimo el período de diseño de 20 años.

4. En cuanto a la operación y mantenimiento del sistema de agua, no existe una rutina establecida para tal efecto, sobre todo, se trabaja bajo la demanda de emergencias de mantenimiento o mediante la atención de solicitudes de conexión o desconexión.
5. El operador o fontanero no dispone de planos e información gráfica del sistema para realizar su trabajo. De igual forma, no dispone de algún manual de operación que regule y oriente su trabajo. Además, no se lleva una bitácora o historial de la operación del sistema. Pero el diseño se realiza según los normativos correspondientes a las leyes del país.
6. El sistema de agua potable tiene como función principal llevar el líquido vital a los pobladores, por lo que debido a las características de la región el área es altamente vulnerable y el sistema estará sujeto a la vulnerabilidad de la misma. En cuestiones de ubicación no es posible cambiarla debido a las condiciones y particularidades del servicio que genera.
7. Ante potenciales eventos la Municipalidad de San Marcos en conjunto con la Empresa Municipal de Agua Potable (EMAP) debe proporcionar los diseños, planos, análisis, entre otros, para los proyectos sociales y considerar la disminución de los efectos en la infraestructura de los mismos. Para el caso de los sistemas de agua potable, las condiciones de cada uno de los elementos deben ser revisadas periódicamente para evitar la ruptura en estas. También en las pendientes con mayor

inclinación deben poseer características especiales en elzanjeo para la colocación de la tubería y que esta no sea dañada fácilmente.

RECOMENDACIONES

1. Debido a la vulnerabilidad del sistema de agua potable se recomienda que la Empresa Municipal de Agua Potable (EMAP) realice planes de mitigación y emergencia, los cuales deben ser revisados y repasados por los actores de los mismos periódicamente, por lo menos una vez al año.
2. La EMAP debe considerar desarrollar un Sistema de Información Geográfica (SIG) con la finalidad de construir planos actualizados del sistema de agua potable, que sirvan de apoyo para el mejoramiento del sistema (ampliación) o para darle mantenimiento (preventivo).
3. Con el objetivo de evaluar la geometría de la zona multiacuífera de las cuencas de San Marcos, se recomienda en un futuro efectuar un levantamiento geofísico utilizando prospección con métodos geolétricos (sondeos eléctricos verticales). Con dichos trabajos, se podrá establecer el basamento de la zona y su potencial para el almacenamiento de las aguas subterráneas.
4. Para la conservación de las zonas de recarga las cuales se localizan en las áreas no urbanizadas de las cuencas, es importante para la Municipalidad de San Marcos y la Empresa Municipal de Agua Potable EMAP gestionar y propiciar la designación de la Sierra Madre como área protegida en jurisdicción de San Marcos, ya que estas áreas constituye las zonas principales de recarga de los acuíferos de San Marcos a explotar en un futuro, además de constituir el hábitat de la fauna y flora típica de la región.

BIBLIOGRAFÍA

1. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente .
Administración de emergencias en salud ambiental y provisión de agua. 1988. CEPIS. 235 p.
2. _____. *Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres*. CEPAL, 2002 (versión preliminar).
3. _____. *Estudio de caso: terremoto del 22 de abril de 1991 - Limón, Costa Rica*, Costa Rica, 1996.
4. _____. *Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable frente a deslizamientos*, 1997.
5. _____. *Evaluación de necesidades en el sector salud con posterioridad a inundaciones y huracanes*. 1989.
6. _____. *Emergencias y desastres en sistemas de agua potable y saneamiento: guía para una respuesta eficaz*. 2001.
7. Colegio de Ingenieros. *Restricciones al movimiento de las placas de Norteamérica y del Caribe a través de medidas de GPS a lo largo del Sistema de falla Motagua-Polochic en Guatemala*. Ingeniería, La Revista del Colegio de Ingenieros, Guatemala. 2004.

8. Organización Panamericana de la Salud Oficina Regional de la *Organización Mundial de la Salud. Manual para el manejo logístico de suministros humanitarios*. [en línea] <http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/libros/manejologistico.pdf>. p. 126. [Consulta: septiembre de 2000].