

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DEL ÁREA PROTEGIDA CORDILLERA  
ALUX EN MIXCO, GUATEMALA  
SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

**ANA LUCÍA PINEDA MINONDO**  
CARNET 10374-10

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, MAYO DE 2017  
CAMPUS CENTRAL

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DEL ÁREA PROTEGIDA CORDILLERA  
ALUX EN MIXCO, GUATEMALA  
SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR  
**ANA LUCÍA PINEDA MINONDO**

PREVIO A CONFERÍRSELE  
EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, MAYO DE 2017  
CAMPUS CENTRAL

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.  
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO  
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO  
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS  
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS  
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ  
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA  
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

## **NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

MGTR. JERSON ELIZARDO QUEVEDO CORADO

## **TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**

MGTR. JAIME LUIS CARRERA CAMPOS  
MGTR. VIRGINIA MOSQUERA SALLES  
LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

Guatemala, 22 de Mayo de 2017.

Consejo de Facultad

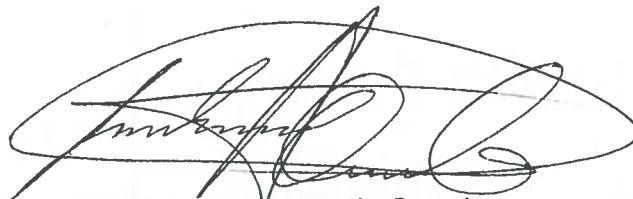
Ciencias Ambientales y Agrícolas

Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación de la estudiante Ana Lucía Pineda Minondo, carné 1037410, titulado "Vulnerabilidad del Sistema de Agua Potable del Área Protegida Cordillera Alux; Guatemala", el cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, hand-drawn oval. The signature is cursive and appears to read 'Jerson Elizardo Quevedo Corado'.

Ing. Jerson Elizardo Quevedo Corado

Colegiado No. 3096

Código Docente No. 18352





Universidad  
Rafael Landívar  
Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
No. 06719-2017

### Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Sistematización de Práctica Profesional de la estudiante ANA LUCÍA PINEDA MINONDO, Carnet 10374-10 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 0644-2017 de fecha 3 de mayo de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DEL ÁREA PROTEGIDA  
CORDILLERA ALUX EN MIXCO, GUATEMALA**

Previo a conferírsele el título de INGENIERA AMBIENTAL en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 17 días del mes de mayo del año 2017.



**MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
Universidad Rafael Landívar**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A:**

La Universidad Rafael Landívar, a la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas y a mis catedráticos.

Lic. Anna Cristina Bailey Hernández.

Mgtr. Jerson Elizardo Quevedo Corado.

The Nature Conservancy en Guatemala.

Mgtr. Juan Carlos Godoy Herrera.

Mgtr. Jose David Díaz González.

La Oficina de Aguas y Drenajes de la Municipalidad de Mixco del departamento de Guatemala.

## **DEDICATORIA**

**A:**

Dios, mi familia y amigos.

Mi planeta y país.

La Municipalidad de Mixco, como un producto académico para el uso y mejoramiento del servicio de agua potable.

The Nature Conservancy en Guatemala como insumo a la base de información para los Fondos de Agua en Guatemala.

# ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES	
2.1 REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.1 Importancia del agua y su disponibilidad a nivel mundial....	3
2.1.2 Agua potable.....	4
2.1.3 Sistema de abastecimiento de agua potable.....	5
2.1.4 Zonas de captación y regulación hidrológica.....	6
2.1.4.a El ciclo hidrológico.....	7
2.1.4.b Acuíferos.....	8
2.1.4.c Tipos de pozos.....	11
2.1.5 Cambio climático.....	12
2.1.5.a Variabilidad climática.....	12
2.1.5.b Amenazas inducidas por el cambio climático.....	13
2.1.5.c Vulnerabilidad de los recursos hídricos ante el cambio climático.....	13
2.1.6 Vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable.....	14
2.1.7 Medidas de adaptación enfocadas a sistemas de abastecimiento de agua potable.....	21
2.2 LOCALIZACIÓN.....	24
2.2.1 Dirección física de la organización.....	24
2.3 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA INSTITUCIÓN ANFITRIONA.....	26
2.3.1 Breve descripción de las actividades del Fondo de Agua en Guatemala.....	26
III. OBJETIVOS.....	28
3.1 GENERAL.....	28
3.2 ESPECÍFICOS.....	28

IV.	PLAN DE TRABAJO.....	29
4.1	DESCRIPCIÓN DE ÁREA ESPECÍFICA DE ACCIÓN EN LA INSTITUCIÓN.....	27
4.2	PROGRAMA DESARROLLADO.....	30
4.2.1	Primera Fase de Gabinete.....	30
4.2.2	Visita a la municipalidad de Mixco.....	30
4.2.3	Segunda Fase de Gabinete.....	31
4.2.4	Cálculo de la vulnerabilidad.....	33
4.2.5	Componentes y sus indicadores.....	34
4.2.6	Determinación de la vulnerabilidad de las variables.....	52
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
5.1	Identificación y elaboración del croquis del sistema de abastecimiento de agua potable “Las Ciénegas” y sus componentes.....	60
5.2	Vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua potable abastecido por las zonas de captación y regulación hidrológica del área protegida Cordillera Alux.....	64
5.2.1	Determinación de la vulnerabilidad del sistema por componente.....	64
5.2.2	Determinación de la vulnerabilidad global del sistema.....	114
5.3	Crítica a la metodología para la determinación de la vulnerabilidad.....	119
5.4	Medidas de mitigación del sistema de abastecimiento de agua potable.....	119
5.4.1	Priorización de las medidas de mitigación para el sistema de abastecimiento de agua potable.....	119
5.4.2	Medidas de mitigación por componente del sistema de abastecimiento de agua potable.....	123
VI.	CONCLUSIONES.....	137
VII.	RECOMENDACIONES.....	139
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	141

IX.	ANEXOS.....	148
9.1	Anexo 1. Matrices estándar para la determinación de la vulnerabilidad por componente.....	148
9.2	Anexo 2. Cálculo de la oferta de agua potable producido por las fuentes de abastecimiento.....	162
9.3	Anexo 3. Fotos de los sitios visitados.....	163
9.4	Anexo 4. Estudio hidrogeológico de Mixco, JICA 1995.....	174
9.5	Anexo 5. Ubicación de las fuentes de abastecimiento de agua potable.....	176
9.6	Anexo 6. Distintas teorías sobre el análisis de vulnerabilidad de sistemas de abastecimiento de agua.....	178

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Escala de evaluación de la vulnerabilidad por componente del sistema.....	33
Cuadro 2. Caracterización general de la vulnerabilidad de los componentes del sistema por niveles .....	34
Cuadro 3. Metodología para la determinación de la vulnerabilidad de las variables.....	52
Cuadro 4. Cuadro síntesis de la recopilación y generación de información relacionada con agua potable en la zona 1 de Mixco.....	63
Cuadro 5. Dinámica de cambio de cobertura forestal en la RFPMCA, en el período 1991-2010.....	67
Cuadro 6. Uso de los suelos de la RFPMCA. Año 2006.....	69
Cuadro 7. Balance entre la oferta y la demanda.....	80
Cuadro 8. Vulnerabilidad por componente.....	116
Cuadro 9. Estándar para el componente A: Zona de recarga hídrica.....	148
Cuadro 10. Estándar para el componente B: Fuente de abastecimiento de agua.	149
Cuadro 11. Estándar para el componente C: Gestión administrativa.....	151
Cuadro 12. Estándar para el componente D: Toma de agua y obra de captación.....	154
Cuadro 13. Estándar para el componente E: Línea de conducción.....	155
Cuadro 14. Estándar para componente F: Tanque de almacenamiento.....	157
Cuadro 15. Estándar del componente G: Red de distribución.....	158
Cuadro 16. Estándar para el componente H. Tratamiento del agua.....	160
Cuadro 17. Estándar para el componente I: Manejo de aguas post-uso.....	160
Cuadro 18. Cálculo de la oferta de agua potable producido por las fuentes de abastecimiento.....	162
Cuadro 19. Resumen de los nacimientos en la zona de Mixco.....	176
Cuadro 20. Resumen de los pozos artesanales de la zona 1 de Mixco.....	176

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Zonas de un acuífero.....	9
Figura 2. Plano de ubicación de la zona 1 de Mixco.....	25
Figura 3. Organigrama del Fondo de Agua en Guatemala.....	29
Figura 4. Croquis del sistema de abastecimiento de agua potable Las Ciénegas.....	62
Figura 5. Gráfico de vulnerabilidad del componente Zona de recarga hídrica...	65
Figura 6. Relación entre el suelo con bosque y sin bosque para la RFPMCA para los años 1991-2010.....	67
Figura 7. Mapa de uso actual de la tierra de la RFPMCA. Año 2010.....	70
Figura 8. Gráfico de vulnerabilidad del componente Fuente de abastecimiento de agua potable.....	73
Figura 9. Gráfico del balance hídrico del sistema de abastecimiento.....	81
Figura 10. Gráfico de vulnerabilidad del componente Gestión administrativa.....	83
Figura 11. Gráfico de vulnerabilidad del componente Toma de agua y obra de captación.....	89
Figura 12. Gráfico de vulnerabilidad del componente Tanque de almacenamiento.....	94
Figura 13. Gráfico de vulnerabilidad del componente Línea de conducción.....	98
Figura 14. Gráfico de vulnerabilidad del componente Red de distribución.....	102
Figura 15. Mapa de ubicación de la red de distribución de la zona 1 de Mixco...	104
Figura 16. Gráfico de vulnerabilidad del componente Tratamiento del agua.....	109
Figura 17. Gráfico de vulnerabilidad del componente Manejo de agua post-uso.....	112
Figura 18. Gráfico de la vulnerabilidad global del sistema.....	115
Figura 19. Valoración de los indicadores del sistema Las Ciénegas.....	118
Figura 20. Terreno Sistema de abastecimiento de agua potable Ciénega I.....	163
Figura 21. Terreno Sistema de abastecimiento de agua potable Ciénega II.....	164



Figura 22.	Cabina de la Policía Forestal y de Medio Ambiente de Mixco.....	164
Figura 23.	Cerco alrededor de Ciénega II.....	165
Figura 24.	Cerco alrededor de Ciénega II.....	165
Figura 25.	Agua estancada y contaminada en zanjas de tubería, Ciénega II.....	166
Figura 26.	Pozo artesanal, Ciénega I y Ciénega II.....	166
Figura 27.	Nacimiento, Ciénega I y Ciénega II.....	167
Figura 28.	Tanque de almacenamiento, Ciénega I.....	168
Figura 29.	Línea de conducción, Ciénega I.....	169
Figura 30.	Dosificador de cloro para el sistema Las Ciénegas.....	170
Figura 31.	Informe de análisis bacteriológico de agua Fábrica La Luz, INFOM....	171
Figura 32.	Informe de análisis fisicoquímico de agua Fábrica La Luz, INFOM....	172
Figura 33.	Punto de muestreo análisis de agua potable sistema Las Ciénegas...	173
Figura 34.	Mapa hidrogeológico de Mixco.....	175
Figura 35.	Mapa de ubicación de fuentes de abastecimiento de la zona 1 de Mixco.....	177

# **“VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DEL ÁREA PROTEGIDA CORDILLERA ALUX, GUATEMALA”**

## **RESUMEN**

El objetivo del estudio fue determinar la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua potable Las Ciénegas, abastecido por las zonas de captación y regulación hídrica de la Reserva Forestal Protectora de Manantiales y Caudales de Agua “Cordillera Alux” del municipio de Mixco, Guatemala. La metodología consistió en tres fases de gabinete y dos fases de campo para el análisis y caracterización de los nueve componentes del sistema. El cálculo de la vulnerabilidad consiste en la evaluación de la vulnerabilidad tanto de forma general como específica, analizando al sistema como un todo, y a cada componente por separado, los cuales a su vez se evalúan por medio de una serie de indicadores. La calificación de la vulnerabilidad se otorgó a partir de una escala cualitativa (con valores cuantitativos) para su análisis. Los resultados obtenidos muestran que el sistema posee una vulnerabilidad media (52.18%) y que el componente más vulnerable (100%) es el manejo de aguas post-uso, debido a que no existen plantas de tratamiento de aguas servidas. El segundo componente más vulnerable (64.29%) es el tanque de almacenamiento por su baja capacidad de almacenamiento, escaso mantenimiento, y nulas medidas de mitigación y prevención a las amenazas sísmicas del área. A nivel de importancia de componentes, se consideró que la zona de recarga hídrica, la fuente de abastecimiento de agua y el manejo de aguas post-uso, deberán ser prioridad en la gestión, debido a su intrínseca correlación y que a largo plazo se ven más amenazados de intensificar la vulnerabilidad global del sistema.

# **“VULNERABILITY OF THE POTABLE WATER SUPPLY SYSTEM OF THE PROTECTED AREA CORDILLERA ALUX, GUATEMALA”**

## **SUMMARY**

The objective of this study was to determine the vulnerability of the potable water supply system provided by the hydrologic catchment and regulation areas in the Forest Reservoir, Protective of Springs and Water Flows “Cordillera Alux”, in the urban area of Mixco, Guatemala. The methodology used consisted on three office phases and two field trips for the analysis and characterization of the nine components of this system. In order to calculate the vulnerability, a general and specific evaluation was needed, analyzing the system as a whole and each component separately by a series of indicators. The qualification of the vulnerability was defined by a qualitative scale (with numeric values) for its analysis. The results obtained indicate that the system has a high vulnerability (52.18%) and that the most vulnerable component (100%) is the management of waste water, due to the lack of water treatment plants. The second most vulnerable component (64.29%) is the collector tank due to its low storage capacity, low maintenance, and no mitigation or prevention measures to the highly seismic threat that characterizes the area of study. Analyzing the importance of the components, due to its correlation and long term threat, it was determined that the water retention area, water supply source and management of waste water are priority in the efforts of reducing the system’s vulnerability.

## I. INTRODUCCIÓN

En julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas determinó que el acceso a agua potable y saneamiento mejorado forma parte integral en la materialización de todos los derechos humanos. (PNUD, 2011). Para nuestro país, los servicios públicos de agua potable y saneamiento son de importancia estratégica, ya que constituyen las medidas más costo-efectivas para reducir la pobreza, la desnutrición crónica, los índices de morbilidad y mortalidad materno-infantil y la deserción escolar. (MSPAS, 2013b).

En cuanto a la cobertura a nivel nacional, de acuerdo con la Encovi 2006, la proporción de la población con acceso a servicios de saneamiento mejorados para el año 2006 era de un 54.5%. El 83% de la población urbana tenía acceso a este servicio, mientras que, para la población rural, la cobertura alcanzaba únicamente al 22%. El porcentaje de la población con acceso a fuentes mejoradas de agua potable al 2006 era de un 78.70%. (SEGEPLAN, 2010).

Para el municipio de Mixco, de acuerdo con la Encuesta Nacional del 2002, el porcentaje de hogares con acceso a agua potable (fuentes mejoradas) de 85.20%, y 91.06% de acceso a servicios de saneamiento mejorados. (INE, 2003).

De acuerdo con estos datos se evidencia que aún existen brechas que cubrir para que el 100% de la población tenga acceso a los servicios de agua segura. Estas brechas deben ser cubiertas incrementando la cobertura y mejorando los sistemas de abastecimiento para asegurar su funcionamiento en el mediano y largo plazo.

Un sistema de abastecimiento es un conjunto de componentes, equipos y métodos operativos que tiene un propósito definido. El sistema de abastecimiento de agua para consumo humano está integrado por diversas fases, componentes y equipos indispensables para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua, a la cual se

suman las acciones de operación, mantenimiento y administración que garanticen la cantidad, calidad, continuidad y costos adecuados. (Morales & González, 2001).

Hoy en día estos sistemas de abastecimiento se ven afectados por las amenazas inducidas por el cambio climático y la variabilidad climática. Así mismo, derivado del crecimiento de la población y de la falta de ordenanzas y reglamentos orientados a mejorar la gestión de los recursos hídricos, la población está siendo afectada en cuanto a la calidad y la cantidad de agua que ingresa a dichos sistemas de abastecimiento.

El objetivo de esta investigación consistió en analizar la vulnerabilidad del sistema de agua potable abastecido por las zonas de captación y regulación hidrológica del área protegida Cordillera Alux en el municipio de Mixco y en la determinación de medidas de mitigación para el mejoramiento del sistema.

# I. ANTECEDENTES

## 2.1 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1.1 Importancia del agua y su disponibilidad a nivel mundial

La gestión sostenible del agua abarca la protección y restauración de los ecosistemas, la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), así como el desarrollo, explotación y mantenimiento de las infraestructuras del agua, junto con el acceso a un suministro seguro, fiable y asequible de agua y servicios de saneamiento adecuados que mejoran el nivel de vida, expanden las economías locales y promueven la creación de puestos de trabajo más dignos y a una mayor inclusión social. La gestión sostenible del agua es un motor esencial para el desarrollo sostenible. (UNESCO, 2016).

De acuerdo a tabla de *World Water Balance and Water Resources of the Earth* elaborado por la UNESCO, el porcentaje de disponibilidad de agua potable respecto a la cantidad total de agua disponible a nivel mundial es tan solo del 2.5%, el cual lo constituyen las aguas dulces subterráneas y el hielo polar.

De esto, resalta la importancia de la hidrología, ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.

La escasez de agua es el resultado de diversas causas y podemos considerar tres dimensiones de la misma: (1) escasez de agua física, la cual surge de una combinación de la variabilidad hidrológica y el alto uso humano que se ve reflejado en la calidad y cantidad de agua disponible; (2) escasez de agua económica debido a una falta de infraestructura debido a limitaciones financieras o técnicas, independientemente del nivel de los recursos hídricos; (3) escasez de agua institucional debido a que las

instituciones no han cumplido a la hora de proveer al usuario con un suministro de agua confiable, seguro y equitativo (FAO, 2012.)

La escasez de agua disponible intensificará aún más la lucha por el agua entre los usuarios en áreas como la agricultura, el mantenimiento de los ecosistemas, los asentamientos humanos, la industria y la producción de energía. Esto afectará a las aguas regionales, a la energía y a la seguridad alimentaria, y potencialmente a la seguridad geopolítica, provocando migraciones a varias escalas. Muchas economías en desarrollo están ubicadas en lugares que sufren serios conflictos relacionados con el agua, en particular en África, Asia, América Latina y Oriente Medio. El cambio climático exacerba las amenazas a la disponibilidad de agua y se espera que aumente la frecuencia, intensidad y gravedad de los fenómenos meteorológicos extremos. (UNESCO, 2016).

### **2.1.2 Agua potable**

De acuerdo con COGUANOR el agua potable es “aquella que por sus características de calidad especificadas en esta norma, es adecuada para el consumo humano”. (COGUANOR, 2000).

De acuerdo al Reglamento para la Certificación de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Proyectos de Abastecimiento, el agua potable es definida como: Agua destinada para bebida, preparación de alimentos e higiene personal y que será distribuida por medio de un sistema de abastecimiento. (MSPAS, 2009). Para tal efecto, los términos “agua potable” y “agua apta para consumo humano” se consideran como sinónimos. (MSPAS, 2013b).

### **2.1.3 Sistema de abastecimiento de agua potable**

Un sistema es un conjunto de componentes, equipos y métodos operativos que tiene un propósito definido. El sistema de abastecimiento de agua potable está integrado por diversas fases, componentes y equipos indispensables para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua, a la cual se suman las acciones de operación, mantenimiento y administración que garanticen la cantidad, calidad, continuidad y costos adecuados. (Morales & González, 2001).

A continuación se detallan los componentes del sistema de abastecimiento de agua para potable:

**Zona de recarga hídrica:** Es la zona aparente donde se da el proceso de recarga de los acuíferos y manantiales mediante la infiltración del agua de lluvia; zona aparente donde se da el proceso de infiltración y alimentación de las fuentes superficiales y subsuperficiales que abastecen a las poblaciones.

**Fuente de abastecimiento de agua:** Son los cuerpos de agua que abastecen a las poblaciones (ríos, embalses, lagos, manantiales, acuíferos, nevados, mar).

**Toma de agua y obra de captación:** Son las obras necesarias para captar el agua de la fuente a utilizar y poder aprovecharla durante todo el año.

**Línea de conducción:** Es el conjunto de estructuras y elementos que sirven para transportar el agua desde la obra toma o sistema de captación hasta el reservorio o planta de tratamiento.

**Tanque de almacenamiento:** Es un elemento cuya función principal es la de suministrar reservas de agua, que cubran las variaciones horarias del consumo de la comunidad y las necesidades de esta, cuando requiera efectuar reparaciones en la obra de toma o la línea de conducción.



**Red de distribución:** Es la tubería que une al tanque de almacenamiento con la red de distribución, tiene la función de entregar el agua a los usuarios en la entrada de sus viviendas.

**Tratamiento del agua:** Es el método o procedimiento que se sigue para que se logre la calidad del agua necesaria para que sea potable o lo más potable posible.

**Manejo de agua post-uso:** Es el tratamiento que se da a las aguas residuales después de su utilización en el hogar o el sitio de habitación.

**Uso y manejo del agua en el hogar:** Es la forma en que se utiliza el agua dentro de la vivienda, se refiere a la distribución de la cantidad para cada una de las actividades, los elementos que se toman en cuenta para conservar la calidad y las medidas para el ahorro de la misma.

**Gestión administrativa:** Es el proceso que consiste en las actividades de planeación, organización, ejecución y control desempeñados para el manejo del recurso hídrico para consumo humano. (Mendoza, 2008).

#### **2.1.4 Zonas de captación y regulación hidrológica**

También llamadas tierras forestales de captación y regulación hidrológica, son aquellas tierras con aptitud preferentemente forestal, para realizar un manejo forestal sostenible u orientadas a la conservación o protección ambiental, con fines de captación y regulación hidrológica. Generalmente se encuentran ubicadas en regiones donde existen condiciones severas en cualquiera de los factores limitantes de su capacidad de uso, tales como la pendiente y profundidad efectiva del suelo, donde un uso distinto al forestal conlleva la degradación productiva de los suelos y de la capacidad reguladora del ciclo hidrológico, especialmente en la pérdida de la capacidad de infiltración y/o

almacenamiento de agua y en la capacidad de contrarrestar el efecto erosivo de la misma. Son áreas que en combinación con la capacidad de regulación hidrológica, representan mucha importancia por la cantidad de agua que entra al sistema y por la cantidad y calidad de agua que se infiltra y/o escurre para recargar drenajes superficiales y subterráneos.

Bajo estas condiciones, este tipo de tierras pueden presentar la mayoría de las siguientes características hidrológicas, a nivel de cuenca:

- Altas cantidades de precipitación neta comparativamente con áreas circundantes, por efecto de la ocurrencia de diferentes tipos de precipitación, tales como precipitación orográfica y precipitación horizontal.
- Bajas tasas de evaporación comparativamente con áreas circundantes.
- Relativa abundancia de manantiales y escorrentía superficial coexistiendo en un equilibrio ecológico con su entorno.
- Alta permeabilidad o infiltración. (Veliz, 2005).

#### **2.1.4.a El ciclo hidrológico**

Se denomina ciclo hidrológico del agua al movimiento permanente del agua desde la tierra hasta la atmósfera y su regreso a la tierra. El agua puede presentar tres estados: sólido, líquido y gaseoso. A su vez el ciclo hidrológico presenta diversas etapas, como son: evaporación, transpiración, condensación, escorrentía y percolación.

- **Evaporación:** Cuando la lluvia cae en el suelo caliente se evapora. El agua de los ríos, lagos y mares se evapora por la acción del sol. La transpiración es una evaporación pues el agua proveniente de las plantas y de los animales va a la atmósfera.

- Escorrentía superficial: Cuando parte de la lluvia cae sobre la superficie de la tierra y forman corrientes, que llegan a los ríos, lagunas, mares, etc.
- Escurrimiento subterráneo: Ocurre cuando parte del agua penetra (se percola) en el suelo, formando manantiales, pozos, etc.
- Condensación (precipitación): El agua evaporada que forma las nubes, al llegar a zonas frías, se condensa y cae en forma de lluvia. (OPS(OMS)/CEPIS, 2004).

#### **2.1.4.b Acuíferos**

Como acuífero se entiende la parte saturada del perfil del suelo y que tiene la facilidad de almacenar y transmitir el agua. Por su dinámica de formación, y si se admite que reciben agua de la precipitación (aunque puede recibirla por otras vías) en estos acuíferos se pueden definir tres zonas acorde a la Figura 1:

- Zona de Alimentación o Recarga: Es aquella zona donde el agua de precipitación se infiltra.
- Zona de Circulación o almacenamiento: Compreendida entre la zona de alimentación y la zona de descarga.
- Zona de Descarga: Zona donde el agua sale del acuífero. Por ejemplo: manantial, descarga al mar, río. (Casanova, 2012).



Figura 1. Zonas de un acuífero. (Elaboración propia).

A través de la infiltración en las zonas de recarga, de la precipitación en las formaciones geológicas en el tiempo, se han formado los diferentes acuíferos que abastecen de agua subterránea a la zona metropolitana. Existen diferentes acuíferos, cuya formación ha dependido de los tiempos geológicos, la precipitación, la infiltración y la dinámica de la corteza terrestre, llegando a formar:

- Acuíferos libres: Un acuífero libre, llamado también acuífero freático o capa freática, es una formación permeable saturada limitada en su parte inferior por una capa impermeable. El límite superior está formado por la tabla de agua, la que se encuentra en equilibrio con la presión atmosférica. El agua en un acuífero libre se llama agua freática o libre. El nivel de agua producido por la instalación de un pozo de observación o de un agujero que penetra en dicha formación por lo general no se eleva más arriba del nivel freático (excepto cuando existe flujo vertical). De allí que para el acuífero libre, el nivel de la napa freática se obtiene instalando pozos de observación. Los valores de  $K'$  conductividad hidráulica de la zona no saturada son potencialmente iguales a los valores de  $K$  de la zona saturada.

- **Acuíferos colgados:** El acuífero colgado o semilibre es en realidad una formación casi semiconfinada, en la cual la conductividad hidráulica de la capa semipermeable (grano fino) es tan grande que la componente horizontal de flujo de esta capa no puede ser despreciada. Este tipo de acuífero es una forma intermedia entre el tradicional, acuífero semiconfinado y el acuífero libre. Desde el punto de vista del valor de conductividad hidráulica  $K'$  valor de la capa ligeramente semiconfinante es ligeramente menor que  $K$  del acuífero propiamente dicho.
- **Acuíferos semi confinados:** Un acuífero semiconfinado es una formación permeable saturada, cuyo límite superior está constituido por una capa semipermeable y cuyo límite inferior puede ser una capa impermeable o semipermeable. En la capa superior se encuentra la tabla de agua, cuya altura difiere a menudo a la carga piezométrica y al agua confinada en la capa permeable. En esos acuíferos para la obtención de la superficie piezométrica se utilizan los piezómetros. Debido a la diferencia en la carga hidráulica (entre la tabla de agua y superficie piezométrica) hay una componente del flujo vertical que tiende a elevar o bajar la capa freática. El agua de un acuífero semiconfinado se llama semiconfinada. Los valores de  $K'$  correspondientes a la capa semipermeable, son muy pequeños con relación al valor de  $K$  del acuífero mismo (capa permeable).
- **Acuíferos confinados:** Un acuífero confinado es una formación permeable completamente saturada de agua y cuyos límites superior e inferior son capas impermeables. En los acuíferos confinados, la presión del agua en ellos, es generalmente mayor que la atmosférica, por tal razón, el agua en pozos que penetran en tales acuíferos permanecen por encima del nivel superior de las capas permeables. El agua de un acuífero confinado se denomina agua

confinada o agua artesiana. El valor de  $K'$  es prácticamente nulo en relación con el valor de  $K$ . (Faustino, 2007).

Se pueden presentar acuíferos colgados, acuíferos libres y acuíferos confinados, así como la combinación de estos. (IARNA/URL & TNC, 2012).

#### **2.1.4.c Tipos de pozos**

Un pozo para abastecimiento de agua es un hueco profundizado en la tierra para interceptar acuíferos o mantos de aguas subterráneas.

- Pozo excavado

Aquel que se construye por medio de picos, palas, etc., o equipo para excavación como cucharones de arena. Son de poca profundidad y se usan donde el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie. Su principal ventaja es que pueden construirse con herramientas manuales, además su gran diámetro proporciona una considerable reserva de agua dentro del pozo mismo. (OPS(OMS)/CEPIS, 2004).

- Pozo taladrado

Aquel en que la excavación se hace por medio de taladros rotatorios, ya sean manuales o impulsados por fuerza motriz. Su principal ventaja es que pueden construirse con herramientas manuales, además su gran diámetro proporciona una considerable reserva de agua dentro del pozo mismo. (OPS(OMS)/CEPIS, 2004).

- Pozo a chorro

Aquel en que la excavación se hace mediante un chorro de agua a alta velocidad. El chorro afloja el material sobre el cual actúa y lo hace rebalsar fuera del hueco. (OPS(OMS)/CEPIS, 2004).

- Pozo clavado

Aquel que se construye clavando una rejilla con punta, llamada puntera. A medida que esta se calva en el terreno, se agregan tubos o secciones de tubos enroscados. Son de pequeño diámetro. (OPS(OMS)/CEPIS, 2004).

- Pozo perforado

La excavación se hace mediante sistemas de percusión o rotación. El material cortado se extrae del hueco con un achicador, mediante presión hidráulica, o con alguna herramienta hueca de perforar, etc. (OPS(OMS)/CEPIS, 2004).

Cada tipo de pozo tiene sus ventajas particulares, que pueden ser, la facilidad de construcción, tipo de equipo requerido, capacidad de almacenamiento, facilidad de penetración o facilidad de protección contra la contaminación. (OPS(OMS)/CEPIS, 2004).

### **2.1.5 Cambio climático**

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático define al cambio climático como: “Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.

#### **2.1.5.a Variabilidad climática**

La variabilidad climática es una medida del rango en que los parámetros climáticos varían de un año a otro. Incluso puede incluir las variaciones en la actividad de condiciones extremas, como las variaciones del número de eventos lluviosos de un verano a otro. La variabilidad climática es mayor a nivel regional o local que al nivel hemisférico o global. (CIIFEN, 2013).

### **2.1.5.b Amenazas inducidas por el cambio climático**

El término amenaza, se usa aquí para describir un evento climático definido físicamente que tiene el potencial de causar daños, tales como eventos de lluvias intensas, sequías, inundaciones, tormentas, heladas y cambios a largo plazo en las variables climáticas promedio, como lo es la temperatura. (PACC, 2013).

### **2.1.5.c Vulnerabilidad de los recursos hídricos ante el cambio climático**

Con relación al cambio climático, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2001), define la vulnerabilidad como “el grado en que un sistema es susceptible o incapaz de enfrentarse a efectos adversos de este fenómeno, incluyendo la variabilidad y extremos climáticos”. (IARNA-URL, 2012).

Según el IPCC (2011), la vulnerabilidad tiene tres componentes:

- *Exposición*, que se refiere a la presencia de un riesgo climático, es decir, a los aspectos físicos de la vulnerabilidad.
- *Sensibilidad*, se refiere al grado en que un sistema responderá a determinado cambio del clima, incluidos los efectos beneficiosos y perjudiciales.
- *Capacidad adaptativa*, se refiere a “la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad climática y los cambios extremos) para aminorar daños potenciales, aprovechar las oportunidades, o enfrentar sus consecuencias. (IARNA-URL, 2012).

En el caso del agua, no existe un esquema de gestión que, considerando la oferta y todos los elementos naturales que la definen, garantice, como propósito fundamental, la provisión equitativa y eficiente de este recurso en cantidad, calidad y de manera



permanente para todos los tipos de demanda nacional –consumo humano, usos productivos, recreativos, ecológicos, entre otros–. Casos de gestión conducidos desde las municipalidades, o bien desde ámbitos privados –empresariales o comunitarios– para garantizar el consumo humano, no dejan de ser aislados y, en última instancia, parciales en soluciones, pues carecen de enfoques territoriales, de fundamento técnico al menos análisis de oferta y demanda y visión de largo plazo. Al estar centrados en el consumo humano, estos esfuerzos de gestión se relacionan sólo con el 2.5% del total de agua que se utiliza a nivel nacional. En general, su uso es totalmente anárquico. Se utilizan fuentes superficiales o se perforan pozos sin ningún control para aprovechar el agua subterránea. Estos hallazgos en relación con la utilización del agua, generan vulnerabilidad al sistema. (IARNA-URL, 2012).

#### **2.1.6 Vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable**

En el caso de los sistemas hídricos, la probabilidad de una mayor vulnerabilidad se presenta en sistemas mal administrados y que actualmente están bajo tensión o cuya ordenación es deficiente e insostenible debido a políticas que desalientan al uso eficaz o la protección de la calidad del agua, o a causas como una ordenación inadecuada de las cuencas fluviales, a no administrar el suministro variable de aguas y su demanda, o a la inexistencia de orientación profesional bien fundada. En sistemas sin adecuada ordenación apenas hay estructuras establecidas para amortiguar los efectos de la variabilidad hidrológica en cuanto a la calidad del agua y su suministro. (IPCC , 2001).

De acuerdo con UNESCO-IHE (2004), citado por (Díaz, 2008) la vulnerabilidad del recurso hídrico es el proceso que conlleva a situaciones críticas e irreversibles en torno a la calidad y cantidad de los recursos hídricos que ponen en riesgo el desarrollo humano y el funcionamiento de los ecosistemas.

## **Tipos de amenaza en los sistemas de abastecimientos de agua**

En los sistemas de abastecimientos de agua la amenaza, según su origen, se puede clasificar en natural o producida por el hombre, que a su vez puede ser inherente a la operación y al mantenimiento o ajena a estos. (Morales & González, 2001).

### **Amenazas producidas por el hombre**

Entre las amenazas más importantes inducidas por el hombre están:

a) Relacionadas con la operación y el mantenimiento:

- En conductoras y redes de distribución:
  - Envejecimiento de la tubería.
  - Golpe de ariete.
  - Agresividad del medio.
  - Falta de presión suficiente.
  - Exceso de presiones.
  - Poco o ningún mantenimiento.
  - Deficiencia en el sellaje de las uniones en el proceso de instalación de las tuberías.
  - Incorrecta transportación de las tuberías provocando fisuras en las mismas.
  - Falta de recubrimiento mínimo de las tuberías.
  
- Equipos de bombeo debido a:
  - Frecuentes paros y variaciones de la energía eléctrica.
  - Poco o ningún mantenimiento.
  - Falta de existencia de equipos de reserva.

- Deficiencias en las instalaciones eléctricas.
- Falta de automatización de los equipos.
- Falta de piezas de repuesto.
- Deficiente operación de los equipos ya que los operadores no cuentan con una calificación adecuada.
- Envejecimiento de los equipos.
- Calidad en el servicio. (Morales & González, 2001).

b) Ajenas a la operación y el mantenimiento.

- Guerras.
- Accidentes: Falla en construcción, explosiones, incendios y choques.
- Contaminación química o biológica de los sistemas de abasto. (Morales & González, 2001).

### **Amenazas naturales**

Es decir, de las amenazas provenientes de fenómenos físicos originados por la naturaleza y sus elementos, entre las más importantes están:

a) Inundaciones.

Las inundaciones son fenómenos naturales que tienen como agentes a la lluvia o al crecimiento anormal del nivel del mar. Generalmente, las destrucciones ocasionadas por las inundaciones en los sistemas de agua potable se pueden asociar a lo siguiente:

- Destrucción total o parcial de captaciones localizadas en ríos o quebradas.
- Azolve y colmatación de componentes por arrastre de sedimentos.
- Pérdida de captación por cambio del cauce del río.
- Rotura de tuberías expuestas en pasos de quebradas y/o ríos.

- Rotura de tuberías de distribución y conexiones en las áreas costeras debido al embate de marejadas y en áreas vecinas a cauces de agua.
- Contaminación del agua en las cuencas.
- Daño de equipos de bombeo al entrar en contacto con el agua.
- Colateralmente hay impactos indirectos como la suspensión de energía eléctrica, corte de caminos y comunicaciones. (Morales & González, 2001).

#### b) Huracanes y ciclones.

Los huracanes son grandes depresiones tropicales caracterizadas por fuertes tormentas y vientos con velocidades que exceden 32 m/s (115 km/h), y que pueden alcanzar hasta 300 km/h. Estos fuertes temporales, cuando son en menor grado, se denominan ciclones. Generalmente, las destrucciones ocasionadas por los huracanes en los sistemas de agua potable, se pueden asociar a lo siguiente:

- Daños parciales o totales en las instalaciones, puestos de mando y otras edificaciones de la empresa, tales como rotura de vidrios, techos, etcétera, debido a la fuerza de los vientos.
- Roturas de tuberías, en pasos expuestos, tales como ríos y quebradas, debido a fuertes precipitaciones.
- Roturas y desacoples de tuberías en zonas montañosas por deslizamiento de tierra y corrientes de aguas.
- Roturas y daños en las tapas de los tanques elevados y asentados sobre el terreno.
- Contaminación de agua en los tanques y tuberías.
- Roturas de tuberías y falla de estructuras por asentamiento del terreno, debido a inundaciones.
- Daños en el sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica, ocasionando la interrupción en la operación de equipos, instrumentos y medios

de comunicación. (Morales & González, 2001).

#### c) Sequías.

Las sequías son períodos secos prolongados en ciclos climáticos naturales que se originan en un conjunto complejo de elementos meteorológicos que actúan en el suelo y la atmósfera. Esto determina la alteración en el balance hídrico de una zona o localidad y torna insuficientes los recursos hídricos para satisfacer los requerimientos de consumo humano, animal y vegetal, principalmente para riego, generación de energía eléctrica y lo que es más importante, para agua potable. (Morales & González, 2001).

Los efectos esperados en los sistemas de abastecimiento de agua potable son:

- Pérdida o disminución del caudal de agua superficial y/o subterránea.
- Racionamiento y suspensión del servicio.
- Necesidad de consumo de agua que llega en camiones tanque, con la consecuente pérdida de calidad de agua y el incremento en los costos.
- Abandono del sistema. (Morales & González, 2001).

#### d) Terremotos

Los terremotos se pueden definir como cualquier movimiento sísmico que produce daños de importancia y pérdidas humanas. (INSIVUMEH, 2015). Cuando las placas tectónicas hacen contacto entre ellas, las presiones emergen a la corteza terrestre. Estas presiones se pueden clasificar según el tipo de movimiento a lo largo de los bordes de las placas: a) alejándose unas de otras, b) deslizándose de costado relativo unos a otros, y c) empujándose unas contra otras. (Jiménez, 2007).

La probabilidad de que ocurran terremotos está determinada por la sismicidad de la región. Las amenazas sísmicas locales o propias de un sitio dependen de la estructura geotécnica del área. Existen cinco amenazas sísmicas que pueden poner en peligro los sistemas de abastecimiento de agua:

- vibración del terreno
- licuefacción
- asentamiento, densificación y agrietamiento
- deslizamientos
- ruptura por falla. (AWWA, 1984).

Entre los efectos esperados en caso de sismos en los sistemas de agua potable están:

- Destrucción total o parcial de las estructuras de la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución.
- Rotura 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.
- Variación (disminución) del caudal en captaciones subterráneas o superficiales.
- Cambio del sitio de salida del agua en manantiales. (OPS/OMS, 1998).

#### e) Erupciones volcánicas

La liberación o expansión de los gases disueltos en el magma, debido a una disminución en la presión, es la fuerza que impulsa el magma hacia arriba. El tipo de magma y la cantidad de gases son los que determinan el tipo de erupción. Los principales peligros producidos por la erupción de un volcán son: caída de piroclastos (ceniza, lapilli, escoria, bombas y bloques), flujos o ríos de lava, flujos piroclásticos o nubes ardientes, colapso total o parcial del edificio volcánico, lahares o corrientadas de escombros, y gases. (INSIVUMEH, 2015).

Los principales efectos de las erupciones volcánicas en los sistemas son:

- Destrucción total de los componentes en las áreas de influencia directa de los flujos, generalmente restringidas al cauce de los drenajes que nacen en el volcán.
- Obstrucción de las obras de captación, desarenadores, tuberías de conducción, floculadores, sedimentadores y filtros, por caídas de cenizas.
- Modificación de la calidad del agua en captación de agua superficial y en reservorios por caída de cenizas.
- Contaminación de ríos, quebradas y pozos en zonas de deposición de los lahares.
- Destrucción de caminos de acceso a los componentes y de las líneas de transmisión de energía eléctrica y de comunicación.
- Incendios. (OPS/OMS, 1998).

### **Factores que influyen en la vulnerabilidad de un sistema**

Entre los factores que influyen en la vulnerabilidad de un sistema de abastecimiento de agua potable se encuentran los siguientes:

- Características del sitio. La ubicación específica de un sistema, así como las características geográficas y geológicas, definen en forma prioritaria la potencialidad de presentación de una condición adversa, así como contribuyen a caracterizar el grado de impacto que pueden acarrear en el sistema.
- Fuentes. Número, tipo, características, caudales, calidad de las aguas, áreas de contribución, etcétera.
- Características tecnológicas del proyecto.
- Normas de diseño y construcción.
- Componentes. El tipo, número de procesos, componentes, equipos,

instalaciones, accesorios, su forma de interconexión, influyen en forma determinante en el grado de confiabilidad de un sistema, requiriendo de un análisis completo de sus características y confiabilidad individuales para determinar el grado de vulnerabilidad del conjunto.

- Servicios complementarios. Adicional a las características intrínsecas de los componentes, influyen en la confiabilidad o vulnerabilidad del sistema las características de los servicios auxiliares, tales como energía eléctrica, sistemas, vías de comunicación, etc.
- Operación y mantenimiento. La existencia de programas regulares de operación y mantenimiento, así como el grado de tecnificación del personal, la disponibilidad de materiales, accesorios, equipos y repuestos, contribuirá a elevar el grado de confiabilidad de un sistema. (Morales & González, 2001).

### **2.1.7 Medidas de mitigación enfocadas a sistemas de abastecimiento de agua potable**

La mitigación es toda acción orientada a disminuir el impacto de los desastres naturales en la población y en la economía. Para los fines de la presente Guía se define como al conjunto de medidas y acciones estructurales y no-estructurales que buscan disminuir los niveles de riesgo ya existentes. Es una visión correctiva, identificando escenarios, manifestaciones y niveles de riesgo existente o de aspectos sustantivos que están expuestos a sufrir daños. La mitigación se realiza en la etapa de operación de los Sistemas de Abastecimiento de Agua y Alcantarillado Sanitario. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

Las medidas de mitigación las conforman el conjunto de medidas y obras a implementar antes del impacto de las amenazas para disminuir la vulnerabilidad de los Componentes y de los Sistemas de Agua potable y Alcantarillado Sanitario. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).



En el pasado, las medidas estructurales han sido las medidas predominantes que la sociedad ha tomado como respuesta a la disminución del recurso hídrico. Por ejemplo, la construcción de diques de gaviones y mampostería, la construcción de pozos para obtener agua potable y para la irrigación. No obstante, debido a diversos factores como la debilidad institucional, el traslape de funciones entre las organizaciones, el oportunismo político, la democracia debilitada, la corrupción y la poca o nula participación de los actores clave junto con la falta o mal uso de información biofísica, han provocado que estas medidas sean poco exitosas. (IPCC, 2007).

Los problemas relacionados con la disponibilidad de agua serán aún más serios en los próximos años. Las medidas que se tomen para reducir los efectos con respecto a este problema deben considerar el papel y las opiniones de los involucrados (población, autoridades locales, el gobierno regional y federal, etc). Además, no se deben olvidar los aspectos biofísicos, ecológicos, sociales, económicos, políticos e institucionales ya que forman la parte integral del manejo del recurso. (IPCC , 2001).

La habilidad de los sistemas humanos de adaptarse depende de factores tales como la riqueza, la tecnología, la educación, la información, la pericia, la infraestructura, el acceso a los recursos y las capacidades administrativas e institucionales, la filosofía de gestión de la riqueza, la escala temporal de planificación, el marco jurídico y la movilidad de la población. Tales factores predominan de forma muy variable en las diversas poblaciones y comunidades, y los países en desarrollo, particularmente los menos desarrollados, son en general los más desprovistos al respecto. El resultado es que tienen menos capacidad de adaptarse y son más vulnerables. (IPCC , 2001).

El agua para consumo doméstico, a menudo proviene de ecosistemas forestales que proveen servicios hidrológicos, por lo tanto, la necesidad de incluir estos ecosistemas en las políticas nacionales y planes de mitigación es de gran importancia para asegurar la provisión de agua de calidad a un costo menos que la extracción por bombeo de agua subterránea (Brüschweiler *et al.* 2004), citado por (Díaz, 2008).

De acuerdo con la GWP (2000) y el IPCC (2001), las medidas de mitigación deben estar enfocadas a disminuir la vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano a través de:

- La gestión del lado de la oferta (por ejemplo, modificación de la infraestructura o los arreglos institucionales) y del lado de la demanda (cambio de la demanda o reducción del riesgo).
- La protección de las zonas de recarga hídrica y de las fuentes de agua.
- Dar poder a grupos locales para que desarrollen prácticas responsables con relación al uso del agua y creación de autoridades de cuencas.
- Promover voluntad política y buen gobierno para evitar y mitigar conflictos, y para fomentar colaboración y consenso entre los participantes a través de una participación bien informada.
- Incorporar los valores económicos, ecológicos, culturales e intrínsecos de los ecosistemas en la toma de decisiones y el manejo de los recursos hídricos, usando medidas innovadoras e incentivos financieros y legales.
- Utilizar y desarrollar la información y el conocimiento científico y autóctono para mejorar el manejo de los recursos hídricos para consumo humano.
- Crear conciencia en las personas sobre el papel de los ecosistemas en la protección y el uso sostenible del agua, y fortalecer la capacidad humana para cambiar el comportamiento de tal forma que respete y sea compatible con la naturaleza.
- Fortalecer la Institucionalidad al servicio de la conservación del agua.
- Trasvasar agua de donde sobra, hacia donde hace falta.
- Reconstruir los sistemas de cañerías de las ciudades.
- Planificar la perforación sustentable de pozos y la conservación de las aguas subterráneas.
- Establecer e implementar regulaciones sobre el cambio de uso de la tierra.

El IPCC (2001) plantea tres tipos de medidas adaptativas para el sector agua potable:

- Técnicas: zonificación de las áreas de recarga de los acuíferos, perforación sustentable de pozos y conservación de aguas subterráneas, evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos ante la sequía.
- Socio-políticas: concientizar sobre la relación entre los ecosistemas captadores de agua y la disponibilidad de agua, implementar regulaciones sobre el cambio de uso de la tierra.
- Económicas: generar políticas y herramientas económicas para valorar y proteger los ecosistemas de las cuencas y diseñar incentivos para evitar el cambio de uso de la tierra.

## **2.2 LOCALIZACIÓN**

### **2.2.1 Dirección física de la organización**

TNC (The Nature Conservancy) se encuentra ubicada en la 12 Calle, 1-25 Z. 10, Ed. Géminis 10 T. Norte # 1207, Guatemala. El presente estudio fue desarrollado en el municipio de Mixco del departamento de Guatemala, enfocándose específicamente en el sistema de abastecimiento de agua que provee únicamente a la zona 1 de Mixco (Figura 2).

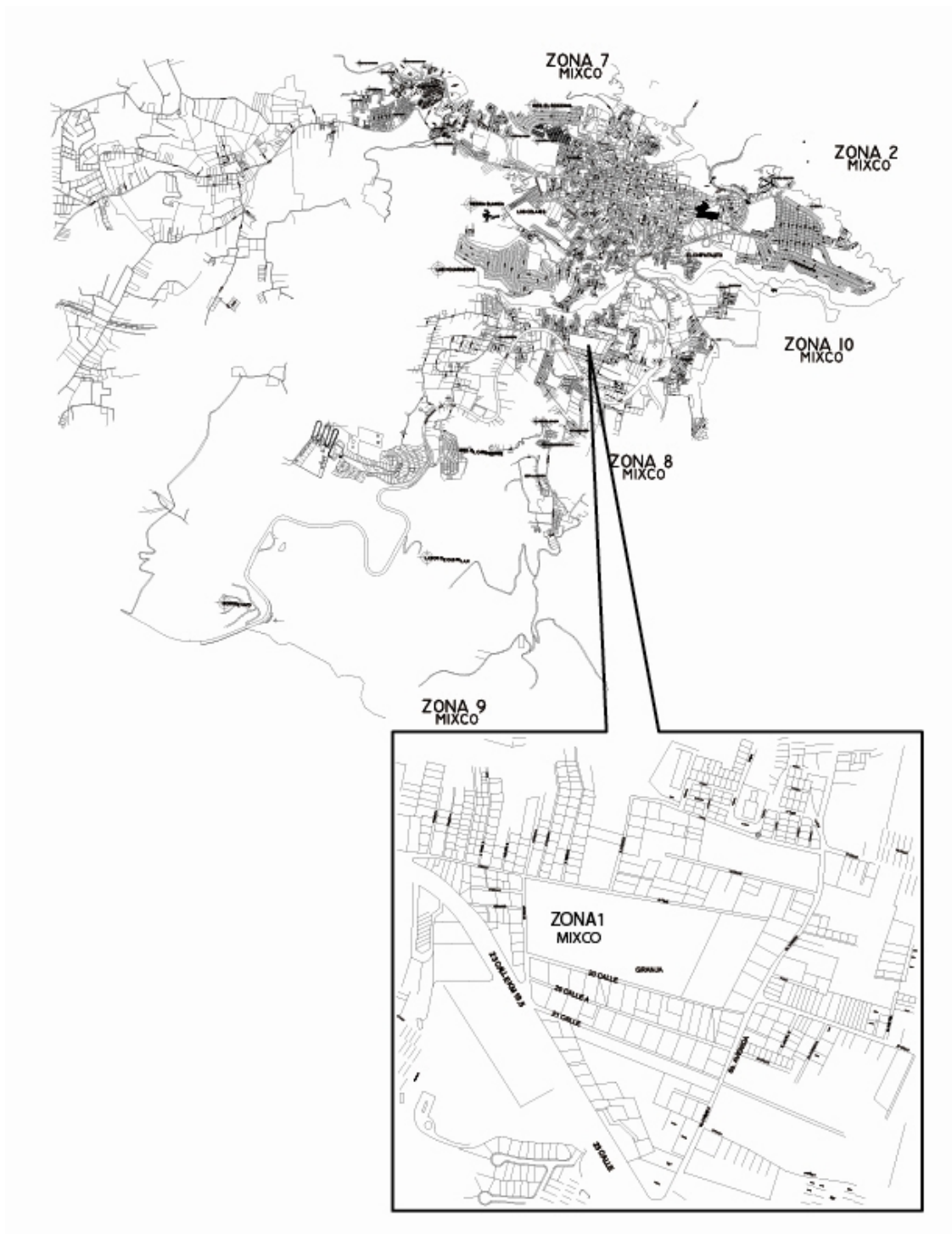


Figura 2. Plano de ubicación de la zona 1 de Mixco. (Municipalidad de Mixco, 2015).

## **2.3 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA INSTITUCIÓN ANFITRIONA**

*The Nature Conservancy* –TNC- es una organización privada sin fines de lucro que trabaja para conservar las tierras y las aguas de las cuales depende la vida. Esto significa trabajar en las acciones de mayor impacto de una manera no confrontativa, pragmática y basada en soluciones de mercado. Nuestra visión es dejar un mundo sostenible para las generaciones futuras. (TNC, 2014).

Durante los últimos 18 años, TNC ha trabajado en Guatemala apoyando iniciativas privadas y públicas en favor de la creación y consolidación del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), y en favor de crear condiciones de infraestructura verde a favor de aumentar la resiliencia frente a la variabilidad climática. (TNC, 2014).

### **2.3.1 Breve descripción de las actividades del Fondo de Agua en Guatemala**

TNC ha construido una alianza regional entre el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el fondo global de gestión ambiental (GEF) y, el grupo empresarial FEMSA. Con esta iniciativa, se espera apoyar a más de 32 fondos de agua en localidades amenazadas por la crisis del agua; entre ellas, las ciudades de Monterrey y Chiapas (México), Lima (Perú) , Bogotá y Medellín (Colombia), Quito (Ecuador), Santiago (Chile), San Paulo (Brasil), Tegucigalpa (Honduras) y, Guatemala, para nombrar únicamente algunas. Los Fondos de Agua son instrumentos de transferencia financiera entre los grandes usuarios del agua y, los pobladores que habitan en los territorios que generan los flujos de agua.

La Región Metropolitana de Guatemala cubre 12 municipios en el Departamento del mismo nombre según una delimitación no oficial realizada utilizando como base, la conurbación del Municipio de Guatemala hacia zonas sin discontinuidades mayores a 200 metros según un análisis espacial realizado por IARNA-URL y TNC (2013), tales

como: Villa Nueva, San Miguel Petapa, Mixco, San Juan Sacatepéquez, San José Pinula, Santa Catarina Pinula, Fraijanes, San Pedro Ayampuc, Amatitlán, Villa Canales y Chinautla. (TNC, 2014).

La provisión de agua para la Región, depende tanto de fuentes subterráneas (con 16 cuencas que representan más del 91% del total) como del trasvase del sistema Xayá-Pixcayá (4 cuencas) (IARNA-URL & TNC, 2013). Este escenario, sugiere focalizar las acciones en dos áreas que repercuten directamente en la seguridad hídrica de la Región. (TNC, 2014).

Como parte de las acciones y proyectos relacionados con el Fondo, se ha iniciado un trabajo que, como una forma de compensación ambiental, busca la reducción de la huella hídrica por las operaciones de una de las plantas embotelladoras más importantes del país; derivado de ésta, se espera implementar mecanismos de conservación de largo plazo y financiar actividades de manejo sostenible en las cuencas que suministran agua a Región Metropolitana de la Ciudad de Guatemala, específicamente a través de TNC y en apoyo al FUNCAGUA. (TNC, 2014).

Como resultados de este esfuerzo, se ha realizado una serie de actividades entre las que destacan la identificación espacial un total de 19,563.64 hectáreas con características altamente susceptibles de brindar los resultados esperados en términos de metros cúbicos de agua reabastecida, divididas entre la región metropolitana y Xayá-Pixcayá. Este proceso fue acompañado de una modelación espacial utilizando el sistema RIOS, una investigación de bases de datos climáticos e hidrológicos, visitas de campo y sobrevuelo (con apoyo de LightHawk) y un posterior trabajo de focalización en sitios de intervención basado en análisis de la información geográfica disponible. Con esta identificación de áreas para intervención, se ha previsto desarrollar tres tipos de acciones (la conservación de bosques; la protección forestal; y los sistemas agroforestales) de acuerdo a las condiciones biofísicas y sociales de cada sitio en las dos zonas identificadas. (TNC, 2014).

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1 GENERAL**

Determinar la vulnerabilidad para identificar las medidas de mitigación adecuadas para el sistema de agua potable abastecido por las zonas de captación y regulación hidrológica del área protegida “Cordillera Alux” en el municipio de Mixco.

#### **3.2 ESPECÍFICOS**

- ✓ Determinar la vulnerabilidad del sistema de agua potable abastecido por las zonas de captación y regulación hidrológica del área protegida “Cordillera Alux” en la zona uno del municipio de Mixco.
  
- ✓ Determinar las medidas de mitigación para los componentes del sistema de agua potable abastecido por las zonas de captación y regulación hidrológica del área protegida “Cordillera Alux” en la zona uno del municipio de Mixco.

## IV. PLAN DE TRABAJO

### 4.1 DESCRIPCIÓN DE ÁREA ESPECÍFICA DE ACCIÓN EN LA INSTITUCIÓN

En la Figura 3 puede observarse el nivel de dependencia de la practicante dentro del organigrama de la institución, donde se evidencia que depende directamente del *Replenishment Officer*, que a su vez depende del Representante de país en Guatemala.

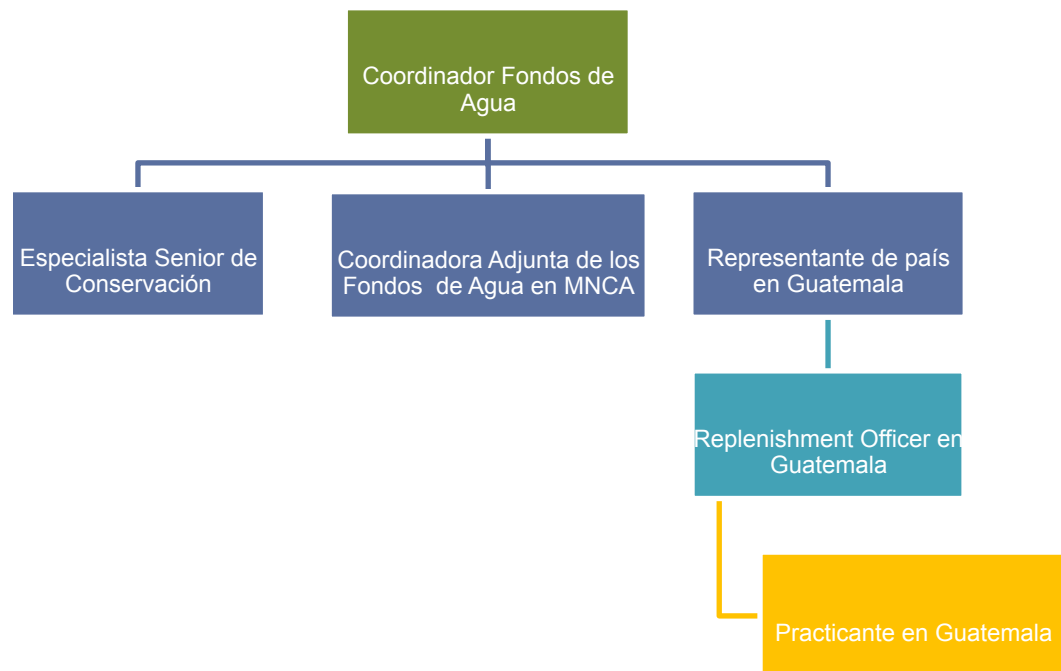


Figura 3. Organigrama del Fondo de Agua en Guatemala.



## **4.2 PROGRAMA DESARROLLADO**

### **4.2.1 Primera Fase de Gabinete:**

Esta fase consistió en las siguientes actividades:

- Se recopiló información secundaria relacionada con agua potable y saneamiento en el municipio de Mixco. Para esto fue necesario realizar consultas en los sitios virtuales de bibliotecas, universidades, instituciones públicas del Estado, centros de investigación, etc.
- Se realizó investigación relacionada con las diferentes metodologías que actualmente se implementan para la determinación de vulnerabilidades en sistemas de abastecimiento de agua potable.

### **4.2.2 Visita a la municipalidad de Mixco:**

Esta fase consistió en visitas a la municipalidad y en la realización de reuniones con personas clave para recopilar información estratégica para la investigación.

- Se realizó una visita a la municipalidad de Mixco en donde se presentó la metodología a las autoridades municipales para la aprobación del proyecto y la identificación del sistema y las fuentes de agua que abastecen a la zona uno de Mixco.
- En conjunto con las autoridades municipales se programaron reuniones con informantes clave (jefe de tratamiento de aguas, coordinador de mantenimiento de aguas, supervisor de aguas del sector, jefe de ordenamiento territorial, fontaneros, trabajadores municipales, etc.) para socializar la investigación y para identificar los componentes del sistema de abastecimiento de agua de la zona uno de Mixco.
- Se generó información base relacionada con agua potable y saneamiento. Para esta actividad se llevaron a cabo entrevistas en las oficinas municipales

ambientales y de planificación para obtener información relacionada con el sistema de abastecimiento de agua potable en el municipio de Mixco (incluyendo temas como problemáticas, potencialidades, socios estratégicos, etc.).

- Se realizaron visitas de campo en los componentes del sistema de abastecimiento de agua de la zona uno de Mixco, con el objeto de conocer el sistema de abastecimiento y coleccionar toda la información básica necesaria para la determinación del valor de vulnerabilidad de los indicadores que se presentan en el Anexo 1. Esta fase se desarrolló en conjunto con los trabajadores de la municipalidad que conocen el sistema de abastecimiento y quienes apoyaron en determinar el valor de la vulnerabilidad de cada uno de los indicadores de los componentes.
- Adicionalmente se realizó una georeferenciación de la red de distribución, que sirvió de base para la realización de un croquis del sistema de abastecimiento.

#### **4.2.3 Segunda Fase de Gabinete:**

Esta fase consistió en la determinación de la vulnerabilidad global de cada uno de los componentes del sistema de abastecimiento y la determinación de la demanda actual y futura de agua en la zona uno de Mixco.

- Con base en la información coleccionada en la primera fase de campo, por medio de una entrevista con los informantes clave, se procedió a realizar la evaluación de las matrices estándar de cada uno de los componentes del sistema (ver Anexo 1), y se tomaron notas para la discusión de los resultados de dichas matrices.
- Así mismo, con base en la georeferenciación realizada en la primera fase de campo se desarrollaron los mapas de ubicación de la red de distribución y de las fuentes de abastecimiento de agua.
- La demanda actual se determinó con base en: un dato aproximado de 12,000 habitantes en la zona 1 de Mixco, tomando en cuenta el dato proporcionado por

la Oficina de Agua y Drenajes de la municipalidad de Mixco de 7,190 de conexiones registradas al sistema, más un dato aproximado de 4,810 entre conexiones ilícitas y hogares no conectados al sistema; y una dotación de 300 l/h/d por ser área urbana (según normas de diseño del INFOM).

- La demanda futura se proyectó por el método aritmético y acorde a la población calculada (12,000) con base en la tasa de crecimiento poblacional para el municipio (1.72%) para el período 2002-2009 proyectada a 5, 10 y 20 años. Al igual que en la demanda actual se utilizó una dotación de 300 l/h/d por ser área urbana (según normas de diseño del INFOM).
- La oferta actual del sistema de abastecimiento se calculó con información recaudada de la medición de caudales en reportes de mantenimiento de pozos artesanales por medio de una hoja dinámica de Excel (ver Anexo 2), dejando constancia de los cálculos del volumen de agua que se extrae en cada pozo con base en: los galones por minuto (GPM) producidos durante una cantidad de tiempo determinada (dependiendo, 15 minutos si es época de verano, o 20 minutos si es época de invierno), más el tiempo de recuperación (2 horas) de ese volumen para determinar la cantidad de veces que se enciende cada pozo en 24 horas y así obtener el volumen total producido por todos los pozos en litros al día (l/dd); sumado al promedio de la información recaudada de la medición de caudales en los manantiales en época de invierno y de verano ubicados en la Aldea el Manzanillo, zona uno de Mixco.
- El balance entre la oferta y la demanda de agua se realizó con base en la población proyectada a 20 años (ver Cuadro 7) para determinar a partir de qué año se produce el déficit de oferta de las fuentes de agua potable del sistema.
- Para el cálculo de la vulnerabilidad se utilizó la Metodología para el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano elaborada para un estudio de maestría en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza –CATIE-, elaborada por María Mendoza (2008), basada en la

evaluación de la vulnerabilidad por componente y la vulnerabilidad global del sistema. Debido a la delimitación del presente estudio en tiempo y alcance, se abordaron 9 de los 10 componentes descritos por esta metodología. El componente que se excluyó es el de “Uso y manejo del agua en el hogar”.

La calificación de la vulnerabilidad se otorgó a partir de la escala cualitativa que se fijó para cada indicador (con valores cuantitativos) (Ver Cuadro 1) para su análisis que parten del siguiente supuesto: Mayor valoración asignada = Mayor vulnerabilidad.

Cuadro 1. Escala de evaluación de la vulnerabilidad por componente del sistema.

Descripción	Puntaje
Muy baja	0
Baja	1
Media	2
Alta	3
Muy alta	4

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4 Cálculo de la vulnerabilidad

Para el cálculo de la vulnerabilidad se realizaron las siguientes actividades:

- 1) Se sumaron los valores de los índices de calificación de los indicadores de cada componente.
- 2) Se dividió la sumatoria entre el número total de indicadores por componente, esto dió un resultado promedio para cada componente.
- 3) Se realizó la sumatoria de la vulnerabilidad promedio de los componentes.
- 4) Se hizo la división de la sumatoria entre 9, número total de componentes.

- 5) El resultado se multiplicó por cien y se dividió entre 4 (valor mayor de la escala de evaluación) y dió el valor de la vulnerabilidad en porcentaje (Ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Caracterización general de la vulnerabilidad de los componentes del sistema por niveles.

Niveles	Índice (%)
Muy alta	80,1 - 100
Alta	60,1 - 80,0
Media	40,1 - 60,0
Baja	20,1 - 40,0
Muy baja o nula	0,0 - 20,0

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2.5 Componentes y sus indicadores**

A continuación se define y destaca la importancia de cada indicador evaluado en la metodología:

Componente A: Zona de recarga hídrica

A.1 Tenencia de la tierra: La disposición de agua de las fuentes naturales a través del tiempo, tanto en cantidad como en calidad, depende del manejo o tratamiento que se haga de las zonas o espacios de recarga hídrica, particularmente, en los ecosistemas forestales. La tenencia de la tierra es un indicador importante que se debe contemplar antes de iniciar cualquier inversión para la protección y manejo de estas zonas. (Díaz, 2008).

A.2 Grado o porcentaje de cobertura vegetal del suelo: La importancia de los bosques mixtos como propiciadores de diversidad biológica, de regulación del

clima y de absorción de agua, hacen de este indicador una variable muy importante a considerar. Las implicaciones de este indicador, tiene varias aristas de acuerdo a sus efectos, como son la pérdida de la infiltración natural del agua, el bajo caudal y agotamiento de los nacimientos de agua en la época de verano, el aumento en la profundidad de los mantos freáticos, con los consiguientes incrementos en los costos de energía demandada y aumento del canon del agua, así como el racionamiento del agua en ciertas áreas urbanas. Además, este cambio de uso del suelo, contribuye al aumento de los índices de erosión y a la pérdida de la diversidad biológica. (CONAP, 2010).

A.3 Uso del suelo: Contribuye al conocimiento de las formas de apropiación y construcción territorial, a la explicación de la interrelación entre los sistemas natural y social. Se define como los diferentes rasgos que cubren la tierra, tales como agua, bosque, otros tipos de vegetación, rocas desnudas o arenas, estructuras hechas por el hombre.

A.4 Tendencia de uso del suelo: Es importante determinar la concentración de la población y actividades industriales, agrícolas, de infraestructura y/o de conservación a través del tiempo en determinados puntos, ejes o zonas.

A.5 Planificación (POT, Plan de acción, Plan de Manejo, otro): Varios de los problemas relacionados con el uso del suelo pueden ser subsanados a través de instrumentos de planificación como los planes de ordenamiento territorial. Las leyes ambientales, leyes de agua, leyes forestales y actualmente, las leyes de ordenamiento territorial tienen elementos para reglamentar el uso de la tierra, sin embargo, en la mayoría de los casos, no se ha logrado regular para que se de un uso correcto del suelo. (Díaz, 2008).

## Componente B: Fuente de abastecimiento de agua

B.1 Tenencia de la tierra: Esta información es determinada con el mapa catastral del municipio e indica el régimen de tenencia de la tierra, ya sea privado, de propiedad ejidal (municipal), o propiedad del Estado (por ejemplo si es parte del área protegida). También indica si existe arrendamiento de tierras para uso agrícola, lo que evidencia la presión sobre el suelo y la ampliación de la frontera agrícola.

B.2 Obras de protección de la fuente: La protección de las captaciones de agua es una condición previa e indispensable para dar a la población servida aguas de excelente calidad, libre de cualquier tipo de contaminante, proveniente de actividad humana, animal o desastre natural. (González, 2005).

B.3 Fuentes de contaminación: Las fuentes de contaminación son un factor importante que influye en la calidad del agua y por ende en la salud de las personas. (Díaz, 2008).

B.4 Vulnerabilidad a amenazas naturales: La vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento es un concepto que se refiere a la potencial pérdida de la calidad del agua subterránea o superficial debida al grado de exposición natural de los acuíferos o manantiales. Los riesgos son la probabilidad de la ocurrencia de algo nocivo o dañino, que depende tanto de la intensidad de la amenaza, como de los niveles de vulnerabilidad de la fuente. (Bautista, Aguilar, & Batllori, 2011).

B.5 Conflictos por el uso del agua de la fuente de abastecimiento: “La gestión del agua es una gestión de conflictos” (CEPAL, 1992). Los conflictos por el uso del agua podrían ser prevenidos y resueltos de un modo más eficiente si los modelos de gobernabilidad comenzaran a reflejar los cambios de enfoque sobre los

recursos hídricos, dando lugar a perspectivas integrales, cooperativas y participativas. (CEPAL, 2015).

B.6 Balance entre oferta y demanda de agua: El balance entre la oferta y la demanda de agua permite identificar las situaciones de déficit y/o exceso de agua, facultando la determinación de posibles soluciones a estas situaciones, entre las cuales se tienen; planificación administración y distribución del recurso. Por lo tanto es de vital importancia contar con esta información actualizada permanentemente. (CVC, 2016).

## Componente C: Gestión administrativa

C.1 Organización que administra el recurso hídrico para consumo humano: En ejercicio de la autonomía que la Constitución Política de la República garantiza al municipio, éste elige a sus autoridades y ejerce por medio de ellas, el gobierno y la administración de sus intereses, obtiene y dispone de sus recursos patrimoniales, atiende los servicios públicos locales, el ordenamiento territorial de su jurisdicción, su fortalecimiento económico y la emisión de sus ordenanzas y reglamentos. Para el cumplimiento de los fines que le son inherentes coordinará sus políticas con las políticas generales del Estado y en su caso, con la política especial del ramo al que corresponda. Las competencias propias del municipio incluyen el abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada; alcantarillado; limpieza y ornato; modernización tecnológica de la municipalidad y de los servicios públicos municipales o comunitarios; promoción y gestión ambiental de los recursos naturales del municipio. El municipio sirve a los intereses públicos que le están encomendados y actúa de acuerdo con los principios de eficacia, eficiencia, descentralización, desconcentración y participación comunitaria, con observancia del ordenamiento jurídico aplicable.



(Congreso de la República de Guatemala, 2002).

C.2 Nivel de avance de la organización para la constitución con personería jurídica: El municipio, como institución autónoma de derecho público, tiene personalidad jurídica y capacidad para adquirir derechos y contraer obligaciones, y en general para el cumplimiento de sus fines en los términos legalmente establecidos, y de conformidad con sus características multiétnicas, pluriculturales y multilingües. (Congreso de la República de Guatemala, 2002).

C.3 Reglamento interno de la organización: El objeto del mismo es explicar todos aquellos aspectos de observancia general dentro de la institución que integran la filosofía institucional como lo son la misión, visión, valores y principios, así como las funciones institucionales y descripciones de cada puesto de trabajo, exponiendo además con detalle la estructura organizacional de la institución, señalando las áreas técnicas y administrativas que la integran y la relación que existe entre ellas y los puestos de trabajo. (Municipalidad de Mixco, 2016).

C.4 Equidad de género en la integración, participación y toma de decisiones en la organización local gestora del agua: La participación tanto de los hombres como de las mujeres fortalece el rendimiento de los proyectos y aumenta las probabilidades de sostenibilidad. Los análisis sociales y económicos estarán incompletos si no se incluye un análisis de las diferencias y las desigualdades de género. Con el análisis de género, los planificadores/as obtienen una idea más exacta de las comunidades, los usos de los recursos naturales, los hogares y los usuarios/as del agua. Utilizar una perspectiva de género y facilitar la integración del conocimiento femenino sobre el medio ambiente aumentará las probabilidades de sostenibilidad ambiental. Si no prestan atención especial a los aspectos e iniciativas de género, los proyectos pueden reforzar las desigualdades entre las mujeres y los hombres, e incluso incrementar las

disparidades de género. Si las iniciativas de desarrollo han de involucrar a las mujeres tanto como a los hombres, es necesario prestar atención a las diferencias y las desigualdades de género. (GWA, PNUD, IRC, GWP, 2006).

C.5 Funciones de la organización de agua: El establecimiento, planificación, reglamentación, programación, control y evaluación de los servicios públicos municipales, así como las decisiones sobre las modalidades institucionales para su prestación, teniendo siempre en cuenta la preeminencia de los intereses públicos. (Congreso de la República de Guatemala, 2002).

C.6 Capacitación de las organizaciones: Las municipalidades en coordinación con otras entidades municipalistas y de capacitación, tanto públicas como privadas, deberán promover el desarrollo de esfuerzos de capacitación a su personal por lo menos una vez por semestre, con el propósito de fortalecer la Carrera administrativa del empleado municipal. (Congreso de la República de Guatemala, 2002).

C.7 Frecuencia de reuniones de la organización y grado de participación: La periodicidad de las reuniones simplifica el intercambio de experiencias administrativas, operativas y de mantenimiento; así como también hace más rápida su intervención y evaluación. El grado de participación es una variable indicadora de la responsabilidad del personal de la organización en su sector de influencia que se ve reflejada en la gestión integral de cada asunto tratado en las reuniones convenidas.

A continuación se presenta un listado de todos los puestos dentro de la oficina de agua y drenajes que deberían participar en las reuniones:

- Director de Aguas y Drenajes
  - Auxiliar de Aguas y Drenajes

- Piloto de Aguas y Drenajes
  - Jefe del Departamento de Servicios de Aguas y Drenajes
    - Supervisor
    - Auxiliar Administrativo de Servicio de Aguas y Drenajes
    - Auxiliar de Instalaciones de Aguas
    - Auxiliar de Títulos de Aguas
    - Técnico de Contadores de Aguas
  - Jefe del Departamento de Tratamiento de Aguas
    - Asistente de Tratamiento de Aguas
    - Supervisor de Tratamiento de Aguas
    - Técnico de Tratamiento de Aguas
    - Supervisor de Planta de Tratamiento
    - Operador de Planta de Tratamiento
  - Jefe del Departamento de Mantenimiento de Aguas
    - Asistente de Mantenimiento de Aguas
    - Coordinador de Mantenimiento de Aguas
    - Supervisor de Aguas
    - Guardián
    - Fontanero
    - Plomero
    - Ayudante de Plomero
    - Maestro de Obra de Mantenimiento de Aguas
    - Albañil de Mantenimiento de Aguas
    - Ayudante de Albañil de Mantenimiento de Aguas
    - Electromecánico
    - Ayudante de Electromecánico

- Jefe del Departamento de Mantenimiento de Drenajes
  - Asistente de Mantenimiento de Drenajes
  - Coordinador de Mantenimiento de Drenajes
  - Supervisor de Drenajes
  - Maestro de Obra de Mantenimiento de Drenajes
  - Albañil de Mantenimiento de Drenajes
  - Ayudante de Albañil de Mantenimiento de Drenajes

(Municipalidad de Mixco, 2016).

C.8 Cobertura de micromedición (medidores de agua): Si se contará con un buen sistema de medición se podrían establecer tarifas más claras por el cobro del servicio. (Díaz, 2008).

C.9 Tarifas de cobro: El municipio debe regular y prestar los servicios públicos municipales de su circunscripción territorial y, por lo tanto, tiene competencia para establecerlos, mantenerlos, ampliarlos y mejorarlos, garantizando un funcionamiento eficaz, seguro y continuo y, en su caso, la determinación y cobro de tasas y contribuciones equitativas y justas. Las tasas y contribuciones deberán ser fijadas atendiendo los costos de operación, mantenimiento y mejoramiento de calidad y cobertura de servicios. (Congreso de la República de Guatemala, 2002).

C.10 Porcentaje de morosidad en el pago: El departamento de servicios de aguas y drenajes tiene la función y responsabilidad de mantener un programa de recuperación de morosidad del padrón de usuarios de aguas y drenajes. (Municipalidad de Mixco, 2016).

C.11 Porcentaje de conexiones ilegales: El déficit de la oferta de agua potable también se debe al aumento de las pérdidas debido al consumo no controlado y no sancionado por medio de conexiones ilegales al sistema de abastecimiento.

C.12 Fontanero capacitado y a tiempo completo: Puesto técnico, responsable de operar el sistema de bombeo, monitorear su funcionamiento y la producción de agua, realizar tareas de fontanero y reportar las fallas y novedades suscitadas en el sector. (Municipalidad de Mixco, 2016).

La jornada ordinaria de trabajo no puede exceder de ocho horas, ni de cuarenta horas a la semana. Las municipalidades deberán fijar lo relativo a la jornada diurna, nocturna, mixta y los sistemas de distribución del tiempo de trabajo que las circunstancias ameriten. (Congreso de la República de Guatemala, 1987).

C.13 Disponibilidad de herramientas, equipo y materiales: Para evaluar las debilidades y limitaciones del sistema analizado es preciso conocer sus normas de funcionamiento y los recursos disponibles que pudieran ser usados para la correcta operación, mantenimiento y mejoramiento del abastecimiento de agua y evacuación de aguas residuales en situaciones de emergencia, así como en la fase de rehabilitación. (OPS/OMS, 1998).

C.14 Manejo y gestión de fondos económicos: Las finanzas del municipio comprenden el conjunto de bienes, ingresos y obligaciones que conforman el activo y el pasivo del municipio. Los recursos financieros a los que se refiere el artículo 257 de la Constitución Política de la República, serán distribuidos a las municipalidades del país en forma bimensual conforme los criterios que el Código Municipal indica para ese efecto. (Congreso de la República de Guatemala, 2002).

Las Municipalidades, por efecto de su autonomía, pueden constituir sus depósitos en las entidades bancarias y financieras autorizadas por la Superintendencia de Bancos. Esta decisión debe ser acordada por lo menos con el voto favorable de las dos terceras (2/3) partes del total de miembros que integran el Concejo, conforme los criterios de oportunidad, eficiencia, solidez y rentabilidad. Los depósitos que se realicen en las entidades bancarias o financieras deberán contratarse con una tasa de interés que esté por arriba del promedio de tasa pasiva que reporte el Banco de Guatemala al momento de realizar la operación. (Congreso de la República de Guatemala, 2002).

El Ministerio de Finanzas Públicas depositará en forma directa sin intermediación alguna, el monto correspondiente a cada municipalidad en cuentas que las mismas abrirán para tal efecto en el sistema bancario nacional. Igual mecanismo bancario de entrega de fondos se aplicará a cualquier asignación o transferencia establecida o acordada legalmente. (Congreso de la República de Guatemala, 2002).

#### Componente D: Toma de agua y obra de captación

D.1 Tipo de obra de captación: La selección del tipo de obra fuente debe realizarse considerando el caudal de agua existente y el caudal de agua demandado por la población, el mismo que se lo llevará a través de la línea de conducción hasta el tanque de almacenamiento. Para la selección y construcción de la estructura de captación habrá que tomar en cuenta las condiciones hidrogeológicas y topográficas del sitio, implementando elementos como cunetas de coronación, muros, forestación, etc. a fin de que la estructura sea menos vulnerable ante los efectos de los eventos adversos. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2003).

D.2 Vulnerabilidad a amenazas naturales: Al ser la estructura de captación el primer componente del sistema, es necesario protegerla, ya sea que ésta se asiente en terrenos sin riesgos o en zonas expuestas a desastres naturales. Las obras de protección contra inundaciones, erupciones volcánicas y deslizamientos deberán prever el embate de desastres naturales y antrópicos que puedan producirse. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2003).

D.3 Disponibilidad de accesorios y repuestos: La organización que administra el sistema de abastecimiento de agua potable deberá contar, por lo menos, con el material necesario para reponer el componente a la brevedad posible. Por ese motivo, es recomendable que los almacenes de las empresas proveedoras de los accesorios y repuestos tengan una ubicación estratégica para la pronta respuesta ante una emergencia.

D.4 Estado de la obra de captación: Las estructuras de captación deben garantizar la seguridad de la operación de la toma de agua. En particular deben garantizar la correcta operación de las estructuras para los caudales picos, ya sean de estiaje o crecientes. (Dirección de Agua Potable y Saneamiento, 2000).

Las estructuras de captación deben ser estables con respecto a la calidad del suelo de cimentación aún en el caso de las máximas crecientes. Además, la estructura también debe ser estable cuando se presenten fallas de origen geotécnico o geológico en las cercanías a la captación. (Dirección de Agua Potable y Saneamiento, 2000).

D.5 Frecuencia de mantenimiento: Todas las estructuras que forman parte de la obra de captación deben tener programas de mantenimiento correctivo y preventivo. Las operaciones de mantenimiento y limpieza de todas las estructuras que forman la obra de captación no deben interferir el normal funcionamiento de ésta. (Dirección de Agua Potable y Saneamiento, 2000).

## Componente E: Tanque de almacenamiento

E.1 Tenencia de la tierra: Esta información es determinada con el mapa catastral del municipio e indica el régimen de tenencia de la tierra, ya sea privado, de propiedad ejidal (municipal), o propiedad del Estado (por ejemplo si es parte del área protegida). También indica si existe arrendamiento del terreno en donde se ubica el tanque de almacenamiento lo que podría verse reflejado en un incremento en la tarifa de cobro del servicio de abastecimiento de agua potable.

E.2 Disponibilidad de accesorios y repuestos: Es necesario que el tanque de almacenamiento cuente con los accesorios para que el agua almacenada sea de buena calidad. (Díaz, 2008).

E.3 Estado del tanque: Durante las labores de mantenimiento (lavado y desinfección), el personal certificado encargado de esta actividad, debe inspeccionar el interior del tanque, el estado físico del mismo en aspectos como: fisuras, estanqueidad, deterioro del concreto, estado de los desagües, posibles infiltraciones, fugas, etc, y que puedan potencialmente alterar la calidad del agua o colocar en riesgo el depósito en el evento de un sismo, programándose las acciones preventivas y correctivas necesarias, dejando las evidencias del caso presentado. (Mesa Temática Calidad de Agua, 2008).

E.4 Capacidad de almacenamiento (horas para vaciarse): Se debe contar con un tanque de tamaño suficiente para suplir las necesidades, tanto en cantidad como calidad de las poblaciones objetivo. (Díaz, 2008).

E.5 Mantenimiento: Un tanque de almacenamiento de agua potable puede acumular con el tiempo, sedimentos barrosos, producto de sólidos suspendidos, que se van acumulando en el fondo del tanque o se adhieren a sus paredes



(biopelícula), lo cual puede propiciar el crecimiento de microorganismos que podrían generar contaminación del líquido, afectando su calidad, y reflejándose en la salud. En razón de lo anterior es de vital importancia realizar un mantenimiento, lavado y desinfección adecuado a esta estructura. (Mesa Temática Calidad de Agua, 2008).

E.6 Vulnerabilidad a amenazas naturales: Todos los tanques y reservorios pueden estar expuestos a fallas geotécnicas y de cimentación. Los deslizamientos también representan una situación a ser considerada. (AWWA, 1984).

E.7 Medidas de mitigación y prevención: En sistemas de agua potable, es importante realizar un estudio geotécnico del sitio donde se emplaza el tanque, adicionalmente se investigará los impactos históricos en la zona por efecto de los desastres naturales y antópicos, y se identificará los niveles de máxima crecida si es el caso, a posteriori se tomarán las acciones correspondientes para disminuir la vulnerabilidad de la unidad. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2003).

## Componente F: Línea de conducción

F.1 Vulnerabilidad a amenazas naturales: Las líneas de conducción son unidades altamente vulnerables a todas las amenazas existentes, ya que debido a su longitud atraviesan diferentes zonas geológicas, depresiones, cursos de agua, zonas inestables, etc, por lo que el diseño del trazado de estas unidades debe ser estudiado tomando en consideración los estudios hidrogeológicos, y evitando el desarrollo de la línea por sitios vulnerables. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2003).

F.2 Disponibilidad de accesorios y repuestos: La disponibilidad de accesorios y repuestos es muy importante para definir el trazado de la línea de conducción, material y tipo de uniones de la tubería considerando también el tipo de amenaza y vulnerabilidad. En zonas de alto riesgo, diseñar los tanques rompe-presión, cajas de válvulas, juntas y demás accesorios protegiéndolos y reforzándolos adecuadamente, a fin de que resistan las solicitaciones por eventos adversos. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2003).

F.3 Estado de la tubería: La línea de conducción es un componente importante dentro del sistema del recurso hídrico para consumo humano, ya que muchas de las pérdidas de agua se presentan en esta fase o componente del sistema, debido a que las tuberías son viejas. (Díaz, 2008).

F.4 Mantenimiento : El mantenimiento preventivo y correctivo ayudan a disminuir las fugas y por ende a maximizar el recurso. (Díaz, 2008).

F.5 Medidas de mitigación y prevención: Durante la etapa de diseño de la línea de conducción debe planearse su ubicación, de tal forma que sea accesible para su inspección y mantenimiento y al mismo tiempo, considerar elementos que ayuden a disminuir los riesgos de amenazas naturales. (Díaz, 2008).

## Componente G: Red de distribución

G.1 Cobertura del servicio: La entidad que presta el servicio de abastecimiento de agua potable debe contar con un registro catastral actualizado para determinar el número de viviendas con y sin cobertura del servicio y hacer las apropiaciones necesarias y un uso adecuado de las transferencias del Sistema General de Participaciones para extender las coberturas a todos los habitantes.

De lo contrario, la planeación no se hace con base en prioridades que surgen de un diagnóstico de la situación. De ahí que es posible que los programas y proyectos y por lo tanto las inversiones no se hagan en los sectores más necesitados. Además, es difícil obtener un panorama claro y representativo de la situación del país en materia de cobertura de acueducto. (UNICEF, 2005).

El acceso al saneamiento básico comprende seguridad y privacidad en el uso de estos servicios. Uno tiene acceso al agua potable si la fuente de la misma se encuentra a menos de 1 kilómetro de distancia del lugar de utilización y si uno puede obtener de manera fiable al menos 20 litros diarios para cada miembro de la familia. (OMS, 2016).

G.2 Continuidad del servicio: El problema no es sólo la calidad del agua; también es importante que la población tenga acceso a una cantidad mínima de agua potable al día. En promedio una persona debe consumir entre 1,5 y 2 litros de líquido al día dependiendo del peso, de lo contrario se pueden presentar algunos problemas de salud. Por esto es importante que el servicio de acueducto no sólo tenga una cobertura universal, sino que sea continuo. (UNICEF, 2005).

La mayoría de las interrupciones del servicio se debe a la ineficiencia de los sistemas de conducción, bombeo, almacenamiento y a la baja disponibilidad del recurso. Sin embargo la mayoría de municipios que incluyen este tema en su diagnóstico no especifican la duración de los cortes en el servicio. Esto hace más difícil identificar los sectores donde la situación es más grave. (UNICEF, 2005).

G.3 Estado de la tubería y de la caja de válvulas: La red de distribución está constituida por una gran variedad de elementos, pero sin duda, las tuberías son el componente principal. Desde el punto de vista funcional, la tubería es el elemento de la red que permite el transporte del agua y los componentes restantes actúan únicamente como auxiliares de esta función (regulación, control,

medida, entre otros) (Pérez, 1993).

Si las redes están en mal estado o construidas con materiales obsoletos, es mucho más probable que se presenten fugas que incrementan los niveles de agua no facturada y los costos de operación de los sistemas de acueducto. Además, es posible que por el mal estado de las redes el agua que reciben los habitantes sea de menor calidad, pues puede ser contaminada por filtraciones o residuos en las tuberías. (UNICEF, 2005).

G.4 Mantenimiento: En la red de distribución las válvulas deben manipularse con precisión, especialmente en casos en que exista falta de presión de agua en los puntos más elevados de la red, excesiva presión en zonas más bajas o cuando se efectúen cortes de servicio para reconexiones y/o ampliaciones de la red. (Ministerio del Agua, Viceministerio de Servicios Básicos, 2007).

Para un mantenimiento adecuado de la red de distribución, el operador debe contar con el plano respectivo donde se indique el diámetro de tuberías, longitudes y válvulas que fueron instaladas. (Ministerio del Agua, Viceministerio de Servicios Básicos, 2007).

G.5 Vulnerabilidad a amenazas naturales: Los efectos de los deslizamientos en la red de distribución son la consecuente deformación, arrastre o rotura de parte de la tubería ubicada sobre o en la trayectoria de deslizamientos activos, generando a su vez fugas que pueden aumentar el deslizamiento. (OPS/OMS & COSUDE, 2006).

Los daños típicos asociados a fenómenos sísmicos en la red de distribución son las consecuentes roturas en tubos o accesorios, desacople de uniones, accesorios, aplastamiento o flexión de los tubos, etc. (con la consiguiente pérdida

de agua) por las aceleraciones producidas por el terremoto y las deformaciones del suelo. (OPS/OMS & COSUDE, 2006).

G.6 Medidas de mitigación y prevención que se aplican: El conjunto de acciones que se realizan con la finalidad de prevenir o corregir daños que se producen en la red de distribución permiten reducir considerablemente las fugas y por consiguiente reducir las grandes pérdidas de agua. (Díaz, 2008).

## Componente H: Tratamiento del agua

H.1 Tratamiento que necesita y se aplica al agua: La cloración de los abastecimientos públicos de agua representa el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitaria segura, potable. La desinfección por cloro y sus derivados significa una disminución de bacterias y virus hasta una concentración inocua, por lo cual se hace referencia a los límites adecuados de concentración de cloro libre residual que es aquella porción de cloro residual total que esté “libre” y que sirva de medida de capacidad para oxidar la material orgánica que pueda encontrarse en el interior de las tuberías o por ruptura de las mismas que pueda producir cierta contaminación microbiológica. (COGUANOR, 2000).

H.2 Frecuencia del tratamiento: Del sistema y la frecuencia de tratamiento del agua depende la maximización de los niveles de potabilidad y por consiguiente, se influye positivamente en la salud de las personas. (Díaz, 2008).

H.3 Porcentaje de la población que consume agua tratada: El impacto de la falta servicios de agua potable y saneamiento recae, principalmente, sobre los sectores con mayor pobreza y hace un vínculo entre la falta de dichos servicios y

las dimensiones de la pobreza, salud, educación, género e inclusión social, el ingreso y el consumo. (SEGEPLAN, 2003).

## Componente I: Manejo de agua post-uso

I.1 Cobertura del servicio de alcantarillado (% de la población con el servicio): La expansión del servicio de evacuación de aguas residuales debe ir a la par con los avances en el acceso al servicio de acueducto. Los municipios con cobertura menor a la exigida, pueden estar realizando desagües inadecuados de sus aguas residuales domésticas a fuentes receptoras hídricas, o directamente al suelo. Esto contamina las fuentes hídricas y puede causar erosión, deslizamientos e inestabilidad de los taludes. Por tanto el impacto sobre la salud, especialmente de los niños, niñas y adolescentes, quienes son mucho más vulnerables a estas situaciones, puede ser muy negativo. (UNICEF, 2005).

I.2 Tratamiento de aguas negras (% de aguas que son tratadas): La cantidad de aguas residuales que se genera en una aglomeración urbana está en proporción directa con el consumo de agua de abastecimiento. Entre los factores que influyen en la cantidad de aguas residuales que se genera en una aglomeración urbana destacan el consumo de agua de abastecimiento, la pluviometría (en el caso de redes de saneamiento unitarias), las pérdidas, que pueden deberse a fugas en los colectores o a que parte de las aguas consumidas no lleguen a la red de alcantarillado (como por ejemplo el riego de jardines) y las ganancias, por vertidos a la red de alcantarillado o por intrusiones de otras aguas en la red de colectores. (Alianza por el Agua, 2008).

I.3 Nivel de tratamiento de las aguas residuales: La ausencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales trae contaminación de fuentes superficiales y

cuerpos de agua. Los sistemas utilizados en las plantas de tratamiento existentes no son eficientes a la hora de recibir descargas industriales, pues no pueden procesar las materias químicas y contaminantes que estas suelen arrojar. Las entidades ambientales (INFOM, MSPAS) deben vigilar a las industrias que generan directamente sus vertimientos a las fuentes hídricas superficiales sin ningún tipo de tratamiento. (UNICEF, 2005).

I.4 Sitio de descarga de las aguas negras: La descarga de aguas residuales domésticas y los vertimientos agro-industriales están contaminando las fuentes superficiales, subterráneas, humedales y represas de agua, causando daño al ambiente y a la salud humana. (UNICEF, 2005).

I.5 Capacitación a la población para manejo de las aguas residuales: La educación sanitaria y ambiental se está convirtiendo en uno de los quehaceres más relevantes para el mejoramiento de las condiciones de vida de las personas. Los índices de contaminación de nuestros ríos, lagos, comunidades han llegado a límites que amenazan nuestra vida y especialmente la de las próximas generaciones. (MDGIF, 2010).

#### **4.2.6 Determinación de la vulnerabilidad de las variables**

A continuación en el Cuadro 3, se hace mención de cómo se determinó la vulnerabilidad de cada una de las variables evaluadas por componente. Las tablas específicas para la valoración de la vulnerabilidad aparecen en el Anexo 1.

Cuadro 3. Metodología de la determinación de la vulnerabilidad de las variables.

Componente	Indicador	Caracterización	Tipo de determinación
------------	-----------	-----------------	-----------------------

A: Zona de recarga hídrica	A.1 Tenencia de la tierra	Más del 40% del área es propiedad privada con presencia de conflictos y sin ningún acuerdo.	Consulta personal bibliográfica (CONAP, 2010).
	A.2 Grado o porcentaje de cobertura vegetal del suelo	40 - 60%.	Consulta a mapas de cobertura forestal (MAGA, et. al, 1991, 2001, 2006, 2010). Consulta a mapas de cobertura vegetal y uso de la tierra al 2010.
	A.3 Uso del suelo	Del 90 al 100% del área corresponde a área natural protegida y/o bosque (primario, secundario o ribereño).	Consulta personal bibliográfica (CONAP, 2010).
	A.4 Tendencia de uso del suelo	Aumento del área de suelos con uso agropecuario intensivo, los suelos desnudos, las áreas con desarrollo urbanístico.	Consulta personal bibliográfica (CONAP, 2010).
	A.5 Planificación (POT, Plan de acción, Plan de Manejo, otro)	Se ha iniciado la implementación del plan (POT, Plan de acción, Plan de Manejo, otro).	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas Consulta personal bibliográfica (CONAP, 2010). Entrevista a Jefe de ordenamiento territorial
B: Fuente de abastecimiento de agua	B.1 Tenencia de la tierra	Propiedad ejidal o comunal	Elaboración propia de inventario y mapa de ubicación de fuentes.
	B.2 Obras de protección de la fuente	Cercado en condiciones adecuadas	Observación propia
	B.3 Fuentes de	Se presenta dos o menos	Entrevista a



	contaminación	fuentes de contaminación difusa y ninguna puntual	Supervisor de aguas del sector
	B.4 Vulnerabilidad a amenazas naturales	Muy alta	Investigación
	B.5 Conflictos por el uso del agua de la fuente de abastecimiento	No se presentan conflictos o al menos no durante los últimos años (5 ó menos)	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
	B.6 Balance entre oferta y demanda de agua	La oferta de agua no satisface la demanda actual en todo el año	Cálculo con base a proyección de la oferta y demanda de agua a 20 años.
	C.1 Organización que administra el recurso hídrico para consumo humano	Nivel municipal	Consulta personal bibliográfica
	C.2 Nivel de avance de la organización para la constitución con personería jurídica	Ya se encuentra constituida con personería jurídica	Entrevista a Director de Aguas y Drenajes
	C.3 Reglamento interno de la organización	No tiene	Entrevista a Director de Aguas y Drenajes
C: Gestión administrativa	C.4 Equidad de género en la integración, participación y toma de decisiones en la organización local gestora del agua	No hay igualdad de oportunidades, menos del 10% de directiva de organización son mujeres	Entrevista a Director de Aguas y Drenajes
	C.5 Funciones de la organización de agua	Administración, operación, mantenimiento, participación en la toma de decisiones, gestión, entre otras.	Entrevista a Director de Aguas y Drenajes
	C.6 Capacitación de las organizaciones	Se brinda capacitación sobre tres temáticas	Entrevista a Director de Aguas y Drenajes
	C.7 Frecuencia de reuniones de la organización y grado de participación	Cada 2 semanas o menos y participación de más del 90% de los integrantes	Entrevista a Director de Aguas y Drenajes

	C. 8 Cobertura de micromedición (medidores de agua)	Menor del 60%	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
	C.9 Tarifas de cobro	La tarifa de cobro cubre los gastos de operación y mantenimiento	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
	C.10 Porcentaje de morosidad en el pago	0 a 5%	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
	C.11 Porcentaje de conexiones ilegales	5 a 10%	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
	C.12 Fontanero capacitado y a tiempo completo	Se tiene un fontanero de forma periódica y pagado	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
	C.13 Disponibilidad de herramientas, equipo y materiales	Se cuenta con herramientas, equipo y materiales	Entrevista a Supervisor de aguas del sector
	C.14 Manejo y gestión de fondos económicos	Se tiene cuenta en el banco funcionando por más de un año	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
D: Toma de agua y obra de captación	D.1 Tipo de obra de captación	Galería de infiltración o pozo	Observación propia
	D.2 Vulnerabilidad a amenazas naturales	Muy alta	Consulta personal bibliográfica
	D.3 Disponibilidad de accesorios y repuestos	Tiene todos los accesorios (tubo de rebalse, tubo de limpieza con tapón, válvulas de control, desarenador, etc.) en buen estado y la cantidad de repuestos es suficiente para los	Entrevista a Supervisor de aguas del sector

		requerimientos típicos	
	D.4 Estado de la obra de captación	Regular (algunos problemas, materiales de construcción sólidos, de muy buena calidad, con muy buena protección, con presencia de fugas poco frecuente)	Observación propia con base en visita realizada con personas de la municipalidad
	D.5 Frecuencia de mantenimiento	Mantenimiento frecuente (cada 3 a 4 meses)	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
	E.1 Tenencia de la tierra	Propiedad ejidal o comunal que corresponde a los usuarios	Entrevista a Jefe de ordenamiento territorial
	E.2 Disponibilidad de accesorios y repuestos	Tiene todos los accesorios (válvulas de aire, válvulas de descarga, caja rompe-compresión, etc.) en buen estado y la cantidad de repuestos es suficiente para los requerimientos típicos	Entrevista a Supervisor de aguas del sector
E: Tanque de almacenamiento	E.3 Estado del tanque	Muy bueno (no presenta ningún problema, materiales de construcción sólidos y de muy buena calidad, con muy buena protección a daños)	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
	E.4 Capacidad de almacenamiento (horas para vaciarse)	Menos de 15 horas	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
	E.5 Mantenimiento	Muy poco frecuente (mayor de cada 12 semanas) o no existe mantenimiento	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
	E.6 Vulnerabilidad a amenazas naturales	Muy alta	Consulta personal bibliográfica
	E.7 Medidas de mitigación y	No se tiene un plan de medidas	Entrevista a

	prevención		de mitigación y prevención	Coordinador de mantenimiento de aguas
	F.1 Vulnerabilidad amenazas naturales	a	Muy alta	Consulta personal bibliográfica
	F.2 Disponibilidad de accesorios y repuestos	de	Tiene todos los accesorios (válvulas de aire, válvulas de descarga, caja rompe-compresión, etc.) en buen estado y la cantidad de repuestos es suficiente para los requerimientos típicos	Entrevista a Supervisor de aguas del sector
F: Línea de conducción	F.3 Estado de la tubería		Regular (tubería expuesta en algunos tramos y presencia de fugas poco frecuentes)	Entrevista a Supervisor de aguas del sector Consulta personal bibliográfica
	F.4 Mantenimiento		Poco frecuente (cada 3 a 4 semanas), de tipo preventivo y/o correctivo, con personal con capacitación mínima a regular	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
	F.5 Medidas de mitigación y prevención		Se están ejecutando actividades de mitigación y prevención	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
	G.1 Cobertura del servicio		90 a 95%	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
	G.2 Continuidad del servicio		Interrupciones muy frecuentes (cada tres días o menos y de más de 5 horas cada vez)	Entrevista a Coordinador de mantenimiento de aguas
G: Red de distribución	G.3 Estado de la tubería y de la caja de válvulas		Regular (tubería expuesta en algunos tramos y presencia de fugas poco frecuentes, las cajas de válvulas se encuentran en estado regular o bueno y funcionan entre bien y muy bien)	Entrevista a Supervisor de aguas del sector
	G.4 Mantenimiento		Poco frecuente (cada 3 a 4	Entrevista a

		semanas), de tipo preventivo y/o correctivo, con personal con capacitación mínima a regular	Coordinador de mantenimiento de aguas
	G.5 Vulnerabilidad a amenazas naturales	Muy alta	Consulta personal bibliográfica Entrevista a
	G.6 Medidas de mitigación y prevención que se aplican	Se están ejecutando actividades de mitigación y prevención	Coordinador de mantenimiento de aguas
H: Tratamiento del agua	H.1 Tratamiento que necesita y se aplica al agua	El agua requiere cloración, pero no siempre existe clorador o no está en muy buen estado o a veces no se aplica el tratamiento	Entrevista a Jefe de tratamiento de aguas
	H.2 Frecuencia del tratamiento	Cada vez que se requiere, o al menos en el 95%, según las recomendaciones	Entrevista a Jefe de tratamiento de aguas
	H.3 Porcentaje de la población que consume agua tratada	90 a 95%	Entrevista a Jefe de tratamiento de aguas
	I.1 Cobertura del servicio de alcantarillado (% de la población con el servicio)	Menor del 60%	Entrevista a Jefe de tratamiento de aguas
	I.2 Tratamiento de aguas negras (% de aguas que son tratadas)	Menor del 60%	Entrevista a Jefe de tratamiento de aguas
I: Manejo de agua post-uso	I.3 Nivel de tratamiento de las aguas residuales	No se da tratamiento	Entrevista a Jefe de tratamiento de aguas
	I.4 Sitio de descarga de las aguas negras	Cuerpo de agua (río, quebrada, lago, laguna)	Entrevista a Jefe de tratamiento de aguas
	I.5 Capacitación a la población para manejo de las aguas residuales	No se da capacitación	Entrevista a Jefe de tratamiento de aguas

Fuente: Elaboración propia.

## Otras Actividades de la Práctica Profesional

- Se dió apoyo en traducciones de español-inglés e inglés-español para informes y documentos técnicos bajo el Programa de Seguridad Hídrica y Reabastecimiento de agua para la Región Metropolitana de Guatemala.
- Se realizaron visitas de campo a sitios en donde se están implementando alguno de los tres tipos de acciones (la conservación de bosques; la protección forestal; y sistemas agroforestales), y se brindó apoyo en visitas de campo tomando notas de información relevante y la generación de observaciones para discusión.
- Se realizó un recorrido por el Área Metropolitana de Guatemala y la Región de Xayá-Pixcayá, en donde se tomaron fotografías que revelan la situación actual del recurso hídrico.
- Se brindó apoyo haciendo cotizaciones de herramientas e insumos necesarios para el establecimiento de viveros forestales.
- Se brindó apoyo en la revisión, complementación y depuración de las bases de data de las líneas de acción del Programa.
- Se levantó información relacionada al Fondo de Agua en Guatemala, la cual requirió visitas a universidades, centros de investigación, instituciones del Estado (URL, UVG, USAC, UFM, CEUR, ERIS, entre otros).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Identificación y elaboración del croquis del sistema de abastecimiento de agua potable “Las Ciénegas” y sus componentes

Para poder determinar la vulnerabilidad global del sistema de abastecimiento y sus componentes, inicialmente fue necesario realizar una investigación para identificar el sistema de abastecimiento y la ubicación de sus componentes. Los resultados de esta actividad se presentan a continuación:

El Sistema de abastecimiento de agua potable con el que se trabajó en este estudio fue el denominado “Las Ciénegas”, el cual se divide en dos localidades, Ciénega I y Ciénega II (ver Anexo 3, Figuras 20 y 21). Ambas se encuentran ubicadas en la carretera que conduce a la aldea el Manzanillo, municipio de Mixco, del departamento de Guatemala y abastecen a la zona 1 de Mixco. El terreno en donde está ubicado Ciénega I, comparte locación con el vivero municipal y se encuentra salvaguardada por la comitiva de la Policía Forestal del municipio de Mixco, con el fin de proteger las fuentes de abastecimiento de agua potable, en cumplimiento con la Política Nacional del Sector Agua Potable y Saneamiento, Acuerdo Gubernativo No. 418-2013.

A continuación se presenta en la Figura 4, un croquis del sistema de abastecimiento de agua potable Las Ciénegas, en donde se puede identificar ambas localidades. En un círculo del croquis, se pueden observar unos árboles los cuales delimitan la zona de recarga hídrica que abarca el sistema dentro de la Reserva Protectora de Manantiales Cordillera Alux (componente A). También se pueden observar las fuentes de abastecimiento del sistema, nacimientos y pozos artesanales (componente B) y la toma de agua y obra de captación de las mismas fuentes (componente D), más adelante en el sistema, la línea de conducción (componente F), el tanque de almacenamiento

(componente E) en donde se lleva a cabo la cloración como tratamiento para agua potable (componente H), así como la red de distribución de agua potable (componente G).



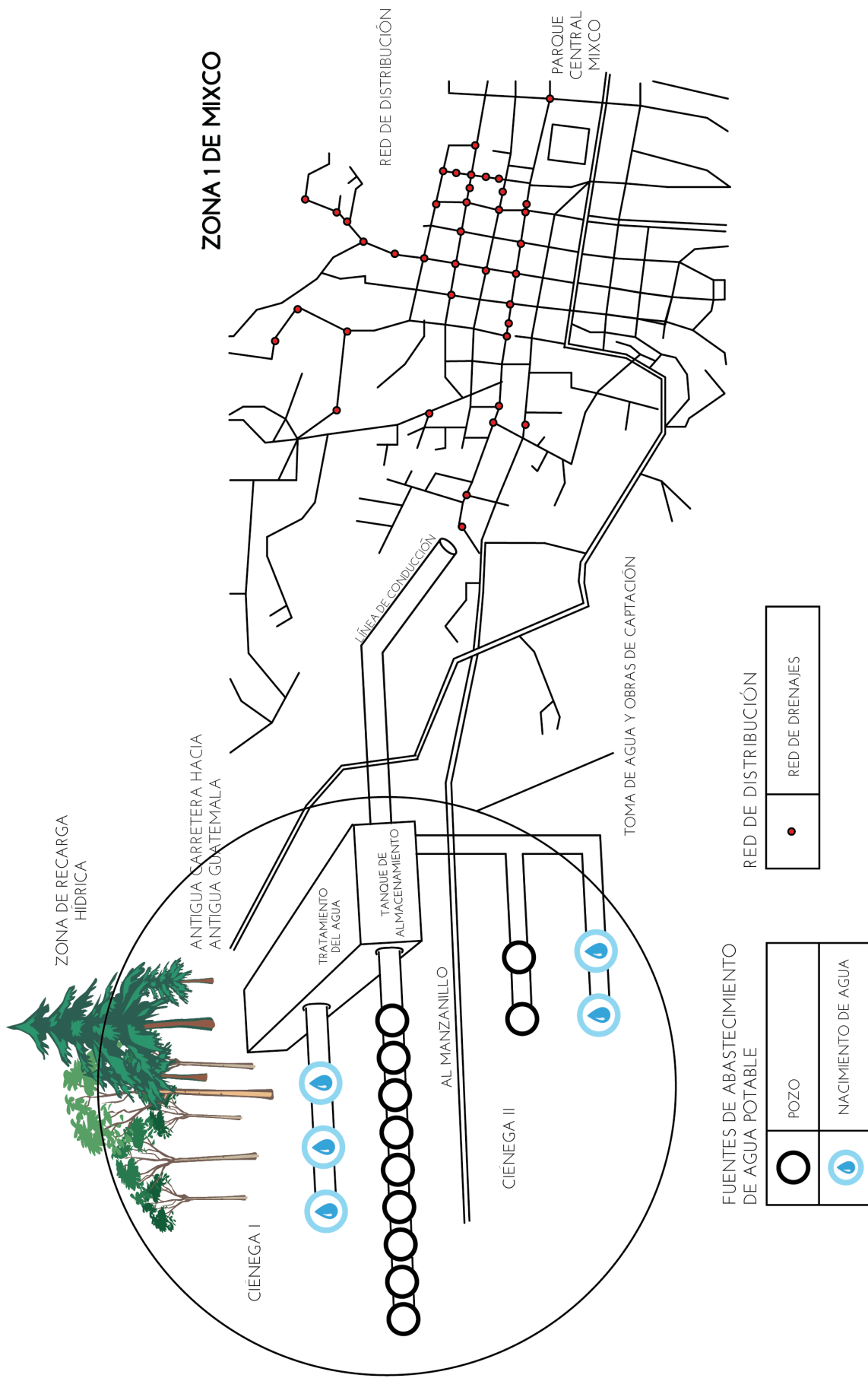


Figura 4. Croquis del sistema de abastecimiento de agua potable Las Ciénegas.

A continuación en el Cuadro 4, se presenta un cuadro síntesis de la recopilación y generación de información relacionada con el sistema de abastecimiento de agua potable en la zona 1 de Mixco:

Cuadro 4. Cuadro síntesis de la información relacionada con el sistema de abastecimiento de agua potable en la zona 1 de Mixco.

Característica	Descripción
Zona de recarga hídrica	39.34% de la Reserva Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux. (CONAP, 2010). Acuíferos en rocas volcánicas fracturadas (Terciario). (IARNA/URL & TNC, 2012).
Fuentes de abastecimiento de agua potable	5 Nacimientos (Cuadro 17). Acuíferos en rocas volcánicas fracturadas y sedimentarias karstificadas y/o fracturadas. (IARNA/URL & TNC, 2012).
Balance hídrico	Oferta 906,336 litros al día
	Demanda 13,500,000 litros al día
	Déficit <b>-12,593,664 litros al día</b>
Gestión administrativa	Oficina de Aguas y Drenajes, Municipalidad de Mixco.
Toma de agua y obra de captación	11 pozos artesanales (Cuadro 18).
Tanque de almacenamiento	Cantidad: 1 Material: Block de buena calidad. Dimensiones: 15 x 15 x 3.50 m. Capacidad: 787.50 m <sup>3</sup> .
Línea de conducción	Tubería de hierro galvanizado (HG) en unas partes y de Policloruro de vinilo (PVC) en otras. Diámetro: 6 pulg. Con 160 y 250 libras de fuerza por pulgada cuadrada (PSI).
Red de distribución	Tubería de Policloruro de vinilo (PVC). Diámetro: 6 pulg. Con 160 y 250 libras de fuerza por pulgada cuadrada (PSI), luego se reduce a 4 y 3 pulg., y la mayoría de ramales de la red es de 2 pulg., los cuales se reducen a tubos de ½ pulg.
Tratamiento del agua	Cloración (hipoclorito de sodio, 3-4 gal/día). Bomba diafragma. En cumplimiento con norma COGUANOR NTG 29001.
Manejo de aguas post-uso	Nulo. Descarga a río Pansalic.

## **5.2 Vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua potable abastecido por las zonas de captación y regulación hidrológica del área protegida Cordillera Alux**

Para la determinación de la vulnerabilidad del sistema de agua potable abastecido por las zonas de captación y regulación hidrológica del área protegida Cordillera Alux, inicialmente fue necesario realizar una caracterización del sistema de abastecimiento de la ubicación de dicho sistema y de las características generales que se presentan en la zona 1 de Mixco.

### **5.2.1 Determinación de la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua potable por componente**

A continuación se determinó la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua potable por componente:

#### **5.2.1.a Componente A: Zona de recarga hídrica**

##### **Vulnerabilidad**

Como se observa en la Figura 5, el componente Zona de recarga hídrica evalúa cinco indicadores de los cuales el indicador “Tenencia de la tierra” y “Tendencia de uso del suelo” muestran una mayor vulnerabilidad por su valor de 3 y 4 en la escala de evaluación de la vulnerabilidad por componente del sistema descrita en la metodología (Cuadro 1). El indicador “Uso del suelo” presenta una vulnerabilidad media con valor de 2. Así mismo, el indicador “Grado o porcentaje de cobertura vegetal” presenta una

vulnerabilidad media. Los resultados de vulnerabilidad se pueden observar en el estándar para este componente en el Cuadro 9, Anexo 1.

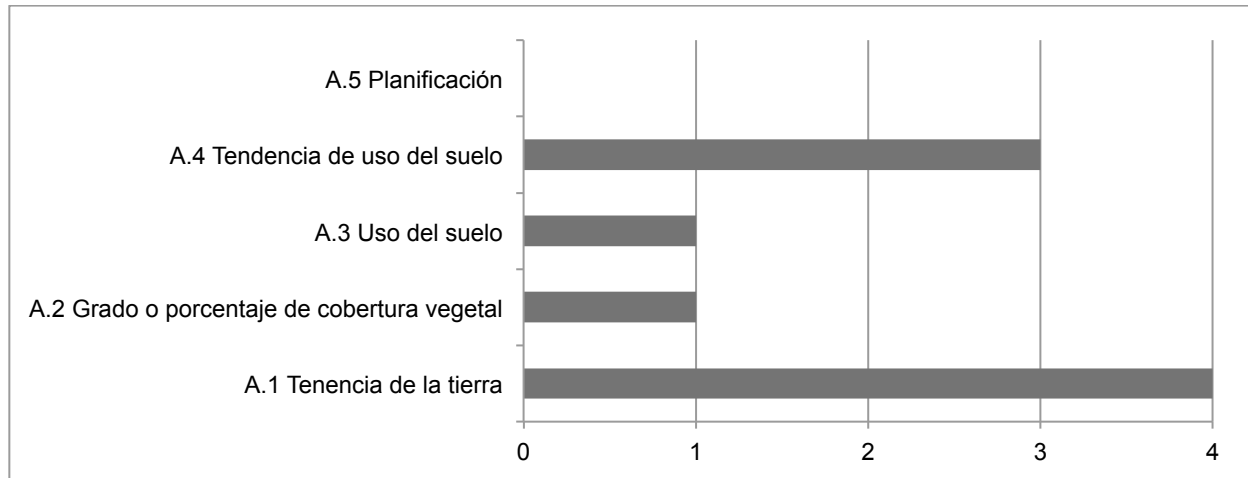


Figura 5. Gráfico de vulnerabilidad del componente Zona de recarga hídrica.

A continuación se describen y discuten los diferentes indicadores que caracterizan la vulnerabilidad de este componente:

### **Tenencia de la tierra**

De acuerdo con los lineamientos descritos para este indicador sobre el índice de vulnerabilidad, el valor para el área de estudio es 4, esto debido a que se estima que más del 90% del área de la Cordillera Alux, tiene un régimen de tenencia privada. Desafortunadamente, esta información no pudo ser verificada con certeza, ya que las municipalidades de Mixco, San Pedro Sacatepéquez y San Juan Sacatepéquez, del departamento de Guatemala, y el municipio de Santiago Sacatepéquez, del departamento de Sacatepéquez no cuentan con mapas catastrales de sus municipios, a

excepción de la Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, la cual se encuentra actualmente en proceso. (CONAP, 2010).

El tamaño de las fincas de propiedad privada es muy variable: existen fincas, granjas campestres, agropecuarias y parcelas agrícolas. Las parcelas agrícolas tienen un área estimada entre 1 y 3 manzanas. Hay arrendamiento de tierras para uso agrícola, lo que evidencia la presión sobre el suelo y la ampliación de la frontera agrícola. (CONAP, 2010).

### **Grado o porcentaje de cobertura vegetal**

Este indicador se determinó con base a los mapas de cobertura forestal realizados conjuntamente entre MAGA, INAB, CONAP, IARNA y UVG y con la ayuda de ArcGis 10.2. En ese sentido, se evidencia que hubo una disminución en la cobertura forestal entre 1991 y 2006 lo cual ascendió a 568.62 ha. Esta situación se ha dado principalmente por la ampliación de zonas agrícolas principalmente en la zona Norte y por la demanda de tierras para urbanización. Por otro lado, se dio una variación positiva en la cobertura forestal entre el 2006 y el 2010, es decir hubo una ganancia en la cobertura forestal que ascendió 551.25 ha. Este aumento en la cobertura fue inducida principalmente por la gestión e implementación de programas de incentivos forestales, tales como PINFOR y PINPEP, por la implementación de compromisos de reforestaciones derivadas de licencias por cambio de uso de la tierra y por la ampliación de bosques de protección dentro de la Reserva. (Ver Cuadro 5 y Figura 6).

Cuadro 5. Dinámica de cambio de cobertura forestal en la RFPMCA en el período 1991-2010.

Área de la Cordillera Alux	Años							
	1991		2001		2006		2010	
	Has.	%	Has.	%	Has.	%	Has.	%
Sin bosque	1285.83	28.15	2004.39	43.88	2022.39	44.27	1471.14	32.21
Con bosque	3108.87	68.06	2558.25	56.00	2540.25	55.61	3091.5	67.68
Total	4567.99	100	4567.99	100	4567.99	100	4567.99	100

Fuente: Elaboración propia.

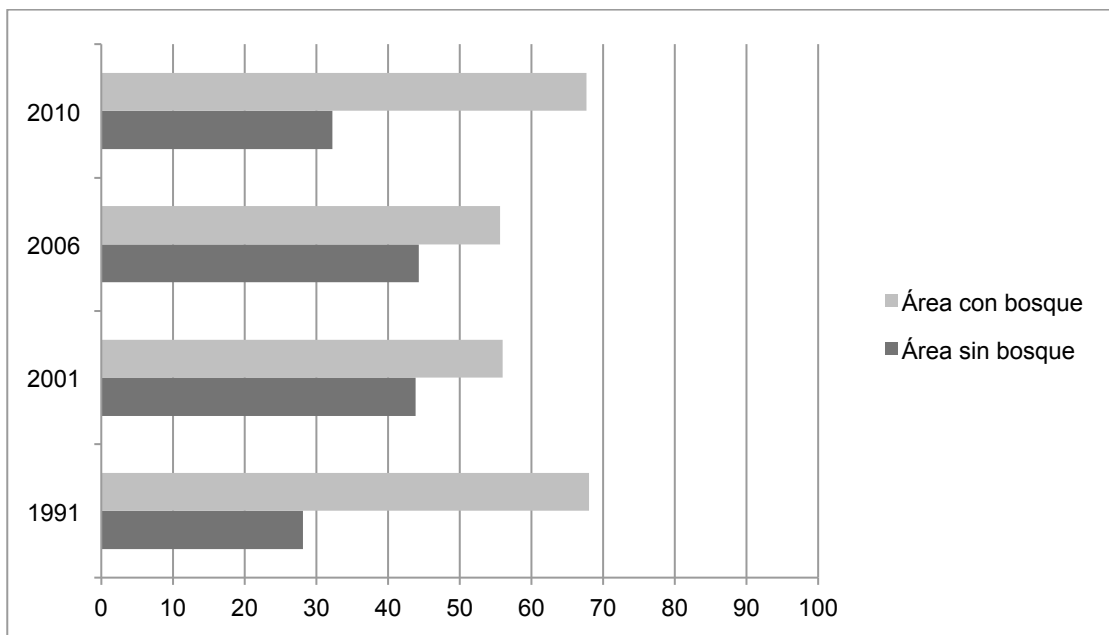


Figura 6. Relación entre el suelo con bosque y sin bosque para la RFPMCA para los años 1991-2010.

En base al análisis realizado se determinó un índice de vulnerabilidad de valor 1 para este indicador, ya que que el grado o porcentaje de cobertura vegetal para la ZRH Cordillera Alux es del 67.68%, ubicado dentro del 60-80% según la metodología descrita en el Anexo 1.

## Uso de la tierra

Este indicador se determinó con base a los mapas de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala al año 2010, realizados conjuntamente entre MAGA, INAB, CONAP, IARNA y UVG y con la ayuda de ArcGis 10.2. Tal y como se muestra en la Figura 7 y en el Cuadro 6, el uso de la tierra predominante en la zona de recarga de la Cordillera Alux es el bosque, el cual representa el 61.85% del área total.

De acuerdo con CONAP, 2010, el segundo uso predominante lo constituyen las áreas correspondientes a la agricultura permanente, las cuales representan un área aproximada de 17.94% del área total de la Cordillera. Las áreas destinadas para la agricultura, dentro del área de la Cordillera Alux, se encuentran principalmente en la parte noroeste de la misma. Son áreas templadas, que se dedican al cultivo de hortalizas, tales como: arveja china, brócoli, ejote francés, repollo, suchini, güicoy, acelga, espinaca, perejil, lechuga, cilantro, apio y remolacha. (CONAP, 2010).

El tercer uso representativo lo constituyen las zonas urbanas las cuales representan un área aproximada de 17.80% del área total de la Reserva. El avance de la frontera urbana se da principalmente en las zonas de Protección de Caudales y la Zona de Uso Extensivo. El casco urbano de Mixco y la Aldea El Manzanillo es el área de expansión urbana que mayor crecimiento ha tenido, ya que ha crecido hacia el sur a lo largo de la carretera que conduce de la ciudad capital hacia San Lucas Sacatepéquez, invadiendo la ZUE. Ha crecido también hacia el oeste, invadiendo parte de la Zona de Uso Extensivo y la Zona Protectora de Caudales y Flujos de Agua, amenazando con dividir la ZPCFA, en su lado sur. Este crecimiento concentrado, es característico de las cabeceras municipales y las colonias, a consecuencia del proceso migratorio de la ciudad de Guatemala y de otros departamentos aledaños. (CONAP, 2010).

Cuadro 6. Uso de los suelos de la RFPMCA. Año 2010.

Uso del suelo	Hectáreas	% dela RFPMCA
Zonas urbanas	813.26	17.80
Bosque	2825.5	61.85
Pastizales	7.81	0.17
Arbustos	10.19	0.22
Agricultura permanente	819.44	17.94
Agricultura anual	86.08	1.88
Total	4567.99	100

Fuente: Elaboración propia.



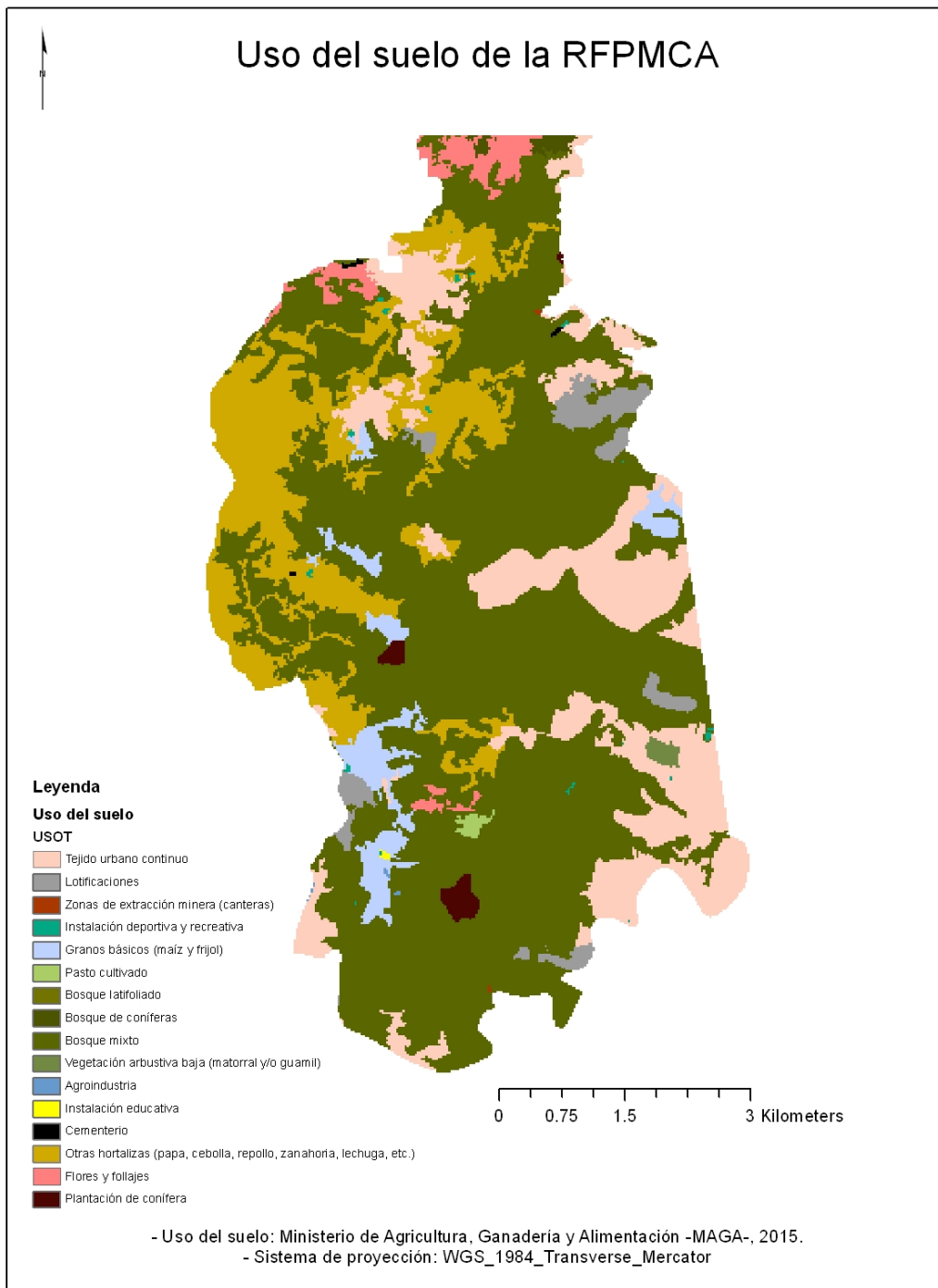


Figura 7. Mapa de uso actual de la tierra de la de la RFPMCA. Año 2010.

En base al análisis realizado, se determinó un valor de 1 de índice de vulnerabilidad para este indicador, el cual establece en los lineamientos de la metodología que más del 80% del área corresponde a zonas con sistemas agroforestales con cultivos perennes y/o cultivos perennes con amplia cobertura del suelo y/o plantaciones forestales con cobertura del suelo y/o bosque (primario, secundario y ribereño) (ver Anexo 1).

### **Tendencia de uso del suelo**

Con relación a la tendencia en el uso de la tierra en Cordillera Alux, es importante mencionar que los métodos empleados para la determinación de los usos de la tierra existentes (2003 y 2010) no son comparables, por lo tanto es inviable técnicamente determinar cual ha sido la tendencia. Sin embargo, el Plan Maestro de la Reserva indica que la zona de avance de la frontera agrícola está estrechamente relacionada con la ubicación de las áreas urbanas, correspondiente a las áreas de expansión. (CONAP, 2010).

En base a esto, se determinó un valor de 3 de índice de vulnerabilidad para este indicador, el cual establece en los lineamientos de la metodología que existe un aumento del área de suelos con terrenos cultivados sin obras de manejo y conservación de suelos y aguas a partir de terrenos agropecuarios con uso intensivo, de suelos desnudos y suelos con desarrollo urbanístico. (Ver Anexo 1).

El cambio de uso de la tierra, de forestal a uso agrícola o bien urbano, propicia que los volúmenes de agua en las escorrentías, sean mayores en las épocas de lluvia, lo cual está provocando daños a la infraestructura gris y aumentando las posibilidades de derrumbes, inundaciones y otros daños asociados a los temporales. Estrechamente vinculada a esta problemática se encuentran los procesos erosivos, con la consiguiente pérdida de suelo fértil. (CONAP, 2010).

Asimismo, la crisis relacionada con la sobreexplotación de los recursos hídricos se refleja a través del bajo caudal en los nacimientos, el aumento de la profundidad de los mantos freáticos, la pérdida de la infiltración natural del agua (a consecuencia del cambio del uso de la tierra) y el agotamiento de los nacimientos de agua en época de verano. (CONAP, 2010).

### **Planificación**

Actualmente existe un Plan Maestro para la Reserva Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux, el cual tiene una vigencia de 5 años, a partir de la fecha de aprobación, por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas y se constituye en la herramienta que orienta las acciones propias de los distintos programas de manejo y la administración de la Cordillera Alux, hasta la aprobación del siguiente Plan Maestro. (CONAP, 2010).

Sin embargo, el Técnico Forestal de la Unidad Técnica de Manejo de la Cordillera afirmó en la entrevista realizada, que la vigencia del Plan Maestro se venció en el 2015. En base a esto, se determinó un valor de 0 de índice de vulnerabilidad para este indicador, ya que, como indican los lineamientos de la metodología, aunque ya haya perdido vigencia conforme a la ley de Áreas Protegidas, el plan se encuentra en ejecución y está funcionando adecuadamente.

### 5.2.1.b Componente B: Fuente de abastecimiento de agua potable

#### Vulnerabilidad

Como se observa en la Figura 8, el componente Fuente de abastecimiento de agua potable evalúa seis indicadores de los cuales el indicador “Vulnerabilidad a amenazas naturales” y “Balance entre oferta y demanda de agua” muestran una vulnerabilidad 4 en la escala de evaluación de la vulnerabilidad por componente del sistema descrita en la metodología (Cuadro 1). Los indicadores “Tenencia de la tierra”, “Obras de protección de la fuente” y “Fuentes de contaminación”, presentan una vulnerabilidad media con un valor de 2. Los resultados de vulnerabilidad se presentan en el estándar para este componente en el Cuadro 10, Anexo 1.

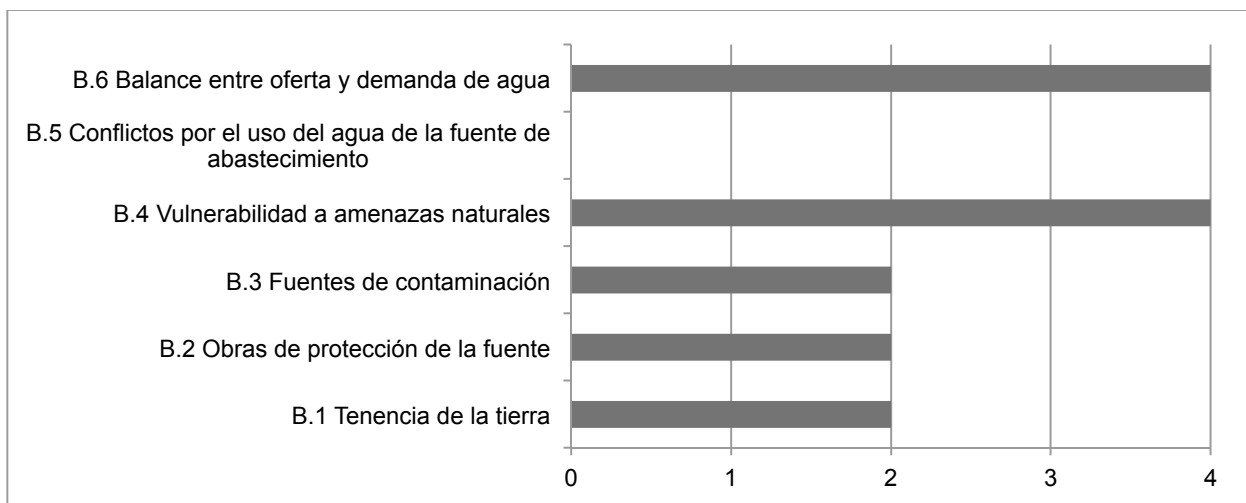


Figura 8. Gráfico de vulnerabilidad del componente Fuente de abastecimiento de agua potable.

A continuación se describen y discuten los diferentes indicadores que caracterizan la vulnerabilidad de este componente:

## **Tenencia de la tierra**

En una entrevista realizada a el Jefe de Ordenamiento Territorial, se determinó que el terreno en donde se encuentran ubicados los sistemas de abastecimiento de agua potable Las Ciénegas son ambas de propiedad municipal, sin embargo el terreno en donde se encuentra ubicado Ciénega I es jurisdicción de San Pedro Sacatepéquez, la cual fue concedida a Mixco por medio de un acuerdo al cual no se tuvo acceso. En base a esto, se determinó un valor de 2 de índice de vulnerabilidad para este indicador, el indica en la metodología ser de propiedad ejidal o comunal.

## **Obras de protección de la fuente**

El terreno se encuentra circundado por una cerca que se encuentra en condiciones desfavorables (Ciénega I) y regulares (Ciénega II), como obra de protección de la fuente. En Ciénega I, la situación es más grave pues la mala protección de la fuente ha permitido a que intrusos entren al terreno a robar las láminas que protegen a los nacimientos de agua de contaminantes externos, a pesar de la presencia de la Policía Forestal y de Medio Ambiente del municipio de Mixco, instancia que vela por el resguardo de la Reserva Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux. En el Anexo 3, Figura 22, se puede observar una foto de la cabina de los agentes policiales ausentes. En la Figura 23, una foto del cerco alrededor de Ciénega I, y en la Figura 24, una foto del cerco alrededor de Ciénega II.

En base a esto se determinó para este indicador, un valor de 2 de índice de vulnerabilidad, el cual establece en la metodología un cercado en condiciones inadecuadas.

## **Fuentes de contaminación**

Según el Coordinador de Mantenimiento, en el sistema Ciénega I, existe la contaminación constante de agentes externos, debido al robo que ha habido de las láminas que protegen la entrada de los túneles de los nacimientos. En la Figura 25, se presenta una foto del agua estancada y contaminada debido a fugas en la tubería y la mala canalización del agua de los nacimientos en el Sistema Ciénega II.

Por lo anterior, se determinó para este indicador un valor de 2 de índice de vulnerabilidad, el cual indica la metodología si se presentan dos menos fuentes de contaminación difusa y ninguna puntual.

## **Vulnerabilidad a amenazas naturales**

La vulnerabilidad ante amenazas naturales es Muy alta por la sismicidad que caracteriza al área, (ver Figura 34), por lo cual se le asignó un valor de 4 de índice de vulnerabilidad a este indicador de acuerdo con la metodología.

- En aguas subterráneas

La geohidrología de los acuíferos puede cambiar la capacidad de producción de los pozos a causa de un movimiento sísmico. Los acuíferos poco profundos parecen estar más afectados que los acuíferos más profundos. (Corzo, 2014).

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. (OPS/OMS, 1998). Estos pueden ser contaminados por aguas negras no tratadas provenientes del alcantarillado cercano, por efluentes de

tanques sépticos o materiales peligrosos que llegan al acuífero a través de las capas permeables o por una tubería de revestimiento no sellada del pozo. (Corzo, 2014).

- En aguas superficiales

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. (OPS/OMS, 1998).

### **Conflictos por el uso del agua de la fuente de abastecimiento**

En base a la entrevista realizada al Coordinador de Mantenimiento de la Oficina de Drenajes y a la metodología se determinó un valor de 0 de índice de vulnerabilidad, el cual indica que no existen conflictos o al menos no durante los últimos años (5 ó menos) en cuanto al uso del agua de la fuente para otros fines como consumo animal, riego, recreación u otros usos.

### **Balance entre oferta y demanda de agua**

- Análisis de la demanda

La demanda para el sistema de abastecimiento se constituye por dos elementos, a) la población objetivo, representada por la población actual y futura, b) Por el consumo de agua o la generación de las aguas servidas de dicha población.

- Demanda actual

La población objetivo actual se determina mediante un censo de la población a beneficiar. La demanda media de agua se calcula mediante la fórmula:

$$Q_m = (P_o * \text{dotación}) / 86,400 = \text{l/s [litros por segundo]}$$

Donde:

$Q_m$  = Es el caudal medio en litros por segundo (l/s)

$P_o$  = Es la población objetivo actual

86,400 = Es el factor para convertir el tiempo de día en segundos

La dotación, se expresa en litros por habitante por día (l/h/d) y según las normas de diseño de UNEPAR para las comunidades urbanas según normas de diseño de INFOM dicha dotación debe ser entre 150 y 300 litros por habitante por día. En función de este criterio, en esta investigación se utilizó el promedio de este rango, es decir 225 litros por habitante por día.

De acuerdo con los datos proporcionados por la municipalidad en la zona 1 existen alrededor de 12,000 conexiones en los hogares. En ese sentido, se hizo una estimación del número total de personas con base al número promedio de personas por hogar, el cual de acuerdo con las encuestas de condiciones de vida realizadas por el INE se estima en aproximadamente 5 personas por hogar. De esa cuenta se tiene que el número total de usuarios al 2015 es de aproximadamente 60,000.

$$\begin{aligned} \dots \text{sustituyendo: } Q_m &= (60,000 \text{ (usuarios agua)} * 225 \text{ lt/hab/día}) / 86,400 \\ &= \underline{156.25 \text{ l/s [litros por segundo]}} \end{aligned}$$



De acuerdo con esto, la demanda actual de la población de Mixco es de aproximadamente 13,500,000 lt/día. Al comparar esta demanda con la oferta actual, 906,336 lt/día (dato proporcionado por los funcionarios de la municipalidad de Mixco), se determinó que existe un déficit de 12,593,664 litros por día, motivo por el cual la municipalidad de Mixco se ve obligado a racionar el agua en los diversos sectores que componen la zona 1 de Mixco.

Derivado de este déficit y de acuerdo con la metodología propuesta, este indicador fue valorado con un índice de vulnerabilidad de 4.

- Demanda futura

La demanda futura consistirá en el cálculo para el final del período de diseño de la población objetivo y los caudales de consumo. Para determinar el balance de la oferta y la demanda, se calcula para cada año del período de diseño.

- Proyección de la demanda

Para proyectar la demanda se necesita tener al menos dos datos del número de habitantes de la comunidad que correspondan a diferentes años para determinar la tasa de crecimiento. Se le llamará población inicial al dato más antiguo de la población y población final al más reciente.

La fórmula para calcular la tasa de crecimiento “r” utilizando el método del crecimiento geométrico, es:

$$r = \left\{ \frac{P_f}{P_o} \right\}^{1/n} - 1$$

Donde:

r = Tasa de crecimiento geométrico (se multiplica por cien para expresarla en porcentaje),

Pf = Población final (dato del censo más cercano, Guatemala 2002), (403,689)

Po = Población inicial (dato de un censo anterior, Guatemala 1994), (305,297)

n = Período intercensal (2002 – 1994 = 8 años, entonces n = 8)

$$\dots \text{ sustituyendo: } r = \left\{ \frac{403,689}{305,297} \right\}^{1/8} - 1 = \{1.357453419\}^{1/8} - 1$$
$$= 0.04$$

- Cálculo de la demanda futura

En base de la tasa de crecimiento se calcula la población objetivo o demanda futura por medio de la fórmula siguiente:

$$Pf = Po (1 + r / 100)^n$$

Donde:

r = Tasa de crecimiento geométrico (si el dato está en porcentaje (4%), se divide entre 100 para aplicarlo a la fórmula o si el dato está en decimales (0.04), se multiplica por cien para expresarla en porcentaje)

Pf = Población final

Po = Población inicial

n = Período de años bajo análisis

Aplicando esta ecuación y con base a la población beneficiada por el servicio de agua potable para la zona 1 de Mixco se proyectó el crecimiento de la población para los próximos 20 años (Columna 3 de Cuadro 7).

- Balance oferta - demanda proyectada (exceso o déficit)

A continuación en el Cuadro 7 se proyecta para cada año la oferta y la demanda y se observa como aumentará en 20 años el déficit de oferta de las fuentes de agua.

Cuadro 7. Balance entre la oferta y la demanda.

No.	Año	Población (No./hab)	Dotación Consumo (lt/hab/día)	Demanda Consumo Total (lt/día)	Aforo fuente (lt/seg)	Oferta Fuente Agua (lt/día)	Exceso / Déficit
1	2015	60000.00	225	13500000	10.49	906,336	-12,593,664
2	2016	62400.00	225	14040000	10.49	906,336	-13,133,664
3	2017	64896.00	225	14601600	10.49	906,336	-13,695,264
4	2018	67491.84	225	15185664	10.49	906,336	-14,279,328
5	2019	70191.51	225	15793090.56	10.49	906,336	-14,886,755
6	2020	72999.17	225	16424814.18	10.49	906,336	-15,518,478
7	2021	75919.14	225	17081806.75	10.49	906,336	-16,175,471
8	2022	78955.91	225	17765079.02	10.49	906,336	-16,858,743
9	2023	82114.14	225	18475682.18	10.49	906,336	-17,569,346
10	2024	85398.71	225	19214709.47	10.49	906,336	-18,308,373
11	2025	88814.66	225	19983297.85	10.49	906,336	-19,076,962
12	2026	92367.24	225	20782629.76	10.49	906,336	-19,876,294
13	2027	96061.93	225	21613934.95	10.49	906,336	-20,707,599
14	2028	99904.41	225	22478492.35	10.49	906,336	-21,572,156
15	2029	103900.59	225	23377632.04	10.49	906,336	-22,471,296
16	2030	108056.61	225	24312737.32	10.49	906,336	-23,406,401
17	2031	112378.87	225	25285246.82	10.49	906,336	-24,378,911
18	2032	116874.03	225	26296656.69	10.49	906,336	-25,390,321
19	2033	121548.99	225	27348522.96	10.49	906,336	-26,442,187
20	2034	126410.95	225	28442463.88	10.49	906,336	-27,536,128
21	2035	131467.39	225	29580162.43	10.49	906,336	-28,673,826

Fuente: Elaboración propia.

A continuación en la Figura 9 se puede dimensionar la carencia de la proyección de la oferta y la demanda en 20 años, y del déficit que se produciría en el sistema de abastecimiento de agua potable de la zona 1 de Mixco, de no tomar las medidas necesarias para mejorar cada uno de los componentes descritos en esta investigación.

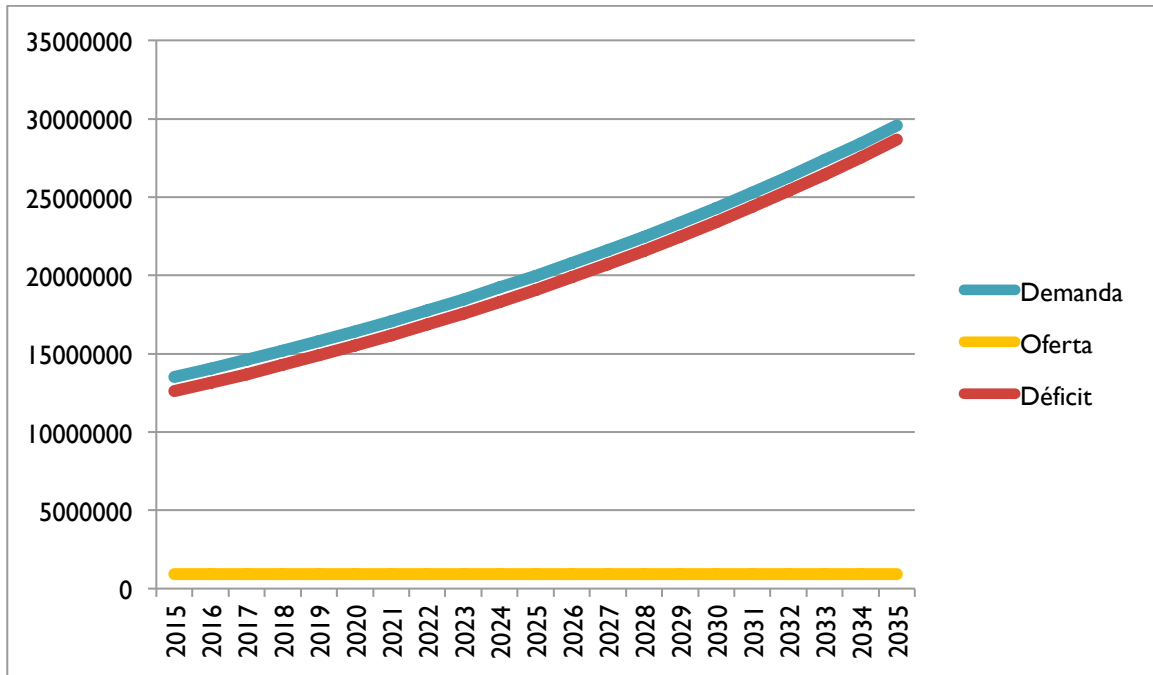


Figura 9. Gráfico del balance hídrico del sistema de abastecimiento.

De acuerdo con estos datos, se evidencia que existe una enorme brecha para satisfacer en cantidad y calidad de agua a los pobladores de la zona 1 de Mixco. En ese sentido, la municipalidad debe realizar gestiones enfocadas a identificar nuevas fuentes de agua (superficiales y subterráneas), mejorar la eficiencia en el uso del agua y el tratamiento y reutilización de las mismas. Estas acciones deben ir de la mano con políticas e instrumentos municipales para mejorar la oferta y el servicio que presta la municipalidad a sus usuarios.

### **5.2.1.c Componente C: Gestión administrativa**

#### **Vulnerabilidad**

Como se observa en la Figura 10, el componente Gestión administrativa evalúa siete indicadores de los cuales el indicador “Capacitación de las organizaciones”, y “Cobertura de micromedición (medidores de agua)” muestran una mayor vulnerabilidad por su valor de 4 en la escala de evaluación de la vulnerabilidad por componente del sistema descrita en la metodología (Cuadro 2). El indicador “Equidad de género en la integración, participación y toma de decisiones en la organización local gestora del agua” presenta una vulnerabilidad de valor de 3, y los indicadores “Reglamento interno de la organización”, “Tarifas de cobro” y “Porcentaje de conexiones ilegales” presentan una vulnerabilidad media con valor de 2. Los resultados de vulnerabilidad se presentan en el estándar para este componente en el Cuadro 11, Anexo 1.

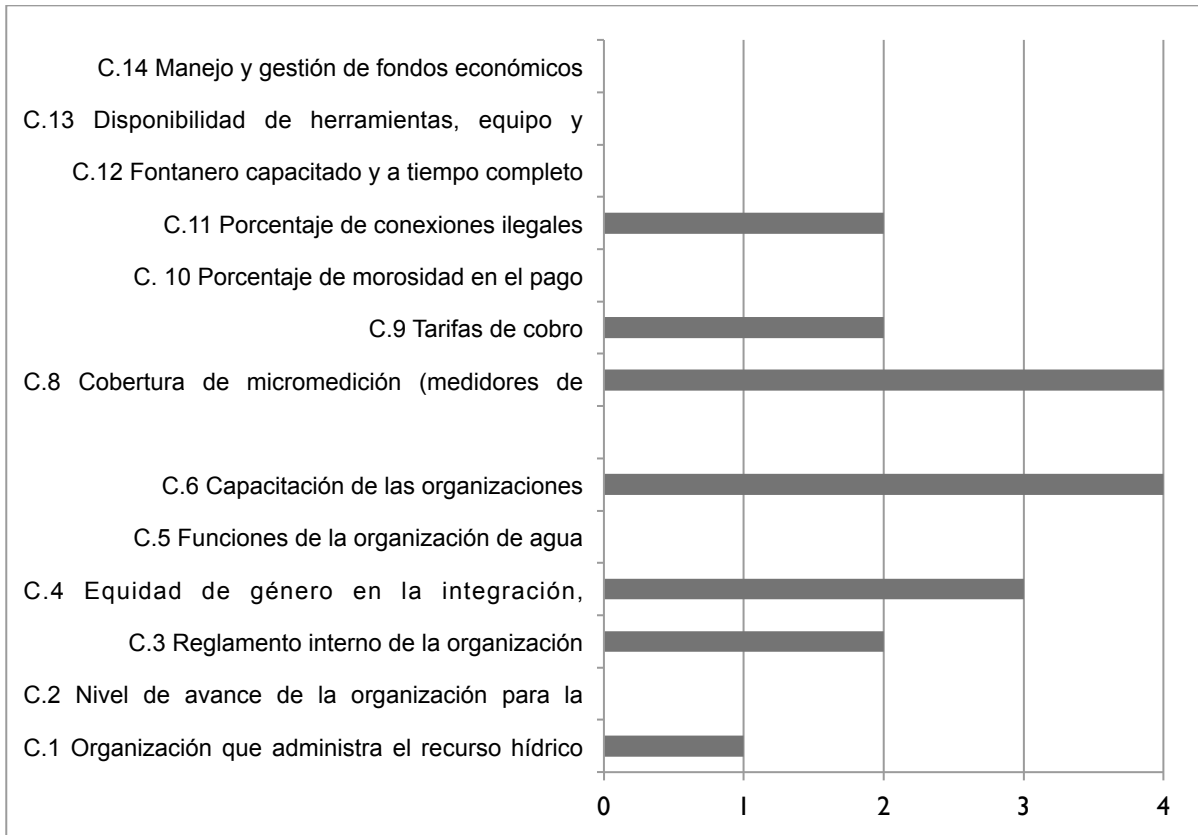


Figura 10. Gráfico de vulnerabilidad del componente Gestión administrativa.

A continuación se describen y discuten los diferentes indicadores que caracterizan la vulnerabilidad de este componente:

### **Organización que administra el recurso hídrico para consumo humano**

La organización que administra el recurso hídrico para consumo es a nivel municipal, específicamente la Oficina de Aguas y Drenajes de la municipalidad de Mixco, por lo cual se determinó para este indicador un valor de 1 de índice de vulnerabilidad, el cual indica la metodología.

### **Nivel de avance de la organización para la constitución con personería jurídica**

El Director de la Oficina de Aguas y Drenajes indicó en la entrevista que se le realizó que la organización ya se encuentra constituida con personería jurídica en cumplimiento con el artículo 7 del Código Municipal, Decreto No. 12-2002, el cual establece que el municipio, como institución autónoma de derecho público, tiene personalidad jurídica y capacidad para adquirir derechos y contraer obligaciones, y en general para el cumplimiento de sus fines en los términos legalmente establecidos, y de conformidad con sus características multiétnicas, pluriculturales y multilingües. En base a esto, se determinó un valor de 0 de índice de vulnerabilidad, el cual indica la metodología.

### **Reglamento interno de la organización**

Conforme a la entrevista que se realizó al escritorio de recepción de la Oficina de Aguas y Drenajes y al Director, se averiguó que el reglamento interno de la organización está todavía en elaboración, actualmente las estipulaciones se manejan con puntos de acta, por lo cual se determinó un valor de 2 de índice de vulnerabilidad para este indicador, el cual indica la metodología si el reglamento está en elaboración.

### **Equidad de género en la integración, participación y toma de decisiones en la organización local gestora del agua**

De acuerdo a la entrevista realizada al Director de la Oficina de Aguas y Drenajes, se determinó que no existe equidad de género en oportunidades, en la integración, participación y toma de decisiones en la Oficina de Aguas y Drenajes, ya que menos del 10% de la directiva de la organización son mujeres, por lo que se determinó para este indicador un valor de 3 de índice de vulnerabilidad según la metodología.

### **Funciones de la organización de agua**

El Director de la Oficina de Aguas y Drenajes indicó en la entrevista que se realizó que entre las funciones que la organización gestora del agua realiza, se encuentran la administración, operación, mantenimiento, participación en la toma de decisiones, gestión, entre otras, por lo que se determinó para este indicador un valor de 0 de índice de vulnerabilidad según la metodología.

### **Capacitación de las organizaciones**

En cuanto a la capacitación de la organización, el Director de la Oficina de Aguas y Drenajes indicó que no se brinda capacitación en cuanto a la organización, operación y mantenimiento, aspectos legales, desinfección del agua, microcuencas, procesos administrativos ni formulación de proyectos, por lo que se determinó para este indicador un valor de 4 de índice de vulnerabilidad según la metodología.

### **Frecuencia de reuniones de la organización y grado de participación**

El Director de la Oficina de Aguas y Drenajes indicó en la entrevista realizada que se tienen reuniones administrativas una vez a la semana y reuniones operativas una vez al mes y que el grado de participación de las mismas es alto, aproximadamente del 90%. En base a esto, se determinó para este indicador un valor de 0 de índice de vulnerabilidad según lo establece la metodología.



### **Cobertura de micromedición (medidores de agua)**

La cantidad asignada a cada usuario del sistema es de media paja de agua, lo que equivale a 30 metros cúbicos o 30,000 litros al mes y 4.8 toneles de agua para fines prácticos de distribución, según lo indicó el Coordinador de Mantenimiento de la Oficina de Aguas y Drenajes en la entrevista realizada. La cobertura de micromedición es menor del 60%, casi ningún usuario cuenta con contadores de agua, lo cual propicia el desperdicio de agua y a esto anterior, se le suma el problema de conexiones ilícitas no detectadas al sistema. En base a esto, se determinó un valor de 4 de índice de vulnerabilidad para este indicador, según lo indica la metodología.

### **Tarifas de cobro**

El Coordinador de Mantenimiento indicó en la entrevista realizada que no se tiene una tarifa de cobro. El servicio de abastecimiento de agua potable se presta con un único pago de Q.2,500 y un cobro adicional de Q.55.00 para trámites internos de la municipalidad. Este pago sólo cubre los gastos de operación y mantenimiento y no cubre gastos para la protección de la zona de recarga hídrica para prevenir, mitigar y restaurar los daños a las fuentes de abastecimiento, ni los gastos para su gestión sostenible. En base a esto, se determinó un valor de 2 de índice de vulnerabilidad para este indicador, el cual establece la metodología, que la tarifa de cobro cubre los gastos de operación y mantenimiento.

### **Porcentaje de morosidad en el pago**

El porcentaje de morosidad en el pago es aproximadamente del 0 al 5%, pues la municipalidad realiza la conexión del usuario al sistema de abastecimiento de agua potable únicamente hasta que el usuario haya realizado el pago de conexión. En otras

palabras, el que no haya pagado, no tiene acceso al agua del sistema. Esto se determinó en conjunto con el Coordinador de Mantenimiento y el Supervisor del Área de la Oficina de Aguas y Drenajes. En base a esto, se determinó un valor de 0 de índice de vulnerabilidad para este indicador, según lo establece la metodología.

### **Porcentaje de conexiones ilegales**

De acuerdo a la entrevista realizada al Coordinador de Mantenimiento, se tiene que el porcentaje de conexiones ilegales al sistema de abastecimiento que han sido detectadas es aproximadamente del 5 al 10%, y sumado a esto, se aproxima un 5% más de conexiones ilegales que no son detectadas.

En base a esto, se determinó para este indicador un valor de 2 de índice de vulnerabilidad, según lo establece la metodología.

### **Fontanero capacitado y a tiempo completo**

El Coordinador de Mantenimiento indicó que se tiene un fontanero capacitado, a tiempo completo y pagado, y que es el Encargado del Sector del casco urbano de Mixco (Zona 1 de Mixco). Por esto, se determinó un valor de 0 de índice de vulnerabilidad para este indicador, según lo establece la metodología.

### **Disponibilidad de herramientas, equipo y materiales**

El Supervisor de Aguas del Sector indicó en la entrevista realizada que si se cuenta con herramientas, equipo y materiales para la gestión del sistema de abastecimiento. El Coordinador indicó que cuando se tiene la necesidad y en cualquier momento se

manda a pedir, o se va a comprar la herramienta, material o equipo a las diferentes zonas de Mixco, al municipio más cercano que es San Lucas Sacatepéquez, o a distintos lugares hasta encontrar lo necesario para el préstamo del servicio de agua potable. En base a esto y a lo que establece la metodología, se asignó para este indicador un valor de 0 de índice de vulnerabilidad.

### **Manejo y gestión de fondos económicos**

El Coordinador de Mantenimiento indicó en la entrevista realizada, que la Municipalidad tiene una cuenta en el Banco funcionando por más de un año para el manejo y gestión de fondos económicos de la Oficina de Aguas y Drenajes. De acuerdo a lo establecido y a la metodología, se asignó para este indicador un valor de 0 de índice de vulnerabilidad.

#### **5.2.1.d Componente D: Toma de agua y obra de captación**

### **Vulnerabilidad**

Como se observa en la Figura 11, el componente Toma de agua y obra de captación evalúa cinco indicadores de los cuales el indicador “Vulnerabilidad a amenazas naturales” es el más alto por su valor de 4 escala de evaluación de la vulnerabilidad por componente del sistema descrita en la metodología (Cuadro 2). Los indicadores “Frecuencia de mantenimiento” y “Estado de la obra de captación” muestran una vulnerabilidad media por su valor de 2 en la escala. Los resultados de vulnerabilidad se presentan en el estándar para este componente en el Cuadro 12, Anexo 1.

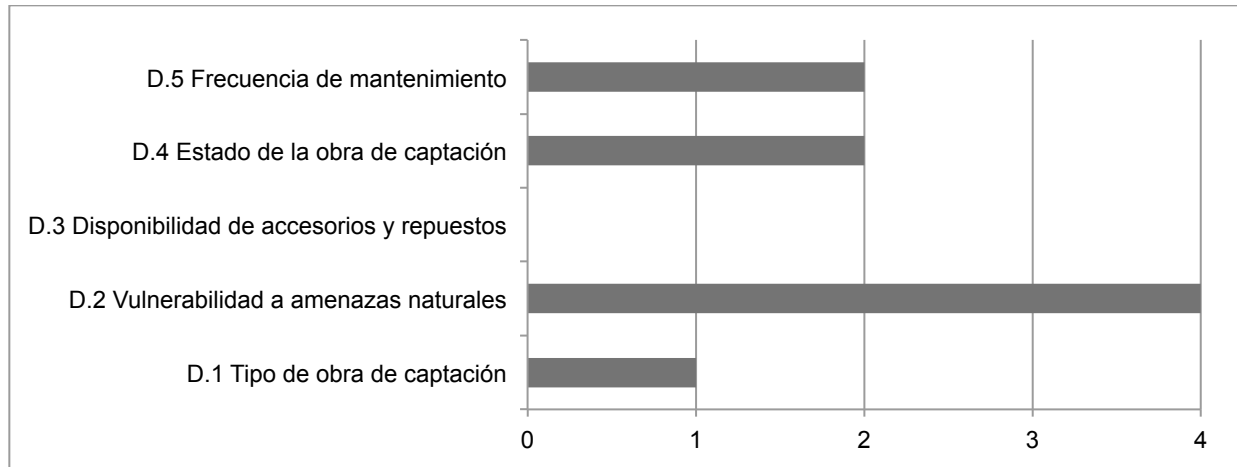


Figura 11. Gráfico de vulnerabilidad del componente Toma de agua y obra de captación.

A continuación se describen y discuten los diferentes indicadores que caracterizan la vulnerabilidad de este componente:

### **Tipo de obra de captación**

Por medio de observación propia, se determinó que en el sistema de abastecimiento Las Ciénegas existen dos tipos de obra de captación, los pozos artesanales y las cajas de captación de los nacimientos. Existen un total de 11 pozos artesanales y un total de 5 nacimientos de agua. En el Anexo 5, Cuadro 19 y 20, se presenta una síntesis de las fuentes de abastecimiento de agua potable y su ubicación en un mapa en la Figura 35.

El sistema de pozos de Las Ciénegas está compuesto de los siguientes elementos:

- acuífero;
- tubería de revestimiento y tamiz del pozo;
- bomba y motor;

- suministro de energía;
- equipo y controles eléctricos;
- tuberías de conexión, válvulas y accesorios, y
- estructura de la caseta del pozo. (AWWA, 1984).

El sistema de nacimientos de agua de Las Ciénegas está compuesto de los siguientes elementos:

- corriente subterránea;
- caja de captación;
- tubería de captación;
- válvulas;
- tapadera de protección.

En el Anexo 3, en la Figura 26 se puede observar la estructura interna y externa de un pozo en Ciénega I y en Ciénega II, y en la Figura 27 la de un nacimiento en el sistema Ciénega I y en Ciénega II. En conformidad a como lo establece la metodología, se asignó para este indicador, un valor de 1 de índice de vulnerabilidad.

## **Vulnerabilidad a amenazas naturales**

### **Pozos artesanales**

En caso de un terremoto, entre los riesgos más importantes están:

- La geohidrología de los acuíferos puede cambiar la capacidad de producción de los pozos a causa de un movimiento sísmico. Los acuíferos poco profundos parecen estar más afectados que los acuíferos más profundos.
- Los acuíferos pueden ser contaminados por aguas negras no tratadas provenientes del alcantarillado cercano, por efluentes de tanques sépticos o

materiales peligrosos que llegan al acuífero a través de las capas permeables o por una tubería de revestimiento no sellada del pozo.

- Hundimiento del suelo alrededor del pozo, con daños de leves a graves (OPS/OMS, 1998), lo cual haría extenderse el encamisado del pozo por sobre el nivel del suelo. (Corzo, 2014).
- 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). (OPS/OMS, 1998).
- Las tuberías de revestimiento y las bombas expuestas a la propagación de la onda sísmica se moverán con los suelos que se encuentren alrededor del pozo. Este movimiento puede causar la rotura o desconexión de bombas, motores y líneas de descarga que no tengan acoplamientos flexibles. Las tuberías de conexión pueden romperse. (AWWA, 1984).
- La tubería de revestimiento, la tubería de descarga de la bomba y el eje de transmisión se pueden doblar, aplastar o romper debido al desplazamiento del terreno o la vibración. Si la tubería de revestimiento se dobla, será imposible retirar la bomba, sea el tipo que sea. (AWWA, 1984).
- Es importante que el tamiz del pozo este en óptimas condiciones, ya que luego de un sismo, se puede empezar a bombear arena, lo cual dañaría la tubería o podría quemar el motor. (Corzo, 2014).

### **Nacimientos de agua**

En caso de un terremoto, entre los riesgos más importantes están:

- Contaminación de las fuentes de agua potable superficiales, ya sea por presencia de animales muertos, vaciamiento de petróleo, productos industriales o tóxicos en las aguas, causados por el sismo.

- Variación (disminución) del caudal en captaciones subterráneas o superficiales.
- Cambio del sitio de salida del agua en manantiales. (OPS/OMS, 1998).

En base a esta investigación, y a la alta sismisidad del área (Ver Figura 34, Anexo 4), se determinó conforme a la metodología y de acuerdo con los lineamientos descritos para este indicador un valor de 4 de índice de vulnerabilidad.

### **Disponibilidad de accesorios y repuestos**

En la entrevista realizada, el Supervisor de Aguas del Sector indicó que sí se tiene disponibilidad de todos los accesorios (tubos de rebalse, tubo de limpieza con tapón, válvulas de control, desarenador, etc.) en buen estado, y que la cantidad de repuestos es suficiente para los requerimientos típicos. Como se indicó anteriormente, en cuanto a la disponibilidad de la gestión administrativa a herramientas, materiales y equipo, se tiene la facilidad de conseguir cualquier accesorio o repuesto de la toma de agua y obra de captación en las cercanías circundantes para suplir la necesidad de operación del sistema. En base a esto, se determinó para este indicador un valor de 0 de índice de vulnerabilidad, según como lo establece la metodología.

### **Estado de la obra de captación**

El estado de la toma de agua y obra de captación se obtuvo como regular, con algunos problemas. Los materiales de construcción tanto de los pozos como las cajas de captación de los nacimientos son sólidos, de muy buena calidad, con presencia de fugas poco frecuente, pero con ninguna protección a deslizamientos. Se determinó mediante observación propia, que uno de los nacimientos ubicados en Ciénega I, se encuentra asolvado por deslizamientos que ocurrieron en la época de invierno.

En base a esto, y conforme a lo establece la metodología, se asignó un valor de 2 de índice de vulnerabilidad para este indicador. Sin embargo, este valor no refleja la vulnerabilidad real de este componente debido a la alta sismicidad del área (ver Figura 34, Anexo 4) y la nula protección a daños.

### **Frecuencia de mantenimiento**

De acuerdo a la entrevista realizada al Coordinador de Mantenimiento, se determinó que la frecuencia del mantenimiento a los pozos y nacimientos es cada 3-4 meses. De acuerdo a la metodología, el mantenimiento debiera darse con una frecuencia como mínimo mensual, y considerando el estado de la obra de captación, la cual se tiene como regular. En base a esto y conforme a la metodología, se determinó para este indicador un valor de 2 de índice de vulnerabilidad.

## **5.2.1.e Componente E: Tanque de almacenamiento**

### **Vulnerabilidad**

Como se observa en la Figura 12, el componente Tanque de almacenamiento evalúa siete indicadores de los cuales el indicador “Capacidad de almacenamiento”, “Mantenimiento”, “Vulnerabilidad a amenazas naturales” y “Medidas de mitigación y prevención” muestran una mayor vulnerabilidad por su valor de 4 en la escala de evaluación de la vulnerabilidad por componente del sistema descrita en la metodología (Cuadro 1). El indicador “Tenencia de la tierra” presenta una vulnerabilidad media con valor de 2 en la escala. Los resultados de vulnerabilidad se presentan en el estándar para este componente en el Cuadro 13, Anexo 1.



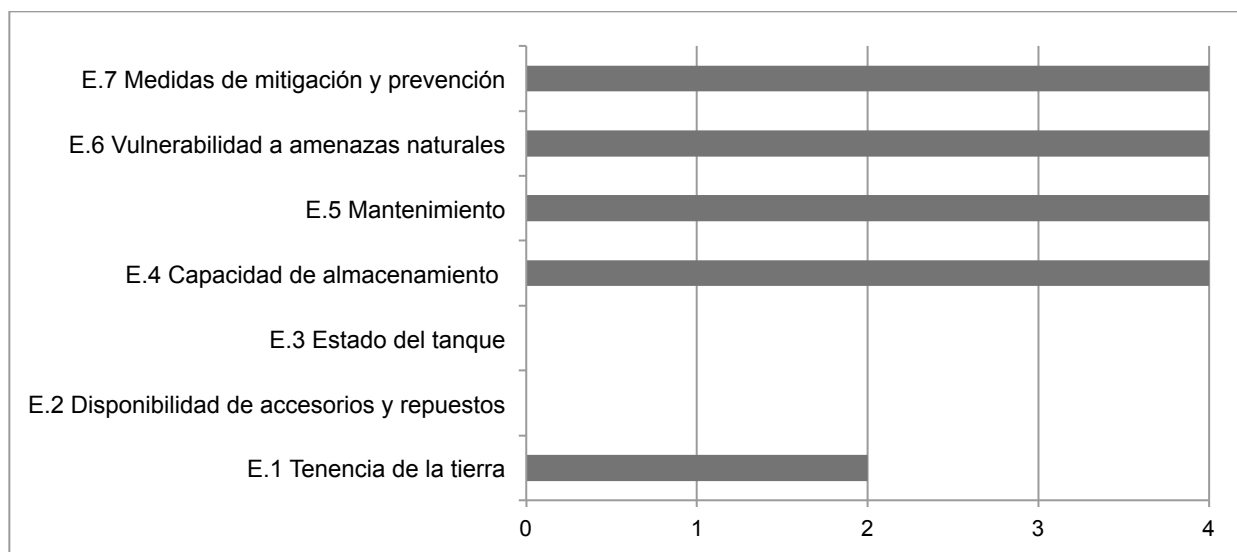


Figura 12. Gráfico de vulnerabilidad del componente Tanque de almacenamiento.

A continuación se describen y discuten los diferentes indicadores que caracterizan la vulnerabilidad de este componente:

### **Tenencia de la tierra**

En la entrevista realizada al Jefe de Ordenamiento Territorial, se determinó que el tanque de almacenamiento se encuentra ubicado en el terreno en donde se ubica el sistema Ciénega I, el cual es de propiedad municipal y que corresponde a los usuarios. En base a esto, se determinó conforme a la metodología un valor de 2 de índice de vulnerabilidad para este indicador.

### **Disponibilidad de accesorios y repuestos**

El Supervisor de Aguas del Sector indicó en la entrevista realizada que sí se tiene disponibilidad de todos los accesorios (válvulas de aire, válvulas de descarga, cajas rompe-compresión, etc.) en buen estado y la cantidad de repuestos es suficiente para

los requerimientos típicos. Como se indicó anteriormente, en cuanto a la disponibilidad de la gestión administrativa a herramientas, materiales y equipo, se tiene la facilidad de conseguir cualquier accesorio o repuesto del tanque de almacenamiento en las cercanías circundantes para suplir la necesidad de operación del sistema. En base a esto, se determinó para este indicador un valor de 0 de índice de vulnerabilidad, según como lo establece la metodología.

### **Estado del tanque**

Por medio de observación propia y de acuerdo con el Coordinador de Mantenimiento, se determinó que el estado del tanque es Muy bueno. No presenta ningún problema, el material de construcción del tanque es de block de buena calidad, pero sin ninuna protección a daños. Se puede observar en la Figura 28, Anexo 3, una imagen del tanque de almacenamiento ubicado en Ciénega I. En base a esto, se determinó para este indicador un valor de 0 de índice de vulnerabilidad, conforme lo establece la metodología. Sin embargo, este valor no refleja la vulnerabilidad real de este componente debido a la alta sismisidad del área y la nula protección a daños.

### **Capacidad de almacenamiento**

De acuerdo a como lo indicó el Coordinador de Mantenimiento en la entrevista realizada, las dimensiones del tanque de almacenamiento son de 15 x 15 x 3.50 m con una capacidad de 787.50 m<sup>3</sup>, lo cual equivale a una capacidad de 173, 200 galones por minuto. Conforme a la metodología, el índice de vulnerabilidad que corresponde a esta capacidad es de valor 4, el cual establece en horas para vaciarse, de menos de 15 horas.

## **Mantenimiento**

El Coordinador de Mantenimiento indicó en la entrevista que se realizó, que se le hace limpieza al tanque de almacenamiento una vez al año al inicio del verano porque es cuando el agua viene más limpia de las fuentes de abastecimiento.

De acuerdo a la metodología, el índice de vulnerabilidad que corresponde para este indicador es de 4, ya que el mantenimiento es muy poco frecuente (mayor de cada 12 semanas).

## **Vulnerabilidad a amenazas naturales**

En el caso de los estanques de agua, la masa determinada por el volumen de agua almacenado puede ser muy grande y, por eso, serán también grandes las solicitudes producidas por el sismo. Los estanques semienterrados, construidos usualmente de mampostería de piedra, de hormigón, hormigón 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 cañerías. 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. (OPS/OMS, 1998).

La evaluación sísmica de los tanques debe tomar en cuenta las consecuencias de las rupturas o fallas. El funcionamiento adecuado de los tanques es un aspecto importante

porque el agua almacenada en estos es crucial para emergencias como por ejemplo las tareas de extinción de incendios. (Corzo, 2014).

En base a esto, y a la alta sismisidad del área (Ver Figura 34, Anexo 4), se determinó conforme a la metodología un valor de 4 de índice de vulnerabilidad para este indicador.

### **Medidas de mitigación y prevención**

En la entrevista realizada al Coordinador de Mantenimiento, se determinó que no se tiene un plan de medidas de mitigación y prevención para este componente. En base a esto, se le asignó a este indicador un valor de 4 de índice de vulnerabilidad.

## **5.2.1.f Componente F: Línea de conducción**

### **Vulnerabilidad**

Como se observa en la Figura 13, el componente Línea de conducción evalúa cinco indicadores de los cuales el indicador “Vulnerabilidad a amenazas naturales” muestra la mas alta vulnerabilidad por su valor de 4 en la escala de evaluación de la vulnerabilidad por componente del sistema descrita en la metodología (Cuadro 1). El indicador “Mantenimiento”, muestra una vulnerabilidad alta con valor de 3 en la escala, y el indicador “Estado de la tubería” muestra una vulnerabilidad media por su valor de 2 en la escala. Los resultados de vulnerabilidad se presentan en el estándar para este componente en el Cuadro 14, Anexo 1.

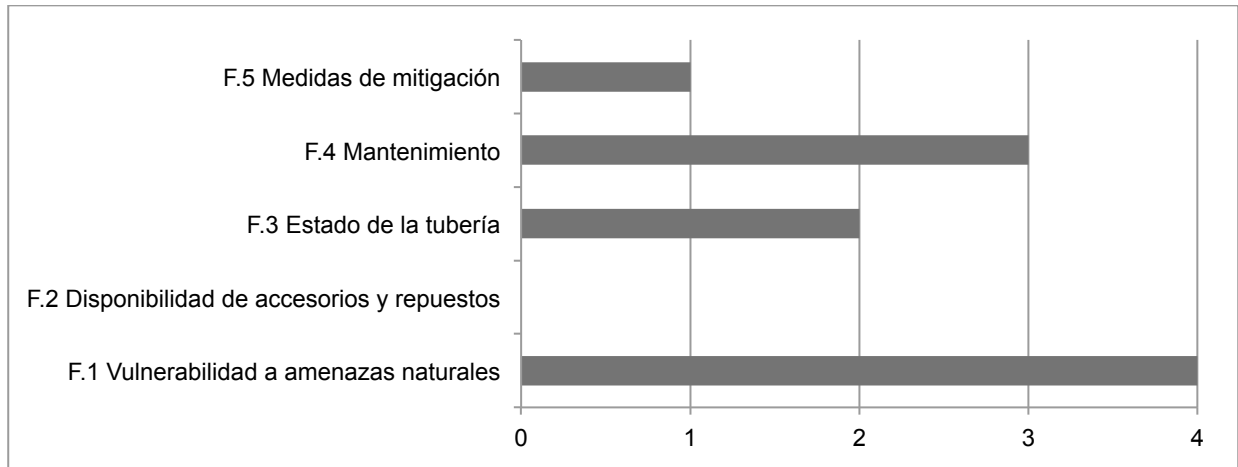


Figura 13. Gráfico de vulnerabilidad del componente Línea de conducción.

A continuación se describen y discuten los diferentes indicadores que caracterizan la vulnerabilidad de este componente:

### **Vulnerabilidad a amenazas naturales**

Las roturas en estas tuberías pueden implicar afloramientos de aguas servidas a la superficie del terreno lo que puede ser indicativo de una zona de daños. Sin embargo, debido a que estas tuberías funcionan por gravedad, sin presión, puede haber menos fugas visibles que en las cañerías de agua potable, en las que la presión puede facilitar que se evidencien. (Corzo, 2014).

Las tuberías enterradas son vulnerables cuando están en contacto con estructuras si ocurre un asentamiento diferencial. Esto representa problema cuando las estructuras están soportadas por pilotes y las tuberías se encuentran enterradas directamente. (Corzo, 2014).

Los mecanismos de las fallas que afectan a las tuberías pueden incluir la propagación de ondas, la deformación permanente del suelo (DPS) y la ruptura por fallas. Las tasas de fallas de las tuberías en áreas donde no se produce licuefacción pero sí hay fallas del terreno (IMM de VIII o menos) (es decir, pequeños deslizamientos, grietas y terreno húmedo) equivalen aproximadamente a ocho veces las fallas debido a la propagación de ondas. Las tasas de fallas de las tuberías en áreas donde sí ocurre la licuefacción son de aproximadamente 12 veces las tasas de falla por propagación de ondas.

La vulnerabilidad sísmica de las tuberías se basa en las siguientes consideraciones:

- Se prefiere la tubería dúctil de pared gruesa sobre la tubería frágil de pared delgada.
- Las tuberías de hierro dúctil, de acero y de polietileno son muy dúctiles y se deformarán considerablemente antes de romperse.
- El policloruro de vinilo (PVC) es moderadamente dúctil.
- La tubería cilíndrica de asbesto-cemento y de concreto es algo dúctil.
- La tubería de acero revestida o forrada con mortero tiene un cilindro de acero que es dúctil.
- La tubería de hierro dúctil a menudo tiene un revestimiento de mortero. Cuando la tubería ceda, el mortero se cuarteará y se astillará. Esto deteriorará el revestimiento anticorrosivo y hará que el acero se empiece a corroer. Los problemas de corrosión pueden representar un problema en el futuro.
- Los sistemas de revestimiento o recubrimiento de tubos deberán brindar protección continua contra la corrosión. (AWWA, 1984).

En base a esto, y a la alta sismisidad del área (Ver Figura 34, Anexo 4), se determinó conforme a la metodología un valor de 4 de índice de vulnerabilidad para este indicador.

## **Disponibilidad de accesorios y repuestos**

El Supervisor de Aguas del Sector indicó en la entrevista realizada que sí se tiene disponibilidad de todos los accesorios para la línea de conducción (válvulas de aire, válvulas de descarga, cajas rompe-compresión, etc.) en buen estado y la cantidad de repuestos es suficiente para los requerimientos típicos. Como se indicó anteriormente, en cuanto a la disponibilidad de la gestión administrativa a herramientas, materiales y equipo, se tiene la facilidad de conseguir cualquier accesorio o repuesto en las cercanías circundantes para suplir la necesidad de operación del sistema. En base a esto, se determinó para este indicador un valor de 0 de índice de vulnerabilidad, según como lo establece la metodología.

## **Estado de la tubería**

En la entrevista realizada al Supervisor de Aguas del Sector se determinó que en el sistema de abastecimiento de las Ciénegas, se tiene un sistema combinado de la línea de conducción con la red de distribución, ya que la línea de conducción la cual es la tubería transporta el agua desde los pozos y nacimientos al tanque de almacenamiento de diámetro de 6 pulgadas, sigue su curso en línea recta incluso después del tanque de almacenamiento. La línea de conducción está enterrada en su mayor parte y es de hierro galvanizado (HG) en unas partes y de Policloruro de vinilo (PVC) en otras. El PVC ha ido sustituyendo al HG antiguo cuyo deterioro ha ido en aumento. En el Anexo 3, Figura 29, se muestra una foto de la línea de conducción, ubicada en Ciénega I.

En base a esto, y conforme a la metodología se concluyó que el estado de la línea de conducción es regular, pues la tubería se encuentra expuesta en algunos tramos y la presencia de fugas de la tubería enterrada es poco frecuente. Se determinó para este indicador un valor de 2 de índice de vulnerabilidad.

## **Mantenimiento**

El Coordinador de Mantenimiento indicó en la entrevista que se realizó, que el mantenimiento de la línea de conducción es muy poco frecuente y consiste en un recorrido a la línea de conducción cada tres meses. De acuerdo a la metodología, el índice de vulnerabilidad que corresponde para este indicador es de 3, ya que el mantenimiento es poco frecuente (cada 5 a 12 semanas), principalmente de tipo correctivo, aunque con personal capacitado.

## **Medidas de mitigación y prevención**

De acuerdo a como lo indicó el Coordinador de Mantenimiento en la entrevista realizada, como medidas de mitigación, se realizan recorridos para eliminar posibles ramas de árboles que puedan causar daños a la línea. En caso de daños a la tubería se tiene disponibilidad a todos los accesorios (válvulas de aire, válvulas de descarga, cajas rompe-presión, etc.) en buen estado y la cantidad de repuestos es suficiente para los requerimientos típicos. En cuanto a la amenaza de daños causados por sismos no se tienen medidas de mitigación, más que la transición de HG a PVC el cual es más flexible y resistente a sismos. Conforme a lo establece la metodología, se le asignó a este indicador el índice de vulnerabilidad de valor 1, ya que sí se están ejecutando actividades de mitigación y prevención.



### 5.2.1.g Componente G: Red de distribución

#### Vulnerabilidad

Como se observa en la Figura 14, el componente Red de distribución evalúa seis indicadores de los cuales el indicador “Continuidad del servicio” y “Vulnerabilidad a amenazas naturales” muestran una mayor vulnerabilidad por su valor de 4 en la escala de evaluación de la vulnerabilidad por componente del sistema descrita en la metodología (Cuadro 1). Los indicadores “Estado de la tubería” y “Mantenimiento”, muestran una vulnerabilidad media por su valor de 2 en la escala. Los resultados de vulnerabilidad se presentan en el estándar para este componente en el Cuadro 15, Anexo 1.

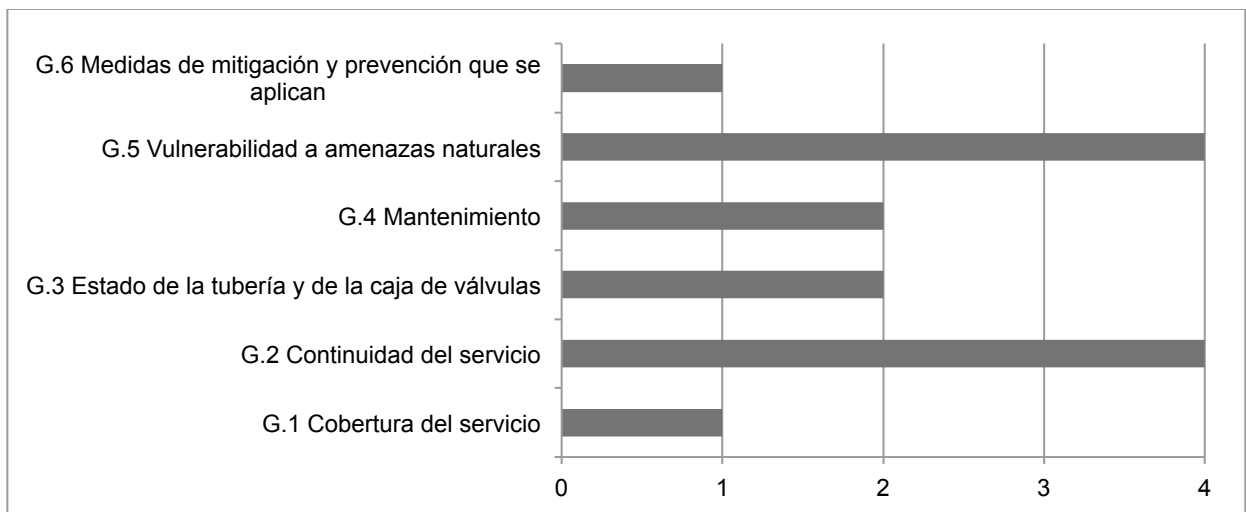


Figura 14. Gráfico de vulnerabilidad del componente Red de distribución.

A continuación se describen y discuten los diferentes indicadores que caracterizan la vulnerabilidad de este componente:

## **Cobertura del servicio**

Según lo indicó el Coordinador de Mantenimiento de la Oficina de Aguas y Drenajes en la entrevista realizada, la actual cobertura de servicio es de un 90 a 95%, esto se debe a que, ya sea, la gente no lo ha solicitado o porque la municipalidad ha determinado que la inversión necesaria para colocar tuberías en donde no hay es muy alta. No suelen considerar invertir cuando son menos de 10 casas o en lugares cuya topografía no lo permite.

La cantidad asignada a cada usuario del sistema es de media paja de agua, lo que equivale a 30 metros cúbicos o 30,000 litros al mes y 4.8 toneles de agua para fines prácticos de distribución. Cabe señalar, que esta cantidad no se mide porque los usuarios no tienen contadores, lo cual propicia el desperdicio de agua y a esto anterior, se le suma el problema de conexiones ilícitas no detectadas al sistema.

En base a esto y a la metodología, se determinó un valor de 1 de índice de vulnerabilidad para este indicador. A continuación, se presenta en la Figura 15 un mapa de la ubicación de la red de distribución georeferenciada de la zona 1 de Mixco:



Figura 15. Mapa de ubicación de la red de distribución de la zona 1 de Mixco.

## **Continuidad del servicio**

Según lo indicó el Coordinador de Mantenimiento de la Oficina de Aguas y Drenajes en la entrevista realizada, la continuidad del servicio es de entre 1 y 2 horas cada dos días. La forma de almacenamiento de agua de los usuarios es comúnmente en cisterna, o en ausencia de ella lo más común es el almacenamiento en toneles. Ahora bien, cuando no hay agua en los pozos se envían camiones cisterna en sustitución.

En base a esto se determinó un valor de 4 de acuerdo con los lineamientos descritos para este indicador sobre el índice de vulnerabilidad, el cual establece que existen interrupciones muy frecuentes (cada tres días o menos y de más de 5 horas cada vez).

## **Estado de la tubería y de la caja de válvulas**

El Supervisor de Aguas del Sector indicó en la entrevista que se realizó que el material de la tubería de la red de distribución es de PVC de diámetro de 6 pulgadas con 160 y 250 PSI, luego se reduce a 4 y 3 pulgadas y la mayoría de ramales de la red es de 2 pulgadas, los cuales se reducen a tubos de ½ pulgada en colonias y residenciales pequeños. La distribución de agua por la red se maneja por llaves de paso y válvulas de presión, en caso de que la que la válvula pueda ser protegida por un tubo, se pone dentro de un tubo de 8 pulgadas dependiendo del tamaño de la válvula. Es importante controlar la presión en la válvula de compuerta, por lo que se restringe la llave, pues cuando hay mucha presión se producen daños en la tubería y ayuda a prevenir fugas en la red.

Se determinó que la tubería y de la caja de válvulas se encuentra en estado regular, expuesta en algunos tramos pero enterrada en su mayor parte, con presencia de fugas poco frecuentes y que las cajas de válvulas se encuentran en estado regular o bueno y funcionan entre bien y muy bien. Solo se construyen cajas de agua en donde haya

espacio, se evita construirlas en carreteras. En base a esto, se determinó un valor de 2 de acuerdo a los lineamientos descritos para este indicador sobre el índice de vulnerabilidad en la metodología.

### **Mantenimiento**

El Coordinador de Mantenimiento de la Oficina de Aguas y Drenajes indicó en la entrevista que se realizó que cada mes se hace un recorrido a la red de distribución para ver fugas. En caso de detectar alguna fuga, se tienen todos los accesorios y repuestos en buen estado a disposición. El cambio de equipo de succión se hace en un promedio de cada 2 años.

En base a esto, se determinó un valor de 2 de índice de vulnerabilidad, el cual establece un mantenimiento poco frecuente (cada 3 a 4 semanas), de tipo preventivo y/o correctivo, con personal con capacitación mínima a regular.

### **Vulnerabilidad a amenazas naturales**

Las tasas de falla de las tuberías (en reparaciones por unidad de longitud) son más altas en áreas que tienen fallas en el terreno o licuefacción. Debido a la ubicación del sistema en un área altamente sísmica (ver Figura 34, Anexo 4), la amenaza natural más contingente es la de derrumbes por temblores.

La vulnerabilidad a amenazas naturales de estas obras presentan diferencias significativas con respecto a 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. (OPS/OMS, 1998).

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 cañerías, 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/o en sus uniones rígidas. Esto implica que se puede esperar menores daños en las cañerías relativamente más flexibles (de PVC o acero soldado, por ejemplo) y mayores en las cañerías más rígidas de, por ejemplo, mortero comprimido, hormigón, hierro fundido y cemento asbesto, especialmente si tienen uniones rígidas. (OPS/OMS, 1998).

Los accesorios de los tubos, tales como válvulas de descarga de aire, responden como péndulos invertidos, que se rompen cuando los movimientos del terreno se amplifican. Deben tener un soporte lateral. (Corzo, 2014).

Si se rompen simultáneamente las cañerías 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 cañerías 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 cañerías 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 capa freática. Por su parte, esa capa 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. (OPS/OMS, 1998).

En base a esta investigación, y a la alta sismicidad del área (Ver Figura 34, Anexo 4), se determinó conforme a la metodología y de acuerdo con los lineamientos descritos para este indicador un valor de 4 de índice de vulnerabilidad.

### **Medidas de mitigación y prevención que se aplican**

De acuerdo al Coordinador de Mantenimiento en la entrevista realizada, actualmente se están ejecutando actividades de mitigación y prevención como ir cambiando la tubería de HG a PVC en la medida que es necesario ya que el presupuesto de la organización lo permite. Se determinó para este indicador un valor de 1 de acuerdo a los lineamientos descritos sobre índice de vulnerabilidad.

#### **5.2.1.h Componente H: Tratamiento del agua**

### **Vulnerabilidad**

Como se observa en la Figura 16, el componente Tratamiento del agua evalúa tres indicadores de los cuales los indicadores “Tratamiento que necesita y se aplica al agua” y “Porcentaje de la población que consume agua tratada son los más vulnerables, con un valor de 1 en la escala de de evaluación de la vulnerabilidad por componente del sistema descrita en la metodología (Cuadro 1). Los resultados de vulnerabilidad se presentan en el estándar para este componente en el Cuadro 16, Anexo 1.

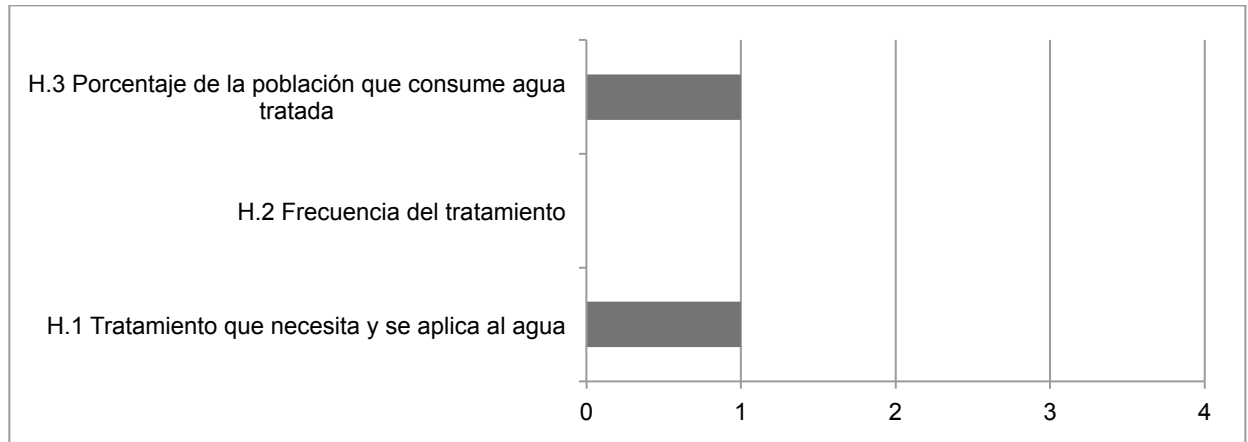


Figura 16. Gráfico de vulnerabilidad del componente Tratamiento del agua.

A continuación se describen y discuten los diferentes indicadores que caracterizan la vulnerabilidad de este componente:

### **Tratamiento que necesita y se aplica al agua**

De acuerdo al Jefe de tratamiento de Aguas en la entrevista realizada, los análisis físico-químicos y bacteriológicos se realizan en el laboratorio del Instituto Nacional de Fomento Municipal –INFOM-, debido a la confiabilidad y legitimidad que esta institución pública le da a los resultados a través de certificados de calidad de agua. El INFOM ofrece apoyo técnico en la evaluación del sistema de tratamiento de agua y sus servicios están sujetos a tarifas de la institución, las cuales son competitivas y además favorables a entidades estatales.

Para efectos de la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano, se establece como norma de referencia la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR



NTG 29001 “Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones”. (MSPAS, 2013a).

De acuerdo al artículo 13 del Acuerdo Ministerial 523-2013, la frecuencia con que el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social deberá efectuar la vigilancia por medio de la aplicación del “programa de análisis mínimo” recomendado por la norma en cada uno de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, es para sistemas urbanos que abastezcan a más de cien mil (100,000) habitantes, de al menos dos veces por mes. En la municipalidad de Mixco se hacen hasta 2 o 3 informes a la semana de Vigilancia y Control de Calidad de todos los pozos, en donde se evalúa la residualidad de cloro al inicio, al medio y al final del tratamiento, la temperatura y el pH, por lo que se cumple con el Acuerdo Ministerial 523-2013 y se hace más frecuente todavía.

En base a esto, se determinó un valor de 1 de índice de vulnerabilidad para este indicador, el cual establece la metodología si el agua requiere solamente cloración y existe clorador en buen estado y se aplica el tratamiento.

### **Frecuencia del tratamiento**

En la entrevista realizada al Jefe de Tratamiento de Aguas, se determinó que el sistema de cloración para el sistema de abastecimiento de agua potable en Las Ciénegas consiste en la aplicación de hipoclorito de sodio dosificado a un promedio de 3-4 galones al día, dependiendo de la calidad y la cantidad de agua que se colecte mediante una bomba de diafragma. Los puntos de aplicación de la solución varían de un pozo a otro. En el Anexo 3, Figura 30, se muestra la foto del dosificador de cloro utilizado para el sistema Las Ciénegas.

En base a esto, se determinó para este indicador un valor de 0 de índice de vulnerabilidad, el cual establece que la frecuencia del tratamiento se realiza cada vez que se requiere, o al menos en el 95%, según las recomendaciones.

### **Porcentaje de la población que consume agua tratada**

En la entrevista realizada al Jefe de Tratamiento de Aguas, se determinó que el porcentaje de la población que consume agua tratada es el mismo que el de la cobertura del servicio (90-95% de la población), ya que toda el agua administrada es tratada. Se le asignó a este indicador un valor de 1 de índice de vulnerabilidad, conforme a lo establece la metodología.

#### **5.2.1.i Componente I: Manejo de agua post-uso**

### **Vulnerabilidad**

Para el componente Manejo de agua post-uso, la evaluación de la matriz obtuvo la máxima vulnerabilidad en los cinco indicadores evaluados como se observa en la Figura 17. Todos los indicadores, “Cobertura del servicio de alcantarillado”, “Tratamiento de aguas negras”, “Nivel de tratamiento de las aguas residuales”, “Sitio de descarga de las aguas negras” y “Capacitación a la población para manejo de las aguas residuales” obtuvieron un valor de 4 en la escala de de evaluación de la vulnerabilidad por componente del sistema descrita en la metodología (Cuadro 1). Los resultados de vulnerabilidad se presentan en el estándar para este componente en el Cuadro 17, Anexo 1.

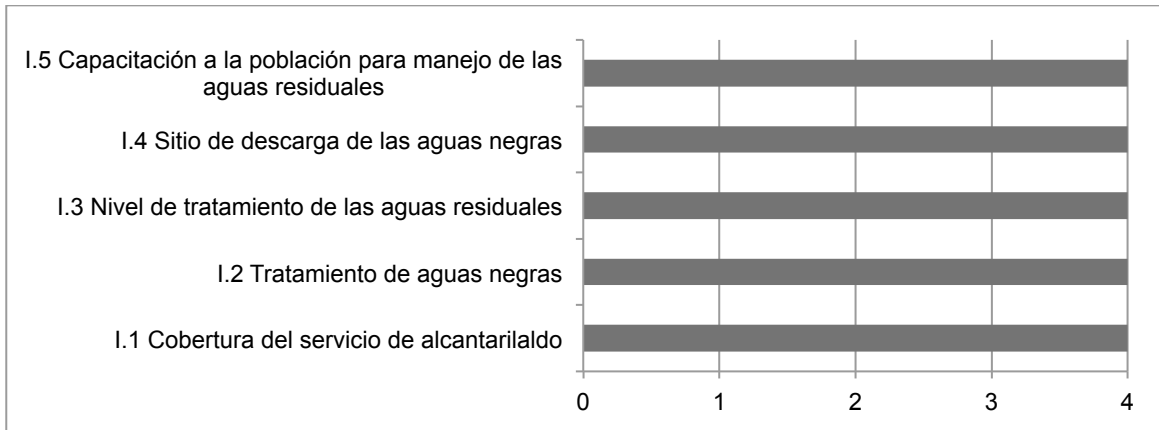


Figura 17. Gráfico de vulnerabilidad del componente Manejo de agua post-uso.

A continuación se describen y discuten los diferentes indicadores que caracterizan la vulnerabilidad de este componente:

#### **Cobertura del servicio de alcantarillado (% de la población con el servicio)**

En la entrevista realizada al Jefe de Tratamiento de Aguas, se estableció que en la aldea El Manzanillo, la conducción de aguas residuales empieza en el área habitable de la aldea y la mayoría de residenciales, la cual conduce a unos colectores ubicados más adelante en la red, los cuales conducen así mismo a la red de drenajes en la zona 1 de Mixco (ver Figura 15) con una cobertura del servicio de alcantarillado menor del 60%. De acuerdo con los lineamientos descritos sobre el índice de vulnerabilidad, se asignó un valor de 4 para este indicador.

#### **Tratamiento de aguas negras (% de aguas que son tratadas)**

El Jefe de Tratamiento de Aguas indicó en la entrevista realizada que no existe ningún tratamiento a las aguas negras por parte de la Oficina de Aguas y Drenajes, solamente

Fábrica La Luz le da tratamiento a las aguas negras que descarga al río Pansalic. El porcentaje de aguas que son tratadas es menor del 60%.

En el Anexo 3, Figura 31, 32 y 33, se presentan unas fotos de los informes de resultados bacteriológicos y fisicoquímicos del agua muestreada del grifo de la pila pública de la Fábrica la Luz, la cual es la única industria que cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales en la zona 1 de Mixco y que sí cumple con las características microbiológicas y límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la norma COGUANOR NTG 29001 “Agua para consumo humano. Especificaciones”.

En base a esto, se determinó un valor de 4 de índice de vulnerabilidad para este indicador, según lo establece la metodología.

### **Nivel de tratamiento de las aguas residuales**

El Jefe de Tratamiento de Aguas indicó en la entrevista que se realizó que actualmente no se da ningún tratamiento a las aguas residuales. En base a esto y de acuerdo con los lineamientos descritos sobre el índice de vulnerabilidad, se asignó un valor de 4 para este indicador.

### **Sitio de descarga de las aguas negras**

Según como lo indicó el Jefe de Tratamiento de Aguas y en base a observación propia, se determinó que el sitio de descarga de las aguas negras residuales del sistema es el río Pansalic, en diferentes puntos de desembocadura con ningún nivel de tratamiento. En base a esto, se determinó un valor de 4 de índice de vulnerabilidad para este indicador, según lo establece la metodología.

## **Capacitación a la población para manejo de las aguas residuales**

El Jefe de Tratamiento de Aguas indicó en la entrevista realizada que algunos hogares tienen instaladas fosas sépticas y pozos de absorción, sin embargo no se da capacitación a la población para el manejo de las aguas residuales. En base a esto y de acuerdo con los lineamientos descritos sobre el índice de vulnerabilidad, se asignó un valor de 4 para este indicador.

### **5.2.2 Determinación de la vulnerabilidad global del sistema**

La evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable de la zona 1 de Mixco presentó una vulnerabilidad media de un 52.18%, el cual es un valor representativo para la vulnerabilidad global del sistema.

Esta evaluación fue contestada por el Supervisor de aguas del sector, por el Jefe de tratamiento de aguas y por el Coordinador de mantenimiento de aguas que diariamente laboran en la municipalidad del municipio de Mixco en cada uno de los componentes evaluados.

A continuación se presenta en la Figura 18, un gráfico del resultado de la vulnerabilidad global del Sistema, y en el Cuadro 10, el porcentaje de vulnerabilidad de cada componente:

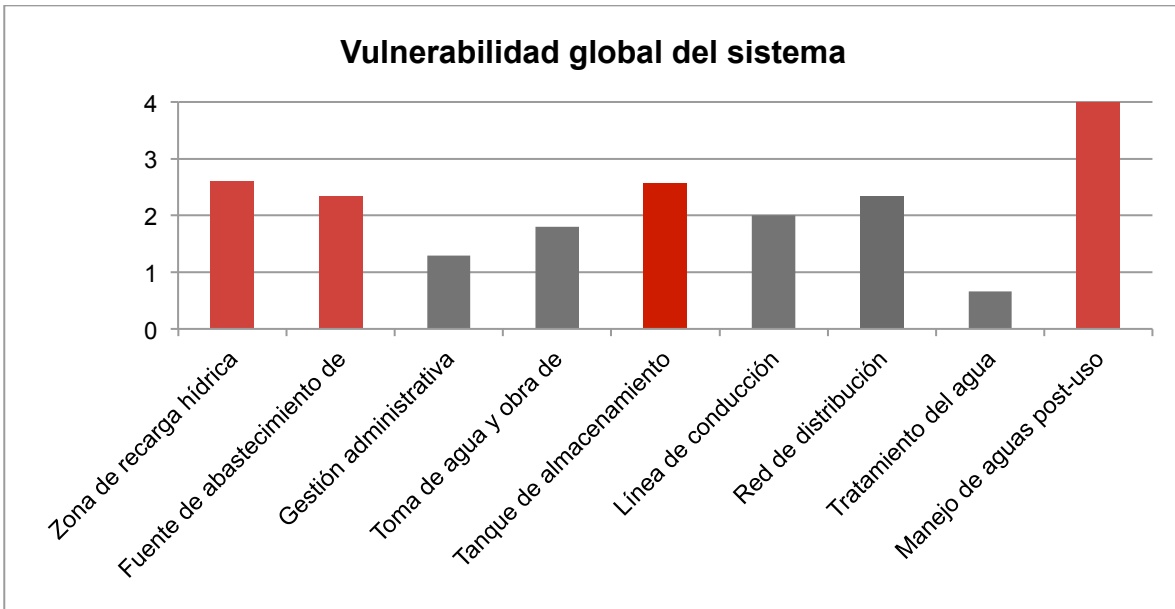


Figura 18. Gráfico de la vulnerabilidad global del sistema.

### Cálculo de la vulnerabilidad global

El cálculo de la vulnerabilidad global se realizó conforme a la metodología descrita en el Plan de trabajo de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 &19.58 / 9 = \\
 &2.18 * 100 = \\
 &218 / 4 = \\
 &\mathbf{52.18 = Vulnerabilidad media}
 \end{aligned}$$

## Análisis de los componentes

En el Cuadro 8 se puede observar que el componente con mayor vulnerabilidad, vulnerabilidad muy alta, fue el I (Manejo de aguas post-uso), dos componentes obtuvieron una caracterización alta, cuatro componentes obtuvieron la caracterización de vulnerabilidad media, un componente la de baja y otro la de muy baja vulnerabilidad.

Cuadro 8. Vulnerabilidad por componente.

Componente	Vulnerabilidad del componente (%)	Caracterización de la vulnerabilidad
A Zona de recarga hídrica	45	Media
B Fuente de abastecimiento de agua	58.33	Media
C Gestión administrativa	32	Baja
D Toma de agua y obra de captación	45	Media
E Tanque de almacenamiento	64.29	Alta
F Línea de conducción	50	Media
G Red de distribución	58.33	Media
H Tratamiento del agua	16.66	Muy Baja
I Manejo de aguas post-uso	100	Muy Alta
Total	52.18	Media

Fuente: Elaboración propia.

Desde una perspectiva de análisis de la vulnerabilidad a nivel de componentes e indicadores según la metodología, se obtuvo que la intervención de las autoridades responsables del sistema de abastecimiento de agua potable abastecido por las zonas de captación y regulación hidrológica del Área Protegida “Cordillera Alux” en el municipio de Mixco debe ser en primera instancia en el componente I (Manejo de aguas post-uso), ya que obtuvo una vulnerabilidad muy alta del 100%, debido a que no se tienen planes de manejo de aguas post-uso ni plantas de tratamiento de aguas servidas del sistema a nivel municipal ni privadas. En segunda instancia, el componente E (Tanque de almacenamiento), que obtuvo una vulnerabilidad alta, con 64.29% de

vulnerabilidad por su baja capacidad de almacenamiento, escaso mantenimiento, nulas medidas de mitigación y prevención a la alta vulnerabilidad a amenazas sísmicas del área. Y en tercera instancia los componentes que deben ser atendidos son el componente B (Fuente de abastecimiento de agua potable), el cual obtuvo una vulnerabilidad media, con un 58.33%, así como también el componente G (Red de distribución), el cual obtuvo la misma vulnerabilidad que el componente B.

Sin embargo, desde una perspectiva analítica a nivel de importancia de los componentes, se consideró que el componente A (Zona de recarga hídrica), el componente B (Fuente de abastecimiento de agua), el componente E: Tanque de almacenamiento, y el componente I (Manejo de aguas post-uso), por ser los componentes que alimentan desde el origen al sistema y que se ven intrínsecamente relacionados, son los componentes que a largo plazo se ven más amenazados de intensificar la vulnerabilidad global del sistema por lo que se observan resaltados en color rojo en la Figura 18.

### **Análisis de los indicadores**

Se realizó el análisis de la vulnerabilidad desde una perspectiva más específica, para poder definir acciones puntuales que influyan en la disminución de la vulnerabilidad de cada uno de los indicadores de los componentes y por ende, del sistema. Se determinó que un total de 49 indicadores, 18 indicadores tuvieron la valoración muy alta (cuatro), 3 indicadores obtuvieron una valoración alta (tres), 12 indicadores obtuvieron una valoración media (dos), 9 indicadores obtuvieron una valoración baja (uno) y 14 indicadores la valoración muy baja (cero) (Figura 19).



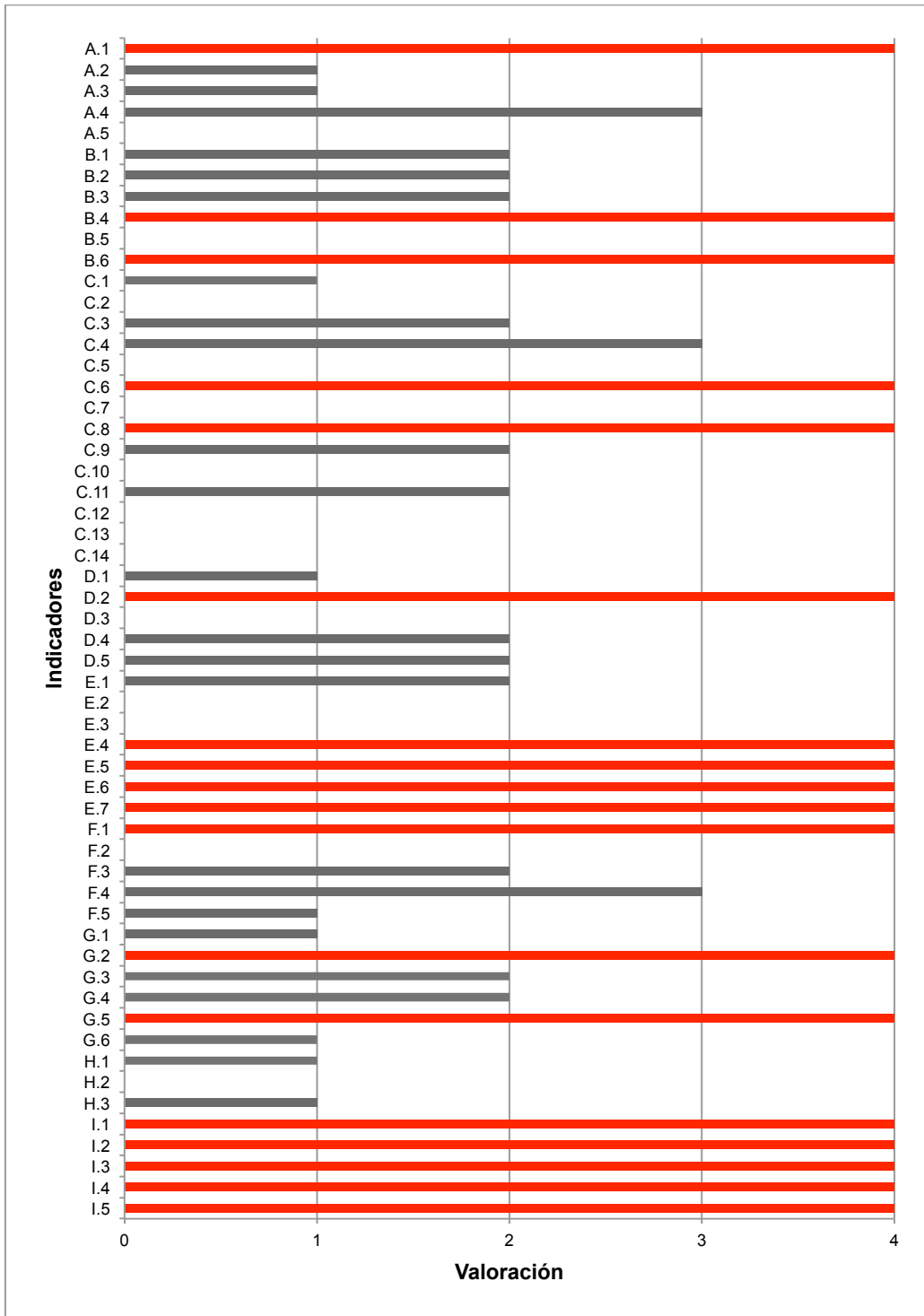


Figura 19. Valoración de los indicadores del sistema Las Ciénegas.

### **5.3 Crítica a la metodología utilizada para la determinación de la vulnerabilidad**

De acuerdo al análisis realizado, se considera que la metodología no es indicativa de la vulnerabilidad real global del sistema, pues se debiera valorar con una ponderización y priorización, la importancia de cada uno de los indicadores, respecto al estado actual del sistema de abastecimiento de agua potable evaluado, siendo más importantes aquellos que tienden a largo plazo intensificar la vulnerabilidad global del sistema, de forma que este índice refleje en los resultados una valoración que toma en cuenta los indicativos de vulnerabilidad más relevantes para la toma de decisiones, implementación de medidas de mitigación y adecuada gestión del agua potable.

### **5.4 Medidas de mitigación para el sistema de abastecimiento de agua potable**

#### **5.4.1 Priorización de las medidas de mitigación para el sistema de abastecimiento de agua potable**

A continuación se presentan las medidas de mitigación prioritarias de cada uno de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable Las Ciénegas:

#### **Medidas de mitigación para el componente A: Zona de recarga hídrica**

- Como medida ante la tendencia a la urbanización y al avance de la frontera agrícola en la zona de recarga hídrica, se recomienda de acuerdo a IARNA-URL (2013), crear normativas que fomenten la generalización de prácticas que favorezcan la infiltración. A nivel de las áreas urbanas se deben establecer normas a las empresas de lotificación y construcción, para que integren

elementos de hidráulica de pequeña escala en sus proyectos, como por ejemplo zanjas de infiltración en las partes de mayor pendiente que permitan incrementar la recarga y limitar la escorrentía en las zonas urbanizadas, así mismo, infraestructura favorable para sistemas de captación de agua de lluvia, ya que el exceso de lluvia actualmente provoca daños a la infraestructura gris y aumenta las posibilidades de derrumbes, inundaciones y otros daños asociados a la época lluviosa. A nivel agrícola, se recomienda el aumento de áreas ocupadas por sistemas agroforestales, cultivos permanentes de amplia cobertura del suelo y plantaciones forestales a partir de terrenos agropecuarios de uso intensivo y de suelos cultivados sin obras de conservación de suelos y aguas.

#### **Medidas de mitigación para el componente B: Fuente de abastecimiento de agua potable**

- Se recomienda el trabajo de recuperación y mantenimiento con un cercado en buenas condiciones y otras obras de protección a los nacimientos asolvados por derrumbes para el aumento de la oferta de agua del sistema Las Ciénegas.

#### **Medidas de mitigación para el componente C: Gestión administrativa**

- Se recomienda la creación de un reglamento interno adecuado a la realidad de la gestión de la administración del agua potable de la Oficina de Aguas y Drenajes de la Municipalidad de Mixco.

### **Medidas de mitigación para el componente D: Toma de agua y obra de captación**

- Se recomienda como primera instancia, establecer nuevas fuentes de agua alternativas adicionales a las tomas de agua y obras de captación actuales, como la captación de agua de lluvia para el abastecimiento de agua potable a la población de la zona 1 de Mixco.

### **Medidas de mitigación para el componente E: Tanque de almacenamiento**

- Es necesario que el tanque de almacenamiento cuente con los accesorios necesarios para que el agua almacenada sea de buena calidad, además, se debe contar con un tanque de tamaño suficiente para suplir la demanda de agua de la población, tanto en cantidad como calidad, por lo tanto se recomienda la construcción de un segundo tanque igual al existente para asegurar una suficiente capacidad de almacenamiento.

### **Medidas de mitigación para el componente F: Línea de conducción**

- Para líneas de conducción, siguiendo las recomendaciones realizadas por AWWA (1984), se recomienda implementar un programa integral de reforzamiento o reemplazo (como parte de un plan integral), cuyas prioridades se basen en la amenaza sísmica, sistema de tuberías y criticidad.

### **Medidas de mitigación para el componente G: Red de distribución**

- De acuerdo con OPS/CEPIS (2005), se determinó que es necesario informar a la población que mientras se realicen los procesos de mantenimiento de la red de

distribución no se dispondrá del servicio. Para tal fin se procederá a cerrar las válvulas de paso de las conexiones domiciliarias con el fin de evitar el desperdicio y asegurar la continuidad del servicio.

### **Medidas de mitigación para el componente H: Tratamiento del agua**

- Se recomienda que se proceda a la Certificación de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Proyectos de Abastecimiento, en cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 178-2009, en todos los pozos del sistema de abastecimiento de agua potable Las Ciénegas.

### **Medidas de mitigación para el componente I: Manejo de aguas post-uso**

El componente I (Manejo de aguas post uso) debe ser atendido con el mayor carácter de urgencia ya que el manejo de aguas post-uso en el sistema es nulo. En este caso, las medidas de mitigación de la vulnerabilidad son más que recomendaciones de contingencia, un Plan de manejo de aguas residuales completo.

A continuación se presentan las medidas de mitigación referentes a cada uno de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable Las Ciénegas:

## 5.4.2 Medidas de mitigación por componente del sistema de abastecimiento de agua potable

### Medidas de mitigación para el componente A: Zona de recarga hídrica

Según el análisis del componente A (Zona de recarga hídrica) y la revisión bibliográfica correspondiente, se determinó que las medidas de mitigación para este componente son las siguientes:

- Se recomienda la realización del mapa catastral del municipio para poder determinar la tenencia de la tierra y tener un mejor control sobre el territorio al conocer al propietario de cada terreno, se recomienda tener una versión física y una versión digital en algún Sistema de Información Geográfica (SIG).
- Mejorar la coordinación entre la Municipalidad de Mixco y el CONAP para fortalecer acciones de control y vigilancia enfocadas a la prevención de incendios y talas ilegales.
- Fomento e implementación de sistemas agroforestales en zonas de cultivo considerando los lineamientos del Plan Maestro. Estas acciones deberán realizarse con especies indicadoras de esta zona de vida, por ejemplo Encinos (*Quercus conspersa*, *Quercus tristis*, *Quercus brachistachys*), asociados generalmente con algunas especies de Pino (*Pinus pseudostrobus*, *Pinus maximinoi*).
- Como medida ante la tendencia a la urbanización y al avance de la frontera agrícola en la zona de recarga hídrica, se recomienda de acuerdo a IARNA-URL (2013), crear normativas que fomenten la generalización de prácticas que

favorezcan la infiltración. A nivel de las áreas urbanas se deben establecer normas a las empresas de lotificación y construcción, para que integren elementos de hidráulica de pequeña escala en sus proyectos, como por ejemplo zanjas de infiltración en las partes de mayor pendiente que permitan incrementar la recarga y limitar la escorrentía en las zonas urbanizadas, así mismo, infraestructura favorable para sistemas de captación de agua de lluvia, ya que el exceso de lluvia actualmente provoca daños a la infraestructura gris y aumenta las posibilidades de derrumbes, inundaciones y otros daños asociados a la época lluviosa. A nivel agrícola, se recomienda el aumento de áreas ocupadas por sistemas agroforestales, cultivos permanentes de amplia cobertura del suelo y plantaciones forestales a partir de terrenos agropecuarios de uso intensivo y de suelos cultivados sin obras de conservación de suelos y aguas.

- Para la erradicación de la presencia de basureros clandestinos se recomienda el uso de instrumentos legales y reglamentaciones penales por parte de la municipalidad de Mixco. También se recomienda la implementación de proyectos de concientización a la población, con mensajes impactantes, no impositivos sino propositivos. Se debe promover el uso de productos orgánicos para evitar la contaminación de aguas superficiales y la contaminación de mantos freáticos.

### **Medidas de mitigación para el componente B: Fuente de abastecimiento de agua potable**

De acuerdo al análisis de la vulnerabilidad del componente B (Fuente de abastecimiento de agua potable), se determinaron las siguientes medidas de mitigación:

- Como primera instancia, se recomienda el trabajo de recuperación y

mantenimiento con un cercado en buenas condiciones y otras obras de protección a los nacimientos asolvados por derrumbes para el aumento de la oferta de agua del sistema Las Ciénegas.

- De acuerdo al déficit actual y futuro que se evidencia del balance hídrico realizado, se recomienda a largo plazo, la captación de agua de lluvia para aumentar la oferta de agua potable para la población en la zona 1 de Mixco.
- Con el objeto de establecer nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable, de acuerdo a IARNA/URL & TNC (2012), es imperativo implementar un sistema de monitoreo de aguas subterráneas, con el fin de tener certeza sobre sus volúmenes y su estado físico-químico y microbiológico, localizando pozos que se puedan utilizar como piezómetros de control del nivel y calidad del agua subterránea, con medición mensual.
- Por otro lado, se determinó que es necesario regular la demanda a través de instrumentos legales y reglamentaciones, como también lo establece IARNA/URL & TNC (2012). Ya que que la municipalidad de Mixco está constituida con personería jurídica, tiene las facultades necesarias para establecer estas medidas.
- Así mismo, se recomienda la creación de programas de concientización sobre el uso racional del recurso en los diferentes niveles educativos, sembrando la cultura del buen uso del agua y su conservación.



## **Medidas de mitigación para el componente C: Gestión administrativa**

De acuerdo al análisis de la vulnerabilidad del componente C (Gestión administrativa), se determinaron las siguientes medidas de mitigación:

- Se recomienda la creación de un reglamento interno adecuado a la realidad de la gestión de la administración del agua potable de la Oficina de Aguas y Drenajes de la Municipalidad de Mixco.
- Con el objeto de una integración, participación y toma de decisiones con equidad de género dentro de la organización, de acuerdo con GWA, PNUD, IRC, GWP (2006), se recomienda igualdad de oportunidades y de participación real de hombres y mujeres, en donde al menos 50% de los integrantes de la directiva de la organización son mujeres, y lo mismo esté reglamentado.
- Se recomienda que se brinde capacitación al personal de la organización en temas sobre: organización, operación y mantenimiento, aspectos legales, ecológicos, desinfección del agua, microcuencas, procesos administrativos y formulación de proyectos referentes al sistema de agua de abastecimiento de agua potable y que lo mismo esté reglamentado.
- Así mismo, se recomienda para el establecimiento de una adecuada tarifa de cobro que permita un sistema autosustentable, que se incluyan los gastos de protección de la zona de recarga hídrica y que lo mismo esté reglamentado.
- Se recomienda la ampliación de la cobertura de micromedición (contadores de agua) entre los usuarios del sistema como medida de control y vigilancia del uso del agua y que lo mismo esté reglamentado. De acuerdo con Villón (1995), las

mediciones sirven para asegurar el mantenimiento de los programas adecuados de suministro, determinar las cantidades de agua suministrada, descubrir las anomalías, estimar y averiguar el origen de las pérdidas que se produzcan en la conducción (conexiones ilícitas) y de esta forma controlar el desperdicio.

- Se recomienda que al comprobarse una conexión ilegal al sistema de abastecimiento de agua potable, la Oficina de Aguas y Drenajes suspenda el servicio e incaute la instalación de agua potable y se envíe el expediente con informe circunstanciado al Juzgado de Asuntos Municipales para su conocimiento y efectos consiguientes y que lo mismo esté reglamentado.
- Por otro lado, de acuerdo con ADA2 (2015), se recomienda a la comunidad cumplir el rol de participar activamente con propuestas y vigilancia constante del cumplimiento de las normas y acuerdos en beneficio de la comunidad y la buena gobernanza del agua a través del Sistema Nacional de Consejos de Desarrollo Urbano y Rural, el cual abre un canal de participación ciudadana a través de los representantes de las comunidades que participan en la toma de decisiones, ya sea en sus asambleas comunitarias o en el seno del Consejo Comunitario de Desarrollo –COCODE–.
- Así mismo, de acuerdo con ADA2 (2015), desde el 2010, la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia –SEGEPLAN– desarrolló los Planes de Desarrollo Municipal para cada uno de los municipios del país. A partir de ese momento, se espera que cada una de las Oficinas o Direcciones Municipales de Planificación –DMP– lo revisen y lo actualicen anualmente. Ese proceso de actualización deberá realizarse con amplia participación comunitaria

(programas de información y consulta) y sus componentes deben de estar en línea con el Plan Nacional de Desarrollo: el Katún, nuestra Guatemala al 2032.

#### **5.3.4 Medidas de mitigación para el componente D: Toma de agua y obra de captación**

De acuerdo al análisis de la vulnerabilidad del componente D (Toma de agua y obra de captación), se determinaron las siguientes medidas de mitigación:

- Se recomienda como primera instancia, establecer nuevas fuentes de agua alternativas adicionales a las tomas de agua y obras de captación actuales, como la captación de agua de lluvia para el abastecimiento de agua potable a la población de la zona 1 de Mixco.
- Con el objeto de reducir la vulnerabilidad a amenazas naturales y, de acuerdo con AWWA (1984), se recomienda que las bombas de los pozos deben ser de acero en lugar de hierro fundido a fin de que puedan absorber la energía de la vibración en caso de un movimiento telúrico. La tubería de descarga de la bomba también debe ser de acero en lugar de hierro fundido.

## **Medidas de mitigación para el componente E: Tanque de almacenamiento**

De acuerdo al análisis de la vulnerabilidad del componente E (Tanque de almacenamiento), se determinaron las siguientes medidas de mitigación:

- Es necesario que el tanque de almacenamiento cuente con los accesorios necesarios para que el agua almacenada sea de buena calidad, además, se debe contar con un tanque de tamaño suficiente para suplir la demanda de agua de la población, tanto en cantidad como calidad, por lo tanto se recomienda la construcción de un segundo tanque igual al existente para asegurar una suficiente capacidad de almacenamiento.
- Se recomienda se utilicen materiales de construcción sólidos y de muy buena calidad con muy buena protección a daños para reducir el riesgo a las amenazas naturales a las que está expuesta la zona.
- Se recomienda una vez a la semana mantenimiento del tanque de almacenamiento de tipo preventivo y correctivo, con personal capacitado.

## **Medidas de mitigación para el componente F: Línea de conducción**

De acuerdo al análisis de la vulnerabilidad del componente F (Línea de conducción), se determinaron las siguientes medidas de mitigación:

- Se deben evaluar las tuberías que tienen un historial de mantenimiento excesivo debido a fugas causadas por la corrosión. Proporcionar tuberías con un revestimiento o una protección catódica apropiada para el control de la corrosión.
- Para líneas de conducción, siguiendo las recomendaciones realizadas por AWWA (1984), se recomienda implementar un programa integral de reforzamiento o reemplazo (como parte de un plan integral), cuyas prioridades se basen en la amenaza sísmica, sistema de tuberías y criticidad.
- Dado que no se cuenta con un programa de respuesta frente a emergencias que incluya válvulas de corte, se hace necesario implementarlo para disminuir la vulnerabilidad.
- Se recomienda una vez a la semana mantenimiento de tipo preventivo y correctivo, con personal capacitado.

## **Medidas de mitigación para el componente G: Red de distribución**

De acuerdo al análisis de la vulnerabilidad del componente G (Red de distribución), se determinaron las siguientes medidas de mitigación:

- De acuerdo con Corzo (2014), se recomienda como primera instancia se recomienda inspeccionar el equipo para determinar si tiene posibilidad de volcarse. El equipo con un bajo centro de gravedad tiene menos tendencia a volcarse, pero aun así puede deslizarse. En general, el equipo anclado funciona bien, aun si el anclaje no ha sido diseñado para soportar el nivel de carga sísmica esperada. Se debe brindar flexibilidad en los puntos de contacto de las tuberías con otras estructuras mediante acoplamientos flexibles.
- De acuerdo con OPS/OMS (1998), se determinaron las siguientes sugerencias para encontrar daños en las tuberías:

Los daños en las cañerías de agua potable producen, por lo común, afloramientos de agua en zonas cercanas a las roturas de tubos 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 cañerías 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 cañerías alimentadoras de esas zonas, las que habría que identificar y reparar;
  - 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.
  - La existencia de cámaras de inspección puede facilitar la estimación visual del caudal en cámaras sucesivas, lo que puede ayudar tanto a ubicar los tramos con fugas (por comparación del caudal en cámaras sucesivas), tuberías (por comparación de los niveles de aguas servidas en cámaras vecinas). Esas obstrucciones, si no existían antes, pueden ser producto de roturas en las tuberías debido a un movimiento telúrico.
- 
- De acuerdo con OPS/CEPIS (2005), se determinó que es necesario informar a la población que mientras se realicen los procesos de mantenimiento de la red de distribución no se dispondrá del servicio. Para tal fin se procederá a cerrar las válvulas de paso de las conexiones domiciliarias con el fin de evitar el desperdicio y asegurar la continuidad del servicio.

## **Medidas de mitigación para el componente H: Tratamiento del agua**

De acuerdo con la vulnerabilidad para el componente H (Tratamiento del agua), las medidas de mitigación identificadas fueron las siguientes:

- Se recomienda que se proceda a la Certificación de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Proyectos de Abastecimiento, en cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 178-2009, en todos los pozos del sistema de abastecimiento de agua potable Las Ciénegas.
- Así mismo, de acuerdo con MSPAS (2013a) para efectos de las acciones de promoción y prevención de la salud, especialmente para el desarrollo de estudios epidemiológicos; el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social deberá clasificar los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, de acuerdo con su capacidad para cumplir con las especificaciones establecidas, con base en períodos de vigilancia semestrales, de acuerdo a la referencia siguiente:

a) Excelente, cuando la proporción de muestras consideradas “aptas para consumo humano” sea mayor o igual que el noventa y cinco por ciento (95.0%).

b) Regular, cuando la proporción de muestras consideradas “aptas para consumo humano” sea mayor que noventa por ciento (90.0%), pero menor que el noventa y cinco por ciento (95.0%).

c) Deficiente, cuando la proporción de muestras consideradas “aptas para consumo humano” sea menor que noventa por ciento (90.0%).



Para efectos de la certificación de la calidad del agua abastecida, establecido en el artículo 22 del Acuerdo Gubernativo 113-2009; se considerará que los resultados de la vigilancia son satisfactorios cuando el sistema de abastecimiento haya sido clasificado como “excelente”. La emisión del certificado será procedente únicamente en ese caso.

### **Medidas de mitigación para el componente I: Manejo de aguas post-uso**

El componente I (Manejo de aguas post uso) debe ser atendido con el mayor carácter de urgencia ya que el manejo de aguas post-uso en el sistema es nulo. En este caso, las medidas de mitigación de la vulnerabilidad son más que recomendaciones de contingencia, un plan de manejo de aguas residuales completo.

- De acuerdo con IARNA-URL (2013), es imprescindible implementar un sistema de tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria, la agricultura y los hogares para limitar la contaminación hacia los cuerpos de agua superficial, y así también asegurar una calidad de agua suficiente para consolidar los sistemas de captación existentes, y eventualmente crear nuevos.
- De acuerdo con SEGEPLAN (2007), para estimar la cantidad de agua residual a evacuar, una buena aproximación de referencia del volumen es utilizar un factor de retorno (ver normas de INFOM) de la cantidad demandada de agua potable. Dependiendo del sector a realizar el proyecto, se deberá considerar efectos de infiltración, sobre todo aquellas zonas donde el nivel freático esté superficial. Estos volúmenes se deberán considerar adicionalmente al volumen de agua a evacuar.
- Se recomienda la separación in-situ de aguas negras y aguas grises en la nueva planta de tratamiento de aguas residuales.

- Así mismo se recomienda la separación in-situ de las excretas y de las orinas para:
  - La recuperación óptima de nutrientes
  - La remoción de orgánicos traza
  - El tratamiento mejorado con respecto a nutrientes residuales y orgánicos traza con menor complejidad de tratamiento
  - La reducción de requerimiento de energía
  - El uso de suelo para tratamiento avanzado de orgánicos y patógenos.
- De acuerdo con Gikas & Tchobanoglous (2009), debido al incremento esperado de urbanización, el escenario óptimo para el manejo municipal de aguas residuales es la construcción de sistemas de tratamiento satélite descentralizados, en donde el agua recuperada sea reusada cerca del punto de recuperación (así también, minimizando costos de bombeo). El agua recuperada será usada beneficiosamente en un número de aplicaciones (para requerimientos urbanos de agua no potable, para áreas industriales, y para riego de áreas verdes municipales).
- Se recomienda la digestión anaeróbica a temperatura ambiente con generación energética y/o subproductos con valor.
- Se recomienda también la creación de un plan financiero basado en un estudio de mercado sobre los productos del saneamiento.
- Será imprescindible la creación de un sistema de alcantarillado paralelo a la red de distribución de agua potable de la población para el retorno de las aguas residuales provenientes de las actividades industriales, domésticas y/o de agricultura que requieran tratamiento y uno adicional separado para la conducción de la recolección de agua de lluvia.

- Así mismo, se recomienda someter la implementación del manejo de las aguas residuales al cumplimiento de las disposiciones del Manual General del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Ministerial Número 105-2008.

## VI. CONCLUSIONES

Con base al análisis de la vulnerabilidad global del sistema de abastecimiento de agua potable para el municipio de Mixco, se determinó que la vulnerabilidad real es **alta** debido al déficit general en el abastecimiento de agua potable a la población de la zona 1 de Mixco, esto se debe principalmente a la tendencia de cambio de uso de la tierra de forestal a agrícola y urbano, al déficit hídrológico actual y futuro de la oferta de agua de las fuentes de agua potable actuales del sistema, a las debilidades de la organización gestora del recurso, al mal estado de las obras de captación, protección y toma de agua de las fuentes, línea de conducción, red de distribución, a la baja capacidad de almacenamiento, escaso mantenimiento y nulas medidas de mitigación y prevención al tanque de almacenamiento, bajo la alta vulnerabilidad sísmica del área y a que no se tiene un manejo de aguas residuales.

Se determinó después de realizar el análisis de la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento Las Ciénegas, que la metodología empleada en este estudio no evidencia la debilidad real, actual y futura del sistema pues no valoriza cualitativa ni cuantitativamente componentes esenciales para el buen funcionamiento del mismo.

Los componentes I: Manejo de aguas post-uso, y E: Tanque de almacenamiento son los componentes más vulnerables del sistema de acuerdo a los resultados obtenidos, por lo tanto, se consideró que estos y a criterio propio, los componentes A: Zona de recarga hídrica, B: Fuente de abastecimiento de agua potable y los componentes F: Línea de conducción y G: Red de distribución, son los componentes que deben ser atendidos con prioridad por parte de la municipalidad para asegurar la sostenibilidad del sistema en el mediano y largo y plazo y la disponibilidad del recurso hídrico para las generaciones futuras.

De acuerdo con los hallazgos de esta investigación las medidas más urgentes de mitigación para la disminución de la vulnerabilidad deben enfocarse principalmente en la creación de un manejo de aguas residuales del sistema, en la sostenibilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable actuales, en la creación de nuevas fuentes, en la creación de un nuevo tanque de almacenamiento y en la protección a la vulnerabilidad de amenazas sísmicas al sistema.

Los componentes del sistema de abastecimiento de agua del municipio de Mixco menos vulnerables fueron el C (Gestión administrativa) y el componente H (Tratamiento del agua), esto debido a que la gestión administrativa del recurso hídrico para consumo humano es una organización a nivel municipal ya constituida con personería jurídica y que cumple con sus funciones de operación, mantenimiento, dirección y gestión en el servicio de agua potable.

De acuerdo con el balance hídrico realizado en esta investigación, se concluye que estas fuentes no son suficientes para cubrir la demanda actual ni futura de la población.

Se evidencia la importancia de la zona de captación y regulación hidrológica de Cerro Alux (39.34% del territorio de la zona 1 de Mixco) para asegurar la disponibilidad de agua de la zona 1 de Mixco. En ese sentido, se hace necesario fortalecer las relaciones entre la Municipalidad de Mixco y el CONAP para promover acciones conjuntas destinadas a proteger los bosques existentes, manejarlos sosteniblemente y la implementación de actividades de control y vigilancia.

Para mejorar la disponibilidad e incremento de la oferta de agua, será necesaria la creación de nuevas fuentes de agua alternativas como la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia y el tratamiento y reutilización de las aguas residuales.

Será imprescindible la creación e implementación de un adecuado Manejo de aguas residuales y Desechos Sólidos que prevenga la contaminación al río Pansalic y fuentes de abastecimiento de agua potable en la zona 1 de Mixco.

## VII. RECOMENDACIONES

Realizar un censo de población de la zona 1 de Mixco, para poder realizar estimaciones más precisas de la demanda de agua. Esto permitirá mejorar los procesos de planeación para abastecer a las generaciones futuras y disminuir la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua potable.

Tomar en cuenta que el balance hidrológico de la oferta y la demanda del sistema no considera para su cálculo los impactos del cambio climático, los cuales mostrarían una disminución adicional a la oferta actual y futura de agua potable para la población de la zona 1 de Mixco.

Crear un Plan de Contingencia y Medidas de Mitigación de todos y cada uno de los componentes descritos por parte de la Oficina Municipal de Aguas y Drenajes, en donde se incluyan las estipulaciones citadas en este estudio y/o otras consideraciones pertinentes.

Promover la modernización del Código Municipal para la legalización de estipulaciones referentes a la ampliación de la cobertura de micromedición, a una tarifa de cobro que incluya gastos de protección a las fuentes, aprovechamiento de nuevas fuentes alternativas de agua potable, capacitaciones a la organización y a la comunidad, infraestructura favorable para la captación de agua potable, construcción de un segundo tanque de almacenamiento, línea de conducción, red de distribución y manejo de aguas residuales.

Si se consideran los derechos libres de acceso al agua potable, se recomienda la participación del sector privado tanto en la proposición de insumos, como de tecnología en la gestión administrativa del sistema de abastecimiento de agua potable.

Dirigirse con especial carácter de urgencia al componente I (Manejo de aguas post-uso), y de ser posible aunado a un Manejo de Desechos Sólidos, para poder detener lo antes posible la contaminación de aguas residuales y desechos sólidos al río Pansalic, acuíferos y nacimientos de agua en la zona de recarga hídrica y así, poco a poco asegurar la calidad del agua potable.

Realizar una campaña de concientización del uso responsable, reducido y consensuado del agua de la red de abastecimiento y de la importancia de la protección de la zona de recarga hídrica, de la cual se alimenta dicho sistema, promoviendo una cultura de ahorro, reutilización y valoración del agua potable de parte tanto de la población como de las autoridades en cuestión.

Recurrir al Instituto Nacional de Fomento Municipal, -INFOM-, instituto que brinda apoyo técnico al momento de realizar los aforos volumétricos, ensayos experimentales, investigación científica y evaluación de sistemas de tratamiento de agua. Así mismo, es el ente encargado de proporcionar apoyo técnico sobre la selección de alternativas de tratamiento, sistemas de desinfección y brinda capacitación en la materia a los comités de agua potable, COCODES, entre otros.

Crear un sistema de alcantarillado para la conducción de agua de lluvia separado de la red de distribución de agua potable y del alcantarillado para aguas residuales con un sistema de canaletas a la orilla de las calles de la zona 1 que considere su reutilización.

Elaborar mapas de las amenazas de la licuefacción y de otros tipos de deformación permanente del suelo para comprender la vulnerabilidad de la tubería dentro de un sistema de agua y para diseñar nuevas tuberías que podrían atravesar áreas con deformación permanente del suelo.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- ADA2. (2015). Manual para la buena gobernanza hídrica en los municipios de la Cuenca Alta del Río Motagua, Guatemala. Segunda edición. ELAW. Guatemala, Guatemala. 47 p.
- AWWA. (1984). Reducción daño sísmico (en línea). American Water Works Association. Consultado el 11 de febrero de 2016. Disponible en: [file:///C:/Documents%20and%20Settings/Maria/Mis%20documentos/Downloads/ReduccionDanoSismico%20\(2\).pdf](file:///C:/Documents%20and%20Settings/Maria/Mis%20documentos/Downloads/ReduccionDanoSismico%20(2).pdf)
- Bautista, F., Aguilar, Y., & Batllori, E. (2011). Amenazas, vulnerabilidad y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la península de Yucatán. Teoría y Praxis. 9: 9-31.
- Cano, W. (2006). Análisis de vulnerabilidad del sistema de agua potable de Santa Catarina Pinula, Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala. Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. 118 p.
- Casanova, D. (2012). Diplomado: Estudio y manejo de las aguas subterráneas. Guatemala. Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad Diego de Ávila.
- CATHALAC. (16-Agosto-2012). Geoportal Regional (en línea). Consultado el 19 de septiembre del 2015. Disponible en: <http://portalgis.cathalac.org/cathalac/maps/fisurasguate/fisuras/>.
- CEPAL. (2015). Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe. Serie Recursos Naturales e Infraestructura. 171: 1-62.



CEPAL. (1992). Políticas de gestión integral de aguas y políticas económicas. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe -CEPAL-. 27 p.

Grades, Contreras & Grases. (1997). Caso estudio Caracas. Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales. CEPIS/OPS. Consultado el 17 de julio de 2016. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/venezuel/vencap07.html>.

COGUANOR. (2000). Norma Guatemalteca Obligatoria, Agua Potable. Infoiarna. Consultado el 22 de octubre de 2014. Disponible en: [http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/agua/legislacion/COGUANOR\\_agua%20potable.pdf](http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/agua/legislacion/COGUANOR_agua%20potable.pdf).

CONAP. (2010). Plan Maestro Reserva Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux. Guatemala. 175 p.

Congreso de la República de Guatemala. (2002). Código Municipal, Decreto 12-2002. The United Nations Children's Emergency Fund -UNICEF-, Guatemala. Consultado el 23 de mayo de 2016. Disponible en: <http://www.unicef.org/guatemala/spanish/CodigoMunicipal.pdf>.

Congreso de la República de Guatemala. (1987). Ley de Servicio Municipal, Decreto No. 1-87. Municipalidad de Santa Catarina Pinula. Consultado el 23 de mayo de 2016. Disponible en: <http://www.scp.gob.gt/dam/municipalidad-scp/documentos/Decretos/LEYDESERVICIOMUNICIPAL/LEY%20DE%20SERVICIO%20MUNICIPAL.pdf>.

CONRED, SCEPT, MSPAS, INFOM. (2015). Informe situacional de los sistemas de agua potable, saneamiento e higiene del departamento de Chiquimula. CONRED. Guatemala. 44p.

- Corzo, L. E. (2014). Guía metodológica para diseñar obras de abastecimiento de agua potable resistentes a sismos en la República de Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala. Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 156 p.
- CVC. (2016). Balances Oferta Demanda. Consultado el 18 de julio de 2016. Corporación Autónoma del Valle de Cauca. Disponible en: [www.cvc.gov.co/index.php/tematicas/recurso-hidrico/agua-superficial/balance-oferta-demanda](http://www.cvc.gov.co/index.php/tematicas/recurso-hidrico/agua-superficial/balance-oferta-demanda).
- Díaz, M. M. (2008). Metodología para el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano; aplicación y determinación de medidas de adaptación en la subcuenca del río Copán, Honduras. Tesis Magister Scientiae en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza -CATIE-. Turrialba, Costa Rica. 102 p.
- Dirección de Agua Potable y Saneamiento. (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Ministerio de Desarrollo Económico. Bogotá, Colombia. 107 p.
- FUNDESA. (2012). Uso del agua en Guatemala, Sostenibilidad del Sistema. Boletín 43. Fundación para el Desarrollo de Guatemala -FUNDESA-. Guatemala. 30 p.
- Gikas, P., & Tchobanoglous, G. (2009). The role of satellite and decentralized strategies in water resources management. J. Environmental management, 90 (I), 114-152.
- González, J. (2005). Protección de captaciones de agua para consumo humano ante desastres y emergencias; consideraciones técnicas obtenidas en el municipio de Gualán, departamento de Zacapa. Tesis Ing. Civil. Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

- GWA, PNUD, IRC, GWP. (2006). Guía de recursos. Transversalización del enfoque de género en la gestión del agua. PNUD, GWA. México D.F. 155 p.
- IARNA-URL. (2013). Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala. Universidad Rafael Landívar. Guatemala. 140 p.
- INAA, RASNIC & COSUDE. (2000). Guía técnica para la reducción de la vulnerabilidad en Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. INAA. Managua. 104 p.
- INE. (2003). Características de la población y de los locales de habitación censados. Censos Nacionales XI de Población y VI de Habitación 2002. Censos Nacionales Integrados. Guatemala. 277 p.
- IPCC . (2001). Cambio climático 2001: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. Reporte del grupo de trabajo No. 2. Ginebra, Suiza. 86 p.
- IPCC. (2007). Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability, Technical Summary, Report of the working group No. 2. Policymarkers. Brussels. 86 p.
- MAGA. (2001). Mapa Fisiográfico-Geomorfológico de la República de Guatemala, a escala 1:250,000 -Memoria Técnica-. Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE-MAGA) y Programa de Emergencia por Desastres Naturales (MAGA-BID). Guatemala.
- MDGIF. (2010). Guia para el capacitador en educación sanitaria y ahorro del agua. Panamerican Health Organization -PAHO-. Consultado el 23 de julio de 2016. Disponible en: <http://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/22.pdf?ua=1>.

- Mena, J. (2014). Caracterización del sistema de distribución de agua potable del casco urbano del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa. Tesis Ing. Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Universidad Rafael Landívar. Guatemala. 79 p.
- Mendoza, M. (2008). Metodología para el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano; aplicación y determinación de medidas de adaptación en la subcuenca del río Copán, Honduras. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 113 p.
- Mesa Temática Calidad de Agua. (2008). Protocolo para el mantenimiento de almacenamientos de agua potable para establecimientos multifamiliares y establecimientos comerciales e industriales. Alcaldía de Santiago de Cali. Consultado el 18 de julio de 2016. Disponible en: [www.cali.gov.co/cali/descargar.php?id=41369](http://www.cali.gov.co/cali/descargar.php?id=41369).
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2003). Guías técnicas para la reducción de la vulnerabilidad en los sistemas de agua potable y saneamiento. Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento Básico. Tegucigalpa, Honduras. 37 p.
- Ministerio del Agua, Viceministerio de Servicios Básicos. (2007). Manual de operación y mantenimiento de sistemas de agua rurales. ABBASE LTDA. La Paz, Bolivia. 65 p.
- Morales, et. al. (2001). Análisis de vulnerabilidad de sistemas de abastecimiento de agua. Ingeniería Hidráulica Ambiental 22 (4): 46-50.
- MSPAS. (2013a). Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Guatemala. 7 p.
- MSPAS. (2013b). Política Nacional del Sector de Agua Potable y Saneamiento. Gobierno de Guatemala. Guatemala. 22 p.

- Municipalidad de Mixco. (2016). Manual de organización y funciones. Municipalidad de Mixco. Guatemala. 321 p.
- OMS. (2016). Agua, saneamiento y salud (ASS). Organización Mundial de la Salud. Consultado el 18 de julio de 2016. Disponible en: [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/mdg1/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/).
- OPS/OMS. (1998). Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. Guías para la determinación de la vulnerabilidad. Series Mitigación de Desastres. OPS/OMS. Washington, D.C. 100 p.
- OPS/CEPIS. (2005). Procedimientos para la operación y mantenimiento de la red de distribución. OPS/CEPIS. Lima. 9 p.
- OPS/OMS & COSUDE. (2006). Curso: Prevención de desastres, Sostenibilidad de los servicios de agua potable y saneamiento frente a desastres naturales. Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Consultado el 20 de julio de 2016. Disponible en: [www.bvsde.paho.org/cursoa\\_desastres/diplomado/curso1/tema4.html](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_desastres/diplomado/curso1/tema4.html).
- Pérez, R. (1993). Dimensionado óptimo de redes de distribución de agua ramificadas considerando los elementos de regulación. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia, España. 71 p.
- PNUD. (2011). Informe sobre Desarrollo Humano, Sostenibilidad y equidad, Un mejor futuro para todos. Ediciones Mundi-Prensa. Nueva York. 195 p.
- UNICEF. (2005). La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales. Procuraduría General de la Nación, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, Departamento Nacional de Planeación, The

United Nations Children's Emergency Fund -UNICEF-. Consultado el 18 de julio de 2016. Disponible en: [www.unicef/colombia/pdf/Agua3.pdf](http://www.unicef/colombia/pdf/Agua3.pdf).

SEGEPLAN. (2003). Política Nacional del Sector de Agua Potable y Saneamiento. Gobierno de Guatemala. Guatemala. 22 p.

UNESCO. (1974). Methods for Water Balance Computation. The Unesco Press. Paris. 127 p.

Veliz, R. E. (2005). Memoria técnica del mapa de tierras forestales de captación y regulación hidrológica de Guatemala. Unidad de Planificación e Información del Departamento de Sistemas de Información Forestal, Instituto Nacional de Bosques -INAB-. Guatemala. 45 p.

## IX. ANEXOS

### 9.1 Anexo 1. Matrices estándar para la determinación de la vulnerabilidad por componente.

Cuadro 9. Estándar para el componente A: Zona de recarga hídrica.

Indicador	Caracterización	Índice
A.1 Tenencia de la tierra	Del 80 al 100% del área es propiedad de la organización que administra o presta el servicio de agua para consumo humano y/o propiedad del estado y/o propiedad ejidal o comunal	0
	Del 60 al 80% del área es propiedad de la organización que administra o presta el servicio de agua para consumo humano y/o propiedad del estado y/o propiedad ejidal o comunal	1
	Del 40 al 60% del área es propiedad de la organización que administra o presta el servicio de agua para consumo humano y/o propiedad del estado y/o propiedad ejidal o comunal	2
	Más del 60% del área es propiedad privada en donde se han establecido acuerdos con el dueño para protección de la ZRH	3
	Más del 40% del área es propiedad privada con presencia de conflictos y sin ningún acuerdo	4
A.2 Grado o porcentaje de cobertura vegetal del suelo	80 - 100%	0
	60 - 80%	1
	40 - 60%	2
	20 - 40%	3
	0 - 20%	4
A.3 Uso del suelo	Del 90 al 100% del área corresponde a área natural protegida y/o bosque (primario, secundario o ribereño)	0
	Más del 80% del área corresponde a zonas con sistemas agroforestales con cultivos perennes y/o cultivos perennes con amplia cobertura del suelo y/o plantaciones forestales con cobertura del suelo y/o bosque (primario, secundario y ribereño)	1
	Más del 80% del área corresponde a zonas con sistemas silvopastoriles sin pasturas degradadas y/o tacotales y/o terrenos cultivados con obras de	2

	conservación de suelo y/o sistemas agroforestales y/o plantaciones forestales y/o bosques (primario, secundario y ribereño)	
	Más del 60% del área corresponde a terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	3
	Más del 60% del área corresponde a terrenos agropecuarios con manejo intensivo, suelos desnudos y/o terrenos con desarrollo urbanístico	4
A.4 Tendencia de uso del suelo	Aumento del área de bosque primario, bosque secundario, bosque ribereño o áreas naturales protegidas	0
	Aumento del área ocupada por sistemas agroforestales, cultivos permanentes de amplia cobertura del suelo y plantaciones forestales a partir de terrenos agropecuarios con uso intensivo, de suelos desnudos, de suelos con desarrollo urbanístico, de suelos cultivados sin obras de conservación de suelos y aguas	1
	Aumento del área de sistemas silvopastoriles, tacotales y terrenos cultivados con obras de manejo y conservación de suelos, a partir de terrenos agropecuarios con uso intensivo, de suelos desnudos, de suelos con desarrollo urbanístico, de suelos cultivados sin obras de conservación de suelos y aguas	2
	Aumento del área de suelos con terreno cultivados sin obras de manejo y conservación de suelos y aguas a partir de terrenos agropecuarios con uso intensivo, de suelos desnudos y suelos con desarrollo urbanístico	3
	Aumento del área de suelos con uso agropecuario intensivo, los suelos desnudos, las áreas con desarrollo urbanístico	4
A.5 Planificación (POT, Plan de acción, Plan de Manejo, otro)	El plan (POT, Plan de acción, Plan de Manejo, otro) se encuentra en ejecución y está funcionando adecuadamente	0
	Se ha iniciado la implementación del plan (POT, Plan de acción, Plan de Manejo, otro)	1
	Se tiene el plan (POT, Plan de acción, Plan de Manejo, otro) pero no se ha implementado	2
	Se está elaborando el plan (POT, Plan de acción, Plan de Manejo, otro)	3
	No hay plan (POT, Plan de acción, Plan de Manejo, otro)	4

Fuente: Elaboración propia.

#### Cuadro 10. Estándar para el componente B: Fuente de abastecimiento de agua.

Indicador	Caracterización	Índice
B.1 Tenencia de la tierra	Propiedad de la organización que administra o presta el servicio de agua para	0



	consumo humano		
	Propiedad del Estado		1
	<b>Propiedad ejidal o comunal</b>		<b>2</b>
	Propiedad privada en donde se han establecido acuerdos con el dueño para protección de la fuente de agua		3
	Propiedad privada con presencia de conflictos		4
B.2 Obras de protección de la fuente	Cercado en condiciones adecuadas		0
	Cercado en condiciones regulares		1
	<b>Cercado en condiciones inadecuadas</b>		<b>2</b>
	En proceso de cercado		3
	Sin cercado		4
B.3 Fuentes de contaminación	No se presentan fuentes de contaminación		0
	Las fuentes de contaminación son de origen natural		1
	<b>Se presenta dos o menos fuentes de contaminación difusa y ninguna puntual</b>		<b>2</b>
	Se presentan una o dos fuentes de contaminación difusa y una de tipo puntual		3
	Se presentan tres o más fuentes de contaminación difusa y una o más de tipo puntual		4
B.4 Vulnerabilidad a amenazas naturales	Nula		0
	Baja		1
	Media		2
	Alta		3
	<b>Muy alta</b>		<b>4</b>
B.5 Conflictos por el uso del agua de la fuente de abastecimiento	<b>No se presentan conflictos o al menos no durante los últimos años (5 ó menos)</b>		<b>0</b>
	Existen pocos conflictos (menos de 2 por año) y se deben al uso de volúmenes bajos de agua de la fuente para consumo animal, riego, recreación o para otros usos		1
	Existe regular cantidad de conflictos (menos de 3 por año) y se deben al alto uso del agua de la fuente para animales, riego, recreación o para otros usos; o existen pocos conflictos (menos de 2 por año), pero se deben al alto uso del agua de la fuente para los fines mencionados		2
	Existen muchos conflictos (más de 4 por año) y se deben al uso muy alto de agua de la fuente para animales, riego, recreación o para otros usos		3 - 4
B.6 Balance entre oferta y demanda de agua	La oferta de agua es mayor que la demanda actual y puede satisfacer la demanda en el futuro		0
	La oferta de agua sólo satisface las necesidades de la población actual		1
	La oferta de agua sólo satisface la demanda en época de lluvias pero en la		2

época de estiaje es necesario buscar otra fuente de agua para satisfacer las necesidades	
La oferta de agua sólo satisface la demanda en época de lluvias y en la época de estiaje se raciona el servicio	3
<b>La oferta de agua no satisface la demanda actual en todo el año</b>	<b>4</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Cuadro 11. Estándar para el componente C: Gestión administrativa.

Indicador	Caracterización	Índice
C.1 Organización que administra el recurso hídrico para consumo humano	Nivel local	0
	<b>Nivel municipal</b>	<b>1</b>
	Nivel estatal	2
	Nivel regional	3
	Nivel nacional	4
C.2 Nivel de avance de la organización para la constitución con personería jurídica	<b>Ya se encuentra constituida con personería jurídica</b>	<b>0</b>
	Se ha iniciado el proceso	1
	Se tiene interés en constituirse con personería jurídica, pero no se ha iniciado el proceso	2
	No se tiene interés en constituirse con personería jurídica	3
	Las organizaciones no tienen un respaldo legal para obtener la personería jurídica	4
C.3 Reglamento interno de la organización	Tiene reglamento y se aplica	0
	Tiene reglamento pero no se aplica	1
	<b>Está en elaboración</b>	<b>2</b>
	El reglamento es obsoleto y no es adecuado con la realidad	3
	No tiene	4
C.4 Equidad de género en la integración, participación y toma de decisiones en la organización local gestora del agua	Igualdad de oportunidades y de participación real de hombre y mujeres y está reglamentado, más del 50% de los integrantes de directiva de la organización son mujeres	0
	Existen bastantes oportunidades de participación e integración de las mujeres en la directiva de la organización, al menos 50% de los integrantes son mujeres	1
	Existe regular oportunidad e interés de las mujeres en integrarse a la directiva de la organización, al menos 40% de los integrantes son mujeres	2

	No hay igualdad de oportunidades, menos del 10% de directiva de organización son mujeres	3
	No hay igualdad de oportunidades, solo los hombres integran la directiva de la organización	4
C.5 Funciones de la organización de agua	Administración, operación, mantenimiento, participación en la toma de decisiones, gestión, entre otras.	0
	Administración, operación, mantenimiento, participación en la toma de decisiones	1
	Administración, operación y mantenimiento	2
	Operación y mantenimiento	3
	Administración	4
C.6 Capacitación de las organizaciones	Se brinda capacitación sobre: organización, operación y mantenimiento, aspectos legales, desinfección del agua, microcuencas, procesos administrativos y formulación de proyectos	0
	Se brinda capacitación sobre tres temáticas	1
	Se brinda capacitación sobre dos temáticas	2
	Se brinda capacitación sólo sobre una temática	3
	No se capacita	4
C.7 Frecuencia de reuniones de la organización y grado de participación	Cada 2 semanas o menos y participación de más del 90% de los integrantes	0
	Cada 2 a 4 semanas y participación de más del 75% de los integrantes	1
	Cada 4 a 8 semanas y participación de más del 75% de los integrantes	2
	Cada 8 a 12 semanas y/o participación generalmente de menos del 75% de los integrantes	3
	Más de cada 12 semanas (muy poca frecuencia) y/o generalmente participación de menos del 75% de los integrantes	4
C. 8 Cobertura de micromedición (medidores de agua)	90 a 100%	0
	80 a 90%	1
	70 a 80%	2
	60 a 70%	3
	Menor del 60%	4
C.9 Tarifas de cobro	La tarifa de cobro permite un sistema autosustentable	0
	La tarifa de cobro cubre los gastos de operación y	1

	mantenimiento y además, cubre los gastos para la protección de la zona de recarga	
	La tarifa de cobro cubre los gastos de operación y mantenimiento	2
	La tarifa de cobro es simbólica y no cubre los gastos de operación y mantenimiento	3
	La tarifa de cobro es nula	4
C.10 Porcentaje de morosidad en el pago	0 a 5%	0
	5 a 10%	1
	10 a 15%	2
	15 a 20%	3
	Más del 20%	4
C.11 Porcentaje de conexiones ilegales	0%	0
	1 al 5%	1
	5 al 10%	2
	10 al 15%	3
	Mayor del 15%	4
C.12 Fontanero capacitado y a tiempo Complete	Se tiene un fontanero de forma periódica y pagado	0
	Se tiene fontanero de acuerdo a las necesidades y pagado	1
	Se tiene fontanero de forma esporádica y con salario	2
	Se tiene fontanero pero sin salario	3
	No se tiene fontanero	4
C.13 Disponibilidad de herramientas, equipo y materiales	Se cuenta con herramientas, equipo y materiales	0
	Se cuenta con todas las herramientas y equipo, pero se carece de materiales	1
	Se cuenta sólo con algunas herramientas y equipo	2
	Se cuenta con ellos, pero en mal estado	3
	No se cuenta con ello	4
C.14 Manejo y gestión de fondos económicos	Se tiene cuenta en el banco funcionando por más de un año	0
	Se tiene cuenta en el banco funcionando por menos de un año	1
	Se tiene una caja de ahorros	2
	Se tiene un fondo que maneja el tesorero de la organización	3
	No se tienen fondos económicos	4

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 12. Estándar para el componente D: Toma de agua y obra de captación.

Indicador	Caracterización	Índice
D.1 Tipo de obra de captación	Caja (caja cerrada de concreto reforzado o mampostería de piedra o de tabique)	0
	Galería de infiltración o pozo	1
	Presa derivadora o de almacenamiento	2
	Obra de captación rústica	3
	Sin obra de captación	4
D.2 Vulnerabilidad a amenazas naturales	Nula	0
	Baja	1
	Media	2
	Alta	3
	Muy alta	4
D.3 Disponibilidad de accesorios y repuestos	Tiene todos los accesorios (tubo de rebalse, tubo de limpieza con tapón, válvulas de control, desarenador, etc.) en buen estado y la cantidad de repuestos es suficiente para los requerimientos típicos	0
	Tiene todos o casi todos los accesorios (tubo de rebalse, tubo de limpieza con tapón, válvulas de control, desarenador, etc.) en buen estado y la cantidad de repuestos es suficiente para los requerimientos típicos	1
	Tiene algunos accesorios (tubo de rebalse, tubo de limpieza con tapón, válvulas de control, desarenador, etc.), sin embargo, no todos están en buen estado y la cantidad o stock de repuestos no es suficiente para las necesidades típicas	2
	Tiene muy pocos accesorios (tubo de rebalse, tubo de limpieza con tapón, válvulas de control, desarenador, etc.) y además, pocos son los que se encuentran en buen estado; y la cantidad de repuestos es insuficiente para necesidades típicas	3
	No cuenta con ellos	4
D.4 Estado de la obra de captación	Muy bueno (no presenta ningún problema, materiales de construcción sólidos, de muy buena calidad, con muy buena protección a daños, sin presencia de fugas)	0
	Bueno (problemas muy leves, materiales de construcción de buena calidad, obra hermética y con protección a daños, sin presencia de fugas o muy esporádicas)	1
	Regular (algunos problemas, materiales de construcción sólidos, de muy buena calidad, con muy buena protección, con presencia de fugas poco frecuente)	2
	Malo (Bastantes problemas, materiales de construcción de regular a buena calidad, caja con tapa en mal estado y poca a regular calidad de protección a daños, con presencia de fugas frecuentes)	3

	Muy malo (Muchos problemas, materiales de construcción de baja o regular calidad, sin o con poca protección a daños, con presencia de fugas frecuentes o muy frecuentes)	4
D.5 Frecuencia de mantenimiento	Mantenimiento muy frecuente (cada mes)	0
	Mantenimiento bastante frecuente (cada 2 meses)	1
	Mantenimiento frecuente (cada 3 a 4 meses)	2
	Mantenimiento poco frecuente (cada 5 a 12 meses)	3
	Mantenimiento inexistente o muy poco frecuente (más de cada 12 meses)	4

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 13. Estándar para el componente E: Tanque de almacenamiento.

Indicador	Caracterización	Índice
E.1 Tenencia de la tierra	Propiedad de la organización que administra o presta el servicio de agua para consumo humano	0
	Propiedad del estado	1
	Propiedad ejidal o comunal que corresponde a los usuarios	2
	Propiedad privada sin conflictos	3
	Propiedad privada con presencia de conflictos	4
E.2 Disponibilidad de accesorios y repuestos	Tiene todos los accesorios (válvulas de aire, válvulas de descarga, caja rompe-compresión, etc.) en buen estado y la cantidad de repuestos es suficiente para los requerimientos típicos	0
	Tiene todos o casi todos los accesorios (válvulas de aire, válvulas de descarga, caja rompe-compresión, etc.), en buen estado y la cantidad de repuestos es suficiente para los requerimientos típicos	1
	Tiene algunos accesorios (válvulas de aire, válvulas de descarga, caja rompe-compresión, etc.), sin embargo, no todos están en buen estado y la cantidad o stock de repuestos no es suficiente para las necesidades típicas	2
	Tiene muy pocos accesorios (válvulas de aire, válvulas de descarga, caja rompe-compresión, etc.), y además, pocos son los que se encuentran en buen estado; y la cantidad de repuestos es insuficiente para necesidades típicas	3
	No cuenta con ellos	4
E.3 Estado del tanque	Muy bueno (no presenta ningún problema, materiales de construcción sólidos y de muy buena calidad, con muy buena protección a daños)	0

			Bueno (problemas muy leves, materiales de construcción de buena calidad, con protección a daños)	1
			Regular (algunos problemas, materiales de construcción de buena calidad, con protección a daños)	2
			Malo (Bastantes problemas, materiales de construcción de regular a buena calidad, poca a regular calidad de protección a daños)	3
			Muy malo (Muchos problemas, materiales de construcción de baja o regular calidad, sin o con poca protección a daños)	4
E.4	Capacidad de almacenamiento para vaciarse)	(horas	Más de 24 horas	0
			24 horas	1
			20 a 24 horas	2
			15 a 20 horas	3
			<b>Menos de 15 horas</b>	<b>4</b>
E.5	Mantenimiento		Muy frecuente (cada semana), de tipo preventivo y correctivo, y con personal capacitado	0
			Frecuente (cada 2 semanas), de tipo preventivo y/o correctivo, con personal con capacitación mínima a buena	1
			Poco frecuente (cada 3 a 4 semanas), de tipo preventivo y/o correctivo, con personal con capacitación mínima a regular	2
			Poco frecuente (cada 5 a 12 semanas), principalmente de tipo correctivo y con personal con mínima o poca capacitación	3
			<b>Muy poco frecuente (mayor de cada 12 semanas) o no existe mantenimiento</b>	<b>4</b>
E.6	Vulnerabilidad a amenazas naturales		Nula	0
			Baja	1
			Media	2
			Alta	3
			<b>Muy alta</b>	<b>4</b>
E.7	Medidas de mitigación y prevención		En el diseño e instalación se contemplaron las medidas necesarias para reducir el riesgo a las amenazas	0
			Se están ejecutando actividades de mitigación y prevención	1
			Se realizaron estudios para determinar a qué amenazas está expuesta la zona y se han propuesto las medidas de mitigación y prevención, pero no se han ejecutado	2
			Se tienen planes de hacer estudios para poder diseñar un plan de acción	3
			<b>No se tiene un plan de medidas de mitigación y prevención</b>	<b>4</b>

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 14. Estándar para el componente F: Línea de conducción.

Indicador	Caracterización	Índice
F.1 Vulnerabilidad a amenazas naturales	Nula	0
	Baja	1
	Media	2
	Alta	3
	Muy alta	4
F.2 Disponibilidad de accesorios y repuestos	Tiene todos los accesorios (válvulas de aire, válvulas de descarga, caja rompe-compresión, etc.) en buen estado y la cantidad de repuestos es suficiente para los requerimientos típicos	0
	Tiene todos o casi todos los accesorios (válvulas de aire, válvulas de descarga, caja rompe-compresión, etc.), en buen estado y la cantidad de repuestos es suficiente para los requerimientos típicos	1
	Tiene algunos accesorios (válvulas de aire, válvulas de descarga, caja rompe-compresión, etc.), sin embargo, no todos están en buen estado y la cantidad o stock de repuestos no es suficiente para las necesidades típicas	2
	Tiene muy pocos accesorios (válvulas de aire, válvulas de descarga, caja rompe-compresión, etc.), y además, pocos son los que se encuentran en buen estado; y la cantidad de repuestos es insuficiente para necesidades típicas	3
	No cuenta con ellos	4
F.3 Estado de la tubería	Excelente ( la tubería se instaló adecuadamente, se encuentra soterrada y las partes expuestas son tubos de HG (hierro galvanizado), no se presentan fugas)	0
	Bueno (la tubería se encuentra soterrada y no se presentan fugas)	1
	Regular (tubería expuesta en algunos tramos y presencia de fugas poco frecuentes)	2
	Malo (tubería expuesta y con presencia de fugas constantes)	3
	Muy malo (envejecimiento de la tubería, deficiencias en la instalación, tubería de materiales poco resistentes y se encuentra expuesta, presencia de fugas)	4
F.4 Mantenimiento	Muy frecuente (cada semana), de tipo preventivo y correctivo, y con personal capacitado	0
	Frecuente (cada 2 semanas), de tipo preventivo y/o correctivo, con personal con	1



		capacitación mínima a buena	
		Poco frecuente (cada 3 a 4 semanas), de tipo preventivo y/o correctivo, con personal con capacitación mínima a regular	2
		Poco frecuente (cada 5 a 12 semanas), principalmente de tipo correctivo y con personal con mínima o poca capacitación	3
		Muy poco frecuente (mayor de cada 12 semanas) o no existe mantenimiento	4
F.5	Medidas de mitigación y prevención	En el diseño e instalación de la línea de conducción se contemplaron las medidas necesarias para reducir el riesgo a las amenazas	0
		Se están ejecutando actividades de mitigación y prevención	1
		Se realizaron estudios para determinar a qué amenazas está expuesta la zona y se han propuesto las medidas de mitigación y prevención, pero no se han ejecutado	2
		Se tienen planes de hacer estudios para poder diseñar un plan de acción	3
		No se tiene un plan de medidas de mitigación y prevención	4

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 15. Estándar para componente G: Red de distribución.

Indicador		Caracterización		Índice
G.1	Cobertura del servicio	95 a 100%		0
		90 a 95%		1
		80 a 90%		2
		70 a 80%		3
		Menor del 70%		4
G.2	Continuidad del servicio	Sin interrupciones o muy esporádicas (cada 60 días o más y generalmente menores a 5 horas cada vez)		0
		Sin interrupciones o muy esporádicas (entre cada 30 y 60 días y generalmente menores de 5 horas cada vez)		1
		Interrupciones frecuentes (entre cada 10 y 30 días y cerca de la mitad de las veces mayor de 5 horas)		2
		Interrupciones bastantes frecuentes (entre cada 3 y 10 días y generalmente de más de 5 horas cada vez)		3
		Interrupciones muy frecuentes (cada tres días o menos y de más de 5 horas cada vez)		4

G.3 Estado de la tubería y de la caja de válvulas	Excelente ( la tubería se instaló adecuadamente, se encuentra soterrada y las partes expuestas son tubos de HG (hierro galvanizado), no se presentan fugas; las cajas de válvulas se encuentran en buen estado y funcionan muy bien)	0
	Bueno (la tubería se encuentra soterrada y no se presentan fugas, las cajas de válvulas se encuentran en estado regular o bueno y funcionan bien)	1
	Regular (tubería expuesta en algunos tramos y presencia de fugas poco frecuentes, las cajas de válvulas se encuentran en estado regular o bueno y funcionan entre bien y muy bien)	2
	Malo (tubería expuesta y con presencia de fugas constantes, las cajas de válvulas se encuentran descubiertas y funcionan entre regular y bien)	3
	Muy malo (envejecimiento de la tubería, deficiencias en la instalación, tubería de materiales poco resistentes y se encuentra expuesta, presencia de fugas; las cajas de válvulas funcionan entre mal y regular)	4
G.4 Mantenimiento	Muy frecuente (cada semana), de tipo preventivo y correctivo, y con personal capacitado	0
	Frecuente (cada 2 semanas), de tipo preventivo y/o correctivo, con personal con capacitación mínima a buena	1
	Poco frecuente (cada 3 a 4 semanas), de tipo preventivo y/o correctivo, con personal con capacitación mínima a regular	2
	Poco frecuente (cada 5 a 12 semanas), principalmente de tipo correctivo y con personal con mínima o poca capacitación	3
G.5 Vulnerabilidad a amenazas naturales	Muy poco frecuente (mayor de cada 12 semanas) o no existe mantenimiento	4
	Nula	0
	Baja	1
	Media	2
	Alta	3
G.6 Medidas de mitigación y prevención que se aplican	Muy alta	4
	En el diseño e instalación de la línea de conducción se contemplaron las medidas necesarias para reducir el riesgo a las amenazas	0
	Se están ejecutando actividades de mitigación y prevención	1
	Se realizaron estudios para determinar a qué amenazas está expuesta la zona y se han propuesto las medidas de mitigación y prevención, pero no se han ejecutado	2
Se tienen planes de hacer estudios para poder diseñar un plan de acción	3	

---

No se tiene un plan de medidas de mitigación y prevención

4

---

Fuente: Elaboración propia.

### Cuadro 16. Estándar del componente H: Tratamiento del agua.

Indicador	Caracterización	Índice
H.1 Tratamiento que necesita y se aplica al agua	No necesita tratamiento	0
	El agua requiere solamente cloración y existe clorador en buen estado y se aplica el tratamiento	1
	El agua requiere cloración, pero no siempre existe clorador o no está en muy buen estado o a veces no se aplica el tratamiento	2
	El agua requiere de tratamiento de cloración, pero no existe clorador o está en mal estado, por lo que casi no se aplica el tratamiento	3
	El agua requiere de cloración pero no existe clorador (no se aplica el tratamiento), además el agua requiere de filtración o de otros tratamientos previos	4
H.2 Frecuencia del tratamiento	Cada vez que se requiere, o al menos en el 95%, según las recomendaciones	0
	Entre el 90 y 95% de las veces que se requiere	1
	Entre el 80 y 90% de las veces que se requiere	2
	Entre el 70 y 80% de las veces que se requiere	3
	Menos del 70% de las veces que se requiere	4
H.3 Porcentaje de la población que consume agua tratada	95 a 100%	0
	90 a 95%	1
	80 a 90%	2
	70 a 80%	3
	Menor del 70%	4

Fuente: Elaboración propia.

### Cuadro 17. Estándar del componente I: Manejo de agua post-uso.

Indicador	Caracterización	Índice
I.1 Cobertura del servicio	90 a 100%	0
	80 a 90%	1

alcantarillado (% de la población con el servicio)	70 a 80%	2
	60 a 70%	3
	<b>Menor del 60%</b>	<b>4</b>
I.2 Tratamiento de aguas negras (% de aguas que son tratadas)	90 a 100%	0
	80 a 90%	1
	70 a 80%	2
	60 a 70%	3
	<b>Menor del 60%</b>	<b>4</b>
I.3 Nivel de tratamiento de las aguas residuales	Tratamiento avanzado (eliminación de contaminantes recalcitrantes)	0
	Tratamiento terciario (se eliminan sales inorgánicas disueltas, entre las que destacan el nitrógeno y el fósforo)	1
	Tratamiento secundario (reducción de la materia orgánica no biodegradable, principalmente, a través de procesos biológicos)	2
	Pre-tratamiento o tratamiento primario (eliminación de elementos sólidos suspendidos)	3
	<b>No se da tratamiento</b>	<b>4</b>
I.4 Sitio de descarga de las aguas negras	Planta de tratamiento	0
	Lagunas de estabilización	1
	Fosas sépticas	2
	Suelo con o sin cobertura vegetal	3
	<b>Cuerpo de agua (río, quebrada, lago, laguna)</b>	<b>4</b>
I.5 Capacitación a la población para el manejo de las aguas residuales	Se capacita a toda la población	0
	Se brinda capacitación a las personas responsables de tratar las aguas residuales y a un integrante de cada familia	1
	Se brinda capacitación a las personas responsables de tratar las aguas residuales	2
	Se brinda capacitación a autoridades	3
	<b>No se da capacitación</b>	<b>4</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 9.2 Anexo 2. Cálculo de la oferta de agua potable producido por las fuentes de abastecimiento

Cuadro 18. Cálculo de la oferta de agua potable producido por las fuentes de abastecimiento.

Ubicación	Fuente	No.	Producción (GPM)	Tiempo de producción (min)	Tiempo de recuperación (hrs)	No. veces de arranque / 24 hrs	Volumen (gal/día)	Volumen (l/s)
Ciénega I	Pozo	1	40	15	2	10	6,000	0.262875
		2	40	15	2	10	6,000	0.262875
		3	40	15	2	10	6,000	0.262875
		4	40	20	2	10	8,000	0.3505
		5	58	20	2	10	11,600	0.508225
		6	56	20	2	10	11,200	0.4907
		7	57	20	2	10	11,400	0.4994625
		8	61	20	2	10	12,200	0.5345125
		9	56	20	2	10	11,200	0.4907
Ciénega II	Nacimiento	1	17.5	1440	n/a	n/a	25,200	1.104075
		2	17.5	1440	n/a	n/a	25,200	1.104075
		3	17.5	1440	n/a	n/a	25,200	1.104075
	Pozo	10	56	20	2	10	11,200	0.4907
		11	57	20	2	10	11,400	0.4994625
	Nacimiento	4	20	1440	n/a	n/a	28,800	1.2618
		5	20	1440	n/a	n/a	28,800	1.2618
						Total	235,800	10.4887125

Fuente: Elaboración propia.

### 9.3 Anexo 3. Fotos de los sitios visitados.



Figura 20. Terreno Sistema de abastecimiento de agua potable Ciénega I.





Figura 21. Terreno Sistema de abastecimiento de agua potable Ciénega II.



Figura 22. Cabina de la Policía Forestal y de Medio Ambiente de Mixco.





Figura 23. Cerco alrededor de Ciénega I.



Figura 24. Cerco alrededor de Ciénega II.





Figura 25. Agua estancada y contaminada en zanjas de tubería, Ciénega II.



Figura 26. Pozo artesanal, Ciénega I y Ciénega II.



Figura 27. Nacimiento, Ciénega I y Ciénega II.





Figura 28. Tanque de almacenamiento, Ciénega I.



Figura 29. Línea de conducción, Ciénega I.



Figura 30. Dosificador de cloro para el sistema Las Ciénegas.





**INFORME DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DE AGUA**  
**MUESTRA No. 532-16**

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA <sup>(1)</sup>**

Interesado:	MUNICIPALIDAD DE MIXCO	
Punto de muestreo:	Grifo de la Pila Pública Fabrica La Luz	Cloro residual in situ (mg/L): 1.0
Fuente:	Pozos No. 1 y 2 de la Sienaga I y II El Manzanillo zona 1	pH in situ (unidades): 6.6
Municipio:	Mixco	Temperatura in situ (°C): 25
Departamento:	Guatemala	Técnica de preservación: Refrigeración
Fecha de captación:	28-Marzo-2016	Fecha de recepción: 28-Marzo-2016
Hora de captación:	08:00	Hora de recepción: 13:40
Responsable de captación:	Fernando Iriarte (Personal ajeno al Laboratorio INFOM)	

(1) Los datos fueron copiados textualmente de la tarjeta de identificación de la muestra.

**RESULTADOS**

ITEM	PARÁMETRO BACTERIOLÓGICO	LMP <sup>(2)</sup>	RESULTADO	UNIDADES
1	Grupo Coliforme Total	No Detectable en 100 mL de agua	No Detectado	NMP/100 mL <sup>(3)</sup>
2	<i>Escherichia coli</i>	No Detectable en 100 mL de agua	No Detectado	NMP/100 mL <sup>(3)</sup>

(2) Límite máximo permisible  
 (3) Número más probable en 100 mL de muestra

**CONCLUSION**

- De acuerdo a los resultados obtenidos, la muestra de agua **CUMPLE** con las características microbiológicas según los Límites Máximos Permisibles establecidos en la Norma COGUANOR NTG 29001. "Agua para consumo humano. Especificaciones".

**OBSERVACIONES**

- Los límites máximos permisibles de las características microbiológicas corresponden a los establecidos en la Norma Técnica Guatemalteca (Agua para consumo humano. Especificaciones) COGUANOR NTG 29001 (Acuerdo Gubernativo 83-2013) publicada en el Diario de Centro América el 2 de abril de 2013, numeral 6.1. Los parámetros microbiológicos analizados corresponden a los establecidos en el numeral 4.8 Programa de Análisis Mínimo de dicha norma.
- El examen del grupo Coliforme Total y *Escherichia coli* se realizó a través de la Prueba de Sustrato Enzimático en tubos múltiples, según lo establece la Norma Guatemalteca COGUANOR NGO 29018 h21, en el numeral 7.1 (aprobada por Acuerdo Gubernativo 510-2005, publicado en el Diario de Centroamérica el 19 de octubre de 2005). El límite de detección para esta prueba utilizando cinco porciones de 10 mL, cinco porciones de 1.0 mL y cinco porciones de 0.1 mL es NMP/100 mL <2.



**William Estrada Vargas**  
 Químico Biólogo, Colegiado 2241  
 Supervisor Microbiológico



**Vo.Bo. Jorge Mario Estrada Asturias**  
 Ingeniero Químico, Colegiado 685  
 Director del Laboratorio

Figura 31. Informe de análisis bacteriológico de agua sistema Las Ciénegas, INFOM.



# INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL -INFOM-

## LABORATORIO DE AGUA

11 Avenida "A" 11-67, zona 7, La Verbena, Guatemala

Teléfono/fax: 2472-3499

laboratorio@infom.gt

www.infom.gob.gt



### INFORME DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA MUESTRA No. 531-16

#### INFORMACIÓN DE LA MUESTRA <sup>(1)</sup>

Interesado:	MUNICIPALIDAD DE MIXCO	Cloro Residual <i>in situ</i> (mg/l):	1.0
Punto de muestreo:	Grifo de la pila pública Fábrica La Luz	pH <i>in situ</i> (unidades):	6.6
Fuente:	Pozos No. 1 y 2 de la Ciénega I y II El Manzanillo Zona 1	Temperatura <i>in situ</i> (°C):	25
Municipio:	Mixco	Técnica de preservación:	Refrigeración
Departamento:	Guatemala	Fecha de recepción:	28-Marzo-2016
Fecha de captación:	28-Marzo-2016	Hora de recepción:	13:40
Hora de captación:	08:00		
Responsable de captación:	Fernando Iriarte (Personal ajeno al Laboratorio INFOM)		

(1) Los datos fueron copiados textualmente de la tarjeta de identificación de la muestra.

#### RESULTADOS

ITEM	PARÁMETRO	UNIDADES	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(3)</sup>	RESULTADO
1	Cloro residual libre	mg/l Cl <sub>2</sub>	0.5	1.0	0.3
2	Color	Unidades Pt-Co	5.0	35.0	6.4
3	Hierro total	mg/L Fe	0.3	2.0 <sup>(5)</sup>	0.2
4	Manganeso total	mg/L Mn	0.1	0.4	<0.05
5	Nitrato	mg/L NO <sub>3</sub>	Nsc <sup>(4)</sup>	50	23
6	Nitrito	mg/L NO <sub>2</sub>	Nsc <sup>(4)</sup>	3.0	<0.01
7	Sulfato	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	100.000	250.000	5.3
8	Turbiedad	UNT	5.0	15.0	1.6
9	Cloruro	mg/L Cl	100.000	250.000	<10
10	Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	100.000	500.000	110
11	Calcio	mg/L Ca	75.000	150.000	29
12	Magnesio	mg/L Mg	50.000	100.000	9.7
13	Conductividad	µS/cm	750	1500	240
14	pH	Unidades pH	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5	7.2

(2) LMA = límite máximo aceptable (3) LMP = límite máximo permisible (4) Nsc = no se contempla en la norma (5) Según Acuerdo Ministerial 523-2013

#### CONCLUSIÓN

- De acuerdo con los resultados obtenidos, la muestra de agua **CUMPLE** con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la Norma COGUANOR NTG 29001.

#### OBSERVACIONES

- Los límites máximos aceptables y permisibles corresponden a la Norma Técnica Guatemalteca (Agua para consumo Humano. Especificaciones) COGUANOR NTG 29001 (Acuerdo Gubernativo 83-2013) publicada en el Diario de Centro América el 2 de abril de 2013. Los parámetros fisicoquímicos analizados corresponden a los establecidos en el numeral 4.8 Programa de Análisis Mínimo de dicha norma. El límite para Hierro Total corresponde al Acuerdo Ministerial 523-2013.
- Los datos de CLORO RESIDUAL, TEMPERATURA y pH *in situ* fueron proporcionados por el responsable de la captación.

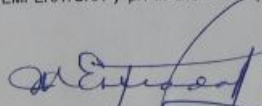
  
**Jorge Mario Estrada Asturias**  
 Ingeniero Químico, Colegiado 685  
 Director del Laboratorio de Agua



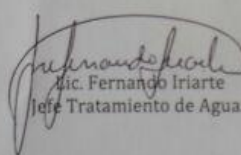
Figura 32. Informe de análisis fisicoquímico de agua sistema Las Ciénegas, INFOM.


Ciudad de Mixco, 7 de septiembre de 2016

Señorita  
Ana Pineda  
Presente

Es un gusto saludarle al mismo tiempo hacer la aclaración respecto a los análisis del agua potable realizados en el área de la Ciénaga I y II de Manzanillo zona 1 de Mixco en mayo de este año, con las muestras No. 532-16 para el análisis bacteriológico y No. 531-16 para el análisis fisicoquímicos que se realizó al agua en dicha fecha, los mismos fueron tomadas en la grifo de la pila publica de la fabrica la luz, pero se aclara que esta pila se encuentra en la calle y no es parte de la fabrica la luz, en esta pila que es pública y esta en la calle frente a la referida fabrica se unen los dos caudales de agua potable de Ciénaga I y II del manzanillo y por eso se toma como punto de muestro del sistema como tal.

Esperando sea esta información de su utilidad.

  
Lic. Fernando Iriarte  
Jefe Tratamiento de Aguas



c.c/ Archivo

*Trabajando por nuestra Ciudad!*

**ADMINISTRACIÓN 2016-2020**

Figura 33. Punto de muestreo análisis de agua potable sistema Las Ciénegas.



#### **9.4 Anexo 4. Estudio hidrogeológico de Mixco, JICA 1995.**

De acuerdo con el estudio hidrogeológico elaborado JICA en 1995, la cantidad de agua de recarga de esta cuenca subterránea que se ubica en esta área protegida es de 5,772 metros cúbicos por día, que de acuerdo con una escala cualitativa de agua subterránea, definida por el cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, entra dentro de la categoría de Muy Grande que dentro de una escala de 8 categorías es la segunda más grande, que va de 50 a 100 litros por segundo, siendo esta de 65 litros por segundo. (CATHALAC, 2012).

Al sobre poner la ubicación de los poblados con el mapa hidrogeológico se puede apreciar que estos poblados están ubicados sobre el área de recarga de la cuenca subterránea y sobre un sistema de fallas que podrían ser uno de los factores, del problema del agrietamiento del suelo. (CATHALAC, 2012).

A continuación se presenta en la Figura 34, el mapa hidrogeológico (JICA) de Mixco, con datos sobre el sistema de fallas y zonas de fracturas, instalaciones de abastecimiento de agua, cuenca de agua subterránea y áreas urbanas, elaborado por CATHALAC:

**Leyenda**

Manantiales y Pozos

● Pozo

● Tanque

● Nacimiento

Falla Geológica —

Zona Afectada □

Cuenca Subterránea ■

Área Protegida □

**Fuente de datos:**

Mapa Hidrogeológico (JICA) con

datos sobre:

Sistema de falla y zona de fracturas,

Instalaciones de abastecimiento de

agua, Cuenca de agua subterránea;

y Áreas Urbanas. Elaborado por

CATHALAC, a partir de imágenes

satelitales, ALI (NASA) y Landsat

TM5 (NASA/USGS); Límite de Áreas

protegidas (CONAP); Áreas afectadas

por Grietas en Mixco (MARN);

Polígono de áreas afectadas por

Grietas en Mixco (CONRED).

Mapa susceptibilidad regional a

Deslizamientos (SSAI/NASA, 2006).

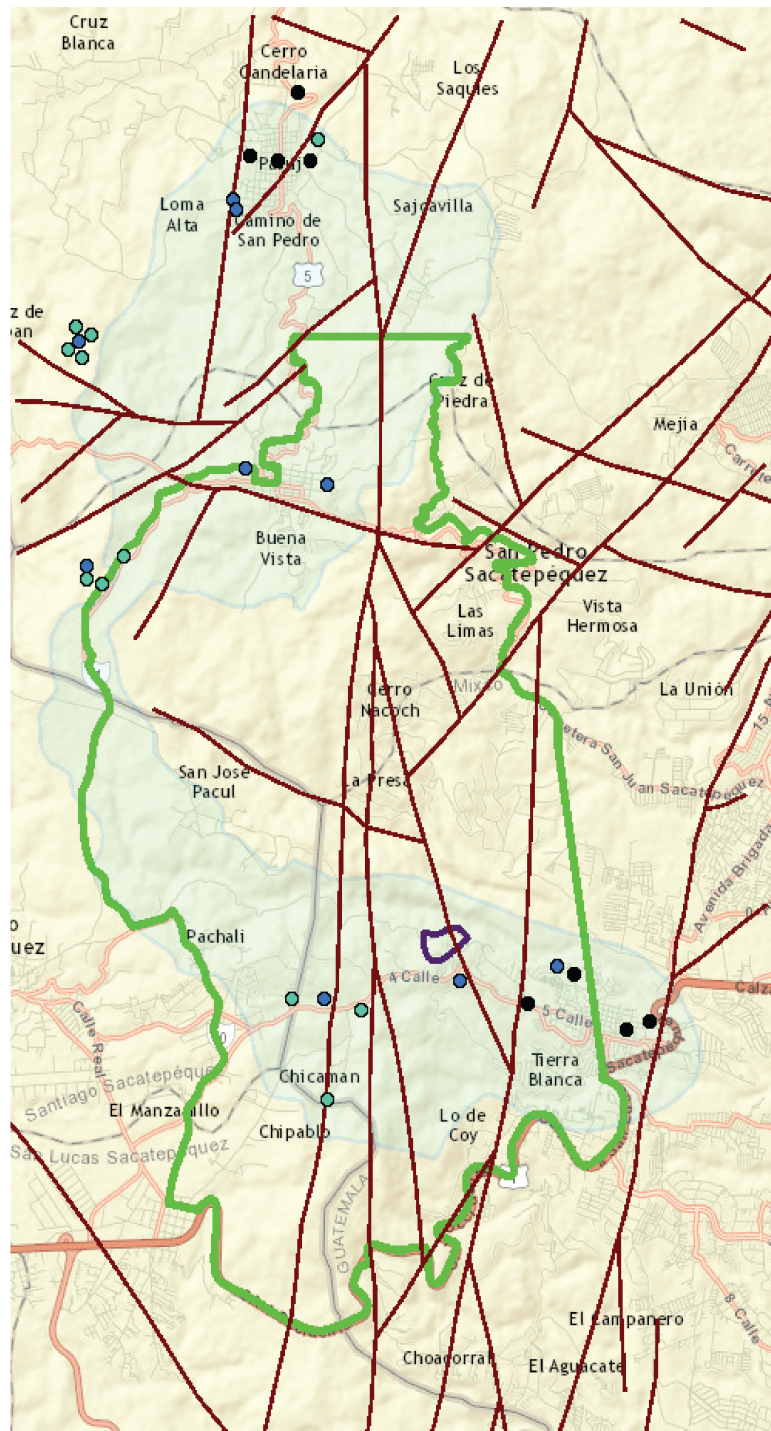


Figura 34. Mapa hidrogeológico de Mixco. (CATHALAC, 2012).

## 9.5 Anexo 5. Ubicación de las fuentes de abastecimiento de agua potable

A continuación en el Cuadro 19 y 20 se presenta una síntesis de las fuentes de abastecimiento de agua potable para la zona 1 de Mixco y así mismo, a continuación en la Figura 35, se presenta el mapa de ubicación de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la zona 1 de Mixco.

Cuadro 19. Resumen de los nacimientos en la zona de Mixco.

Ubicación	Nacimientos	Producción (GPM)	
		Época de invierno	Época de verano
Ciénega I	3	100	70
Ciénega II	2	30	20
	Total	360	250

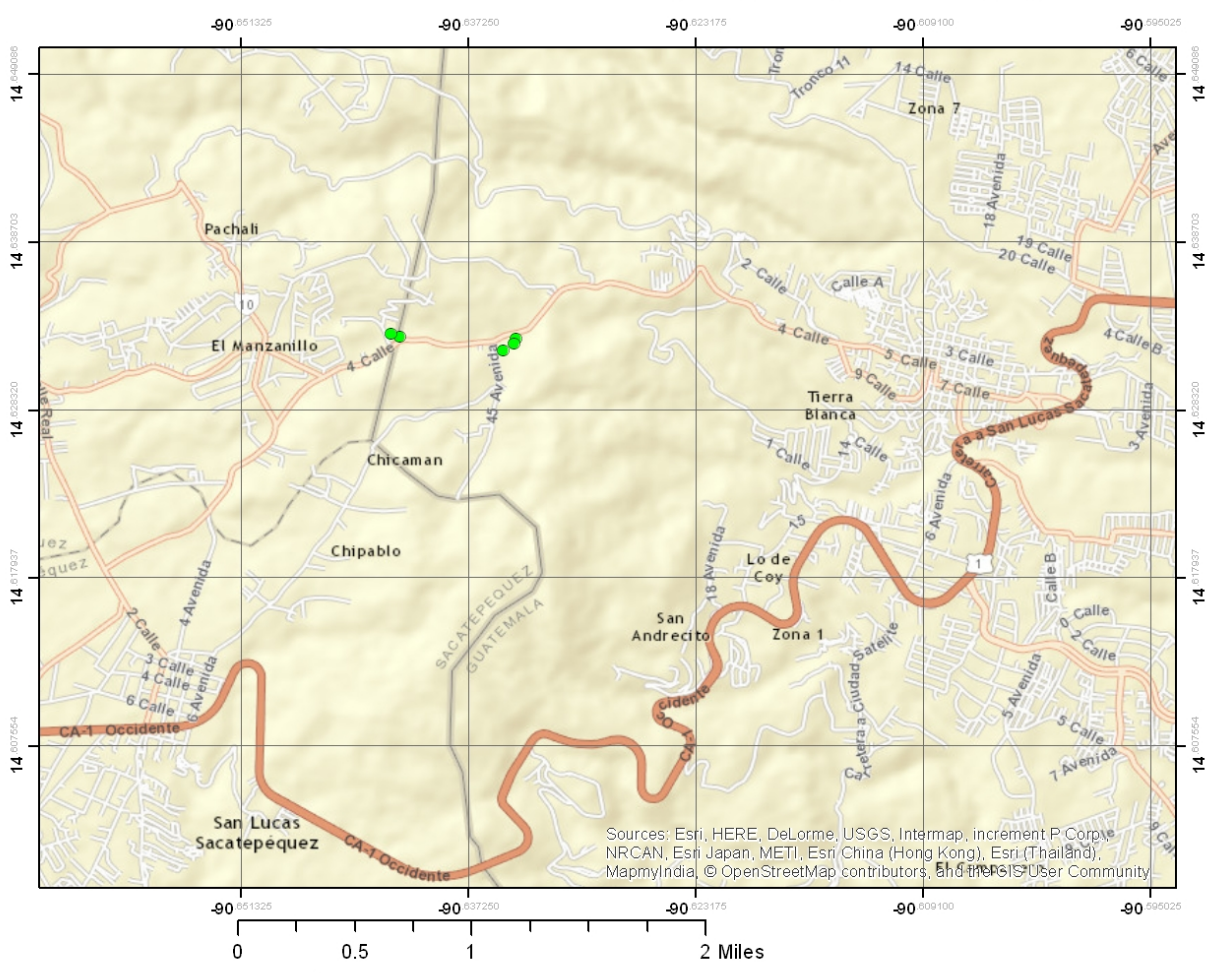
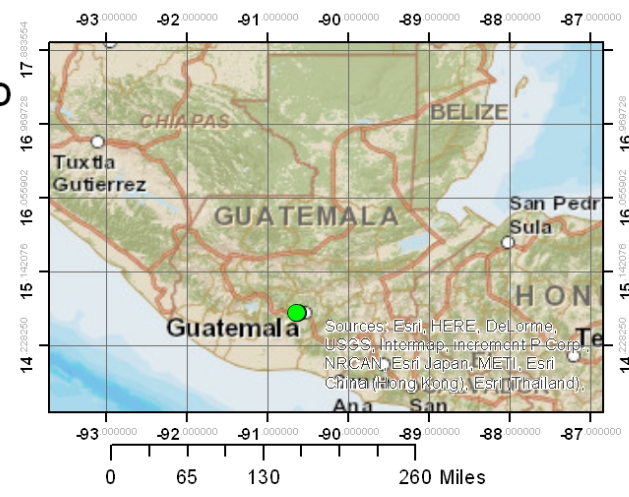
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 20. Resumen de los pozos artesanales de la zona 1 de Mixco.

Ubicación	Pozo No.	Profundidad (pies)	Producción (GPM)
Ciénega I	1	30	40 x 15 min y 2 hrs de recuperación
	2	30	40 x 15 min y 2 hrs de recuperación
	3	40	40 x 15 min y 2 hrs de recuperación
	4	40	40 x 20 min y 2 hrs de recuperación
	5	35	58 x 20 min y 2 hrs de recuperación
	6	40	56 x 20 min y 2 hrs de recuperación
	7	40	57 x 20 min y 2 hrs de recuperación
	8	40	61 x 20 min y 2 hrs de recuperación
	9	70	56 x 20 min y 2 hrs de recuperación
Ciénega II	10	30	56 x 20 min y 2 hrs de recuperación
	11	30	57 x 20 min y 2 hrs de recuperación
	Total		561

Fuente: Elaboración propia.

# Fuentes de abastecimiento Zona 1 de Mixco



**Leyenda**

- Fuentes de abastecimiento

Fuente:  
Elaboración propia con base en:  
- Mapa base (World\_Street\_Map)  
- Sistema de proyección (WGS\_1984\_Web\_Mercator\_Auxiliary\_Sphere)

Figura 35. Mapa de ubicación de fuentes de abastecimiento de la zona 1 de Mixco.

## 9.6 Anexo 6. Distintas teorías sobre el análisis de vulnerabilidad de sistemas de abastecimiento de agua

- Para determinar el grado de confiabilidad de los componentes del sistema se sugieren los siguientes criterios:

La Organización Panamericana de la Salud (OPS), plantea que los desastres sobrevienen por la intervención de dos factores: la amenaza o el peligro, y la vulnerabilidad. La forma de determinar el riesgo de que ocurra un daño es mediante la conjunción de ambos factores, según la siguiente fórmula:

$$R_{ie} = A_i \times V_e$$

Donde el riesgo  $R_{ie}$  es la probabilidad de que se presente un daño sobre el elemento  $e$  (que tiene una vulnerabilidad intrínseca  $V$ ) a raíz de la presencia de un evento peligroso ( $A$ ) con una intensidad igual a  $i$ . (Morales & González, 2001).

La probabilidad de que se produzcan daños sobre un sistema, por la acción de un fenómeno natural o producido por el hombre, será mayor cuanto mayores sea su intensidad y la vulnerabilidad, para lo cual es necesario su análisis. (Morales & González, 2001).

La American Water Works Association de los Estados Unidos de América (La AWWA), sugiere determinar el grado de confiabilidad ( $CE$ ) de un componente de un sistema de abastecimiento de agua en función del caudal necesario ( $Qn$ ) y el caudal producido ( $Qp$ ):

$$CE = Qp/Qn \dots(1)$$

Farrer, H., sugiere tomar como criterio el tiempo (expresado en días), necesario para habilitar nuevamente el componente, el cual se denominará tiempo de rehabilitación,

**TR** y que es función de: la magnitud del daño, la disponibilidad de recursos humanos, financieros, transporte, equipo, materiales, etc., para la rehabilitación y la facilidad de acceso. (Morales & González, 2001).

Shamir y Howard, sugieren definir la confiabilidad de un componente (**CE**) en términos de la escasez relativa, lo cual depende de dos componentes: confiabilidad de descarga (**CQ**) y de volumen (**CV**) dados por:

$$CE = \frac{CQ + CV}{2} \quad \dots(2)$$

$$CQ = 1 - (Qp / Qn)^n \quad \dots(3)$$

$$CV = 1 - Vp / Vn, \quad \dots(4)$$

siendo:

**Vp** : Volumen producido.

**Vn** : Volumen necesario.

**n** : Coeficiente de seguridad probabilística.

Para un desperfecto de una duración (**D**) se tendrá:

$$Vp = Qp - D \quad \dots(5)$$

$$Vn = Qn - D \quad \dots(6)$$

Sustituídas en la ecuación (4), se obtiene:

$$CV = 1 - \frac{Qp * D}{Qn * D} \quad . \quad CV = 1 - \frac{Qp}{Qn} \quad \dots(7)$$

Reemplazando los valores (3) y (7) en (2), ordenando, se tendrá el coeficiente de confiabilidad del elemento.

$$CE = 1 - \frac{(Qp / Qn)^n (Qp / Qn)}{2} \quad \dots(8) \quad \text{(Morales & González, 2001).}$$

Para el caso del análisis de vulnerabilidad en daños producidos en la operación y el mantenimiento del sistema y cuando se cuenta con información suficiente y confiable, otro criterio que se pudiera utilizar en el análisis, es expresar la vulnerabilidad de un componente del sistema como el porcentaje de rotura en los años que se analiza. (Morales & González, 2001).

- Para determinar el grado de confiabilidad del Sistema de Abastecimiento de Agua (CT) se sugiere lo siguiente:

Una vez definido el grado de confiabilidad de los componentes físicos y operacionales de un sistema de abastecimiento de agua, es necesario determinar el grado de confiabilidad de la totalidad del sistema a la presentación de determinado desastre. Para ello se pueden utilizar los siguientes criterios (dependientes del tipo de daño y de las características del Sistema de Abastecimiento de Agua). (Morales & González, 2001).

- a) El sistema tendrá un grado de confiabilidad tan bajo como el menor grado de confiabilidad que presente cualquier componente.
- b) El sistema tendrá un grado de confiabilidad igual a la media aritmética de los grados de confiabilidad de los diversos componentes. En este caso se tendrá:

$$CT = \frac{\sum_{1}^{N} CE}{N}$$

*CT*: Grado de confiabilidad del sistema.

*CE*: Grado de confiabilidad de los componentes 1 a *N*.

*N*: Número de componentes.

- c) El sistema tendrá un grado de confiabilidad igual a la media geométrica de los

grados de confiabilidad de los diversos componentes, para este caso se tendrá:

$$CT = \sqrt[N]{CE_1 * CE_2 * .. CE_N}$$

- a) Por otra parte, si existen  $m$  instalaciones en paralelo, aumentará el grado de confiabilidad del sistema según el siguiente criterio:

$$CE' = 1 - (1 - \sum_{m} CE/m)^m$$

siendo:

$CE'$ : Nuevo grado de confiabilidad.

$m$ : Número de procesos, instalaciones o componentes en paralelo.

- b) Utilizar la teoría de tiempo de rehabilitación, aquí se deberá determinar el tiempo de rehabilitación compuesto (TRC) y será el tiempo mayor requerido para que el conjunto de componentes del sistema suministre agua. (Morales & González, 2001).

### **Distintos métodos para el análisis de la vulnerabilidad**

- **Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales (CEPIS/OPS)**, es el título del estudio que propone la siguiente metodología de los tiempos de rehabilitación con fines de cuantificación de la vulnerabilidad:

Este estudio de vulnerabilidad cuantitativa de sistemas de agua potable y alcantarillado hace particular énfasis en el tratamiento de los problemas propios de la estabilidad de taludes, presentándose una guía para identificar taludes y/o terrenos de pendiente moderada, potencialmente inestables; se ha incorporado allí el caso de las acciones



sísmicas, así como la evaluación del potencial de licuefacción de suelos. Con esto se ofrece a los usuarios herramientas de mitigación, que complementan metodologías recientemente propuestas por CEPIS/OPS. (Grades, Contreras, & Grases, 1997).

La vulnerabilidad de los componentes del sistema es cuantificada en términos probabilísticos. Para ello se ha combinado: (a) la estadística disponible sobre los efectos conocidos en los componentes debido a sismos pasados; (b) los resultados de análisis dinámicos, en casos particulares, de la respuesta estructural a los sismos y vientos máximos esperados en la región y; (c) regresiones probabilísticas entre los movimientos máximos del terreno y los grados de la intensidad de Mercalli. (Grades, Contreras, & Grases, 1997).

Se ha constatado que, para aplicar de modo confiable la metodología de los tiempos de rehabilitación con fines de cuantificación de la vulnerabilidad propuesta por CEPIS/OPS, es preciso disponer de una casuística de averías y/o interrupciones de servicio debidamente documentada con: tiempos de rehabilitación, costos, fuerza laboral, materiales y equipamiento. (Grades, Contreras, & Grases, 1997).

La confiabilidad del sistema expresada en términos del complemento de la probabilidad de interrupción de servicio, es analizada para diferentes tipos de configuraciones de sus componentes: en serie, en paralelo o mixta. La extensión de estos conceptos básicos a los tiempos probables de rehabilitación (CEPIS/OPS) es inmediata; para ello se requiere la estadística de averías y/o interrupciones aludida en el párrafo anterior. (Grades, Contreras, & Grases, 1997).

Los componentes evaluados fueron: Represas, tuberías, puentes, chimeneas de equilibrio, red de alta tensión, estaciones de bombeo, tuneles y turbiedad. La vulnerabilidad de un determinado componente es definida por el grado del daño, debido a un determinado evento y se evalúa por medio de una matriz de vulnerabilidad, la cual proyecta un conjunto de vectores organizados para eventos de intensidad creciente, cuyas probabilidades de ocurrencia en un cierto horizonte de tiempo, dependen de la amenaza o peligrosidad en la región estudiada. (Grades, Contreras, & Grases, 1997).

La contribución que aquí se hace sobre el problema del manejo de cuencas para

reducir el arrastre de sedimentos y mejorar la calidad del agua, es limitada. (Grades, Contreras, & Grases, 1997).

- **La Guía Técnica para la Reducción de la Vulnerabilidad en Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario publicada por El Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), la Red de Agua y Saneamiento de Nicaragua (RASNIC) y la Cooperación Suiza para América Latina, usa la siguiente Metodología para el análisis y evaluación de riesgos:**

El Análisis de Riesgo está compuesto por el Análisis de la Amenaza y el Análisis de la Vulnerabilidad. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

#### 2.1.1 RIESGO: AMENAZA POR VULNERABILIDAD

La metodología de trabajo sugerida plantea el Análisis de riesgos a partir de tres pasos fundamentales que son:

##### PASO 1: Evaluación de amenazas

Se realiza a través de inventarios de fenómenos realizados de forma participativa con las municipalidades, los líderes comunales y la población; observaciones y mediciones de campo, análisis y revisión de información científica disponible (mapas, fotos aéreas, informes, etc.), con el fin de conocer la probable ubicación y severidad de los fenómenos naturales peligrosos, así como la probabilidad de que ocurran en un tiempo y área específica. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

- i. Tiene como resultado la elaboración de un mapa de amenazas, el cual representa un elemento clave para la planificación del uso del territorio y constituye un insumo imprescindible para la evaluación de los riesgos actuales y potenciales. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

## PASO 2: Evaluación de la vulnerabilidad:

Es el proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y predisposición a daños y pérdidas, ante una amenaza específica. Consiste en la identificación y evaluación de los elementos vulnerables y de los factores de vulnerabilidad. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

## PASO 3: Evaluación del riesgo:

Evaluar el riesgo es relacionar las amenazas y vulnerabilidades con el fin de determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales de un determinado evento sobre el Sistema de Agua y Saneamiento. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

## DESCRIPCIÓN DE PASOS

### PASO 1: Evaluación de Amenazas

El principal objetivo de una evaluación de amenazas, es predecir o pronosticar el comportamiento de los fenómenos naturales potencialmente dañinos o, en su defecto, tener una idea de la probabilidad de ocurrencia de dichos fenómenos para diferentes magnitudes. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

La evaluación de amenazas tiene 3 fases que son:

- i. Estimar la Intensidad relativa del fenómeno (por ejemplo: la altura de agua durante una inundación).
- ii. Estimar la Probabilidad o frecuencia de ocurrencia del fenómeno o desarrollo posible en el futuro (Cada cuantos años es posible que el fenómeno ocurra con iguales características).
- iii. Identificación del nivel de amenaza (alto/ medio/ bajo) Ver Figura 50. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

I	Alta	Alta	Alta	Media	Residual
---	------	------	------	-------	----------

n t e n s i d a d	Media	Alta	Media	Baja	
	Baja	Media	Baja	Baja	
	Frecuencia Tr	Alta 1-10	Media 10-50	Baja 50-200	Muy Baja >200
Frecuencia					

Identificación del nivel de amenaza. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

La metodología tiene los siguientes pasos:

i. Recopilación de información general y de los antecedentes:

- a. Utilizar técnicas participativas con la población (talleres) y otras fuentes.
- b. Análisis de fotos aéreas y mapas topográficos.
- c. Mapas de amenazas existentes.

ii. Observación directa en el terreno.

iii. Procesamiento de la información: Elaboración de mapas y documentos de apoyo. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

## PASO 2: Evaluación de Vulnerabilidad

Es el proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y predisposición a daños y pérdidas de los componentes del Sistema de Agua potable y Saneamiento, ante una amenaza específica. Consiste en la identificación y evaluación de los

elementos vulnerables y la estimación del porcentaje de pérdidas resultantes de un fenómeno peligroso. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

La metodología es basada en la utilización de información existente, actualizada y fiable sobre: El Sistema (planos del sistema, métodos operativos y datos sobre los componentes del Sistema), la zona del proyecto (ocurrencia de desastres, tipos de amenazas, mapas de amenazas, etc.) y el entorno (niveles de pobreza, organización, cuenca, etc.). (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

Cada análisis de vulnerabilidad se asocia a una determinada amenaza y de esto se determinan las estructuras y equipos susceptibles de sufrir daños en forma directa (por ejemplo, la inundación de una estación de bombeo) o indirecta (como fallos en el fluido eléctrico). Aunque se hace referencia al abastecimiento de Agua Potable, es aplicable de igual manera al Alcantarillado Sanitario. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

La vulnerabilidad de un Sistema de Agua Potable o Alcantarillado Sanitario, se analiza desde 5 perspectivas o dimensiones.

1. Física: Estimación de daños posibles en los componentes de la infraestructura debido a su nivel de exposición a las amenazas, la calidad de su construcción y el potencial de daño que podría esperarse de ser afectado por un desastre.

2. Operativa: Valoración de la capacidad remanente para prestar el servicio de agua potable y/o alcantarillado. Deben analizarse tanto los componentes internos de la empresa 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, etc.).

3. Organizativa: Análisis que permite determinar la capacidad institucional y empresarial o administrativa de la comunidad, asociada a organización, experiencia y recursos en general. La organización de la empresa o institución es muchas veces el elemento más vulnerable al impacto de las amenazas, dada la poca preparación y capacitación existente para atender situaciones de emergencia.

4. Culturales y socioeconómicos de la comunidad a la cual se prestan los servicios, ya

que el mal uso de los sistemas, la pobreza y niveles de escolaridad contribuyen a su vulnerabilidad.

5. Ambiental: Datos sobre la microcuenca, calidad del agua, etc. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

Para el análisis de vulnerabilidad se debe tomar en cuenta al menos los pasos siguientes:

i. Recopilación de información:

1. Identificación de la organización nacional y regional, así como de la normativa legal vigente sobre emergencias y desastres.

2. Descripción de la zona en estudio: ubicación, clima, estructura urbana, salud pública y saneamiento, datos geológicos, geomorfológicos y topográficos, desarrollo socioeconómico, etc.

3. Identificación y descripción de los elementos de cada componente del sistema.

4. Identificación y descripción funcional del sistema (caudales, niveles, presiones y calidad del servicio).

5. Identificación de los aspectos operativos del sistema (capacidad de los componentes, demanda, déficit o superávit).

6. Identificación y descripción de los aspectos administrativos y capacidad de respuesta de la empresa en el sistema en estudio.

7. Determinación de la demanda mínima de la población de los lugares considerados prioritarios para el abastecimiento, durante y después del impacto de la amenaza. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

ii. Observaciones directas en el terreno:

8. Determinación de parámetros y evaluación de las amenazas, considerando su impacto sobre el sistema (Vulnerabilidad física).

9. Identificación de los componentes críticos y vulnerables del sistema, responsables de que éste no tenga capacidad para atender la demanda mínima y los lugares de abastecimiento considerados prioritarios. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

iii. Estimación de la vulnerabilidad y elaboración de los mapas de vulnerabilidad a partir de la identificación y determinación de los posibles efectos del impacto de la amenaza sobre los componentes del Sistema.

El análisis de vulnerabilidad de los componentes del Sistema permitirá obtener un mapa de vulnerabilidad del Sistema, en los cuales se tendrán identificados los componentes más vulnerables y críticos. Para su elaboración se debe superponer los planos del Sistema con los componentes identificados como más vulnerables y los mapas de amenazas para cada una de las amenazas identificadas.

1. Cuantificación de la capacidad útil remanente de cada componente y subsistema para operar en determinada condición, considerando cantidad, calidad y continuidad (vulnerabilidad operativa).

2. Estimación de la capacidad organizativa de respuesta (vulnerabilidad organizativa).

iv. Determinación de medidas de mitigación, preparación y emergencia para revertir el impacto de la amenaza sobre los componentes del sistema; tanto en aspectos administrativos y operativos como físicos. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

### PASO 3: Evaluación del Riesgo

Es el conjunto de acciones y procedimientos para la identificación de los peligros y Análisis de la Vulnerabilidad de una población con fines de evaluar los riesgos (probabilidad de daños: pérdidas de vidas humanas e infraestructura), en función de ello, recomendar medidas de Prevención (medidas estructurales y no estructurales) y/o Mitigación para reducir los efectos de los desastres. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

Un análisis de riesgo consiste en estimar las pérdidas probables para los diferentes eventos peligrosos posibles. Evaluar el riesgo es relacionar las amenazas y las

vulnerabilidades con el fin de determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales de un determinado evento. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

El análisis de riesgo de los componentes del Sistema de Agua Potable permitirá obtener un mapa de riesgos del Sistema, en los cuales se tendrán identificados los componentes más vulnerables y críticos del Sistema y las amenazas a las cuales está expuesto. Para su elaboración se debe superponer los planos del Sistema con los componentes identificados como más vulnerables y los mapas de las amenazas identificadas. (INAA, RASNIC & COSUDE, 2000).

- **Emergencias y desastres en sistemas de agua potable y saneamiento: Guía para una respuesta eficaz por OPS & AIDIS** propone la siguiente metodología empleada para el análisis de vulnerabilidad:

A continuación se resumen los pasos para llevar adelante el análisis de vulnerabilidad. Aunque se hace referencia al abastecimiento de agua potable, es aplicable de igual manera al alcantarillado sanitario:

1. Identificación de la organización nacional y regional, así como de la normativa legal vigente sobre emergencias y desastres.
2. Descripción de la zona en estudio: ubicación, clima, estructura urbana, salud pública y saneamiento, datos geológicos, geomorfológicos y topográficos, desarrollo socioeconómico, etc.
3. Identificación y descripción de los elementos de cada componente del sistema.
4. Identificación y descripción funcional del sistema (caudales, niveles, presiones y calidad del servicio).
5. Identificación de los aspectos operativos del sistema (capacidad de los componentes, demanda, déficit o superávit).
6. Identificación y descripción de los aspectos administrativos y capacidad de respuesta



de la empresa en el sistema en estudio.

7. Determinación de parámetros y evaluación de las amenazas, considerando su impacto sobre el sistema.

8. Estimación de la vulnerabilidad a partir de la identificación y determinación de los posibles efectos del impacto de la amenaza sobre los componentes del sistema.

9. Cuantificación de la capacidad útil remanente de cada componente y subsistema para operar en determinada condición, considerando cantidad, calidad y continuidad (vulnerabilidad operativa).

10. Identificación de los componentes críticos y vulnerables del sistema, responsables de que éste no tenga capacidad para atender la demanda mínima y los lugares de abastecimiento considerados prioritarios (vulnerabilidad física).

11. Estimación de la capacidad organizativa de respuesta (vulnerabilidad organizativa).

12. Determinación de medidas de mitigación, preparación y emergencia para revertir el impacto de la amenaza sobre los componentes del sistema; tanto en aspectos administrativos y operativos como físicos.

13. Determinación de la demanda mínima de la población de los lugares considerados prioritarios para el abastecimiento, durante y después del impacto de la amenaza.

14. Preparación del informe final y los planos de vulnerabilidad. El primero se puede hacer de forma conjunta para las diferentes amenazas que se considere tengan impacto sobre el área del sistema.

15. Elaboración del Plan de emergencia y de los Programas de prevención y mitigación.

Para cada una de las amenazas, deben repetirse los pasos 7 a 13. (OPS & AIDIS, 2004).

La vulnerabilidad de un sistema de agua potable o alcantarillado sanitario se analiza desde tres puntos de vista:

- Física: estimación de daños posibles en los componentes de la infraestructura.
- Operativa: valoración de la capacidad remanente para prestar el servicio de agua potable y/o alcantarillado, que incluye el cálculo del tiempo en el cual el sistema será rehabilitado.
- Organizativa: análisis que permite determinar la capacidad institucional y empresarial de respuesta, asociada a organización, experiencia y recursos en general. (OPS & AIDIS, 2004).

En algunos casos puede ser necesario considerar aspectos culturales y socioeconómicos de la comunidad a la cual se prestan los servicios, ya que el mal uso de los sistemas contribuye a su vulnerabilidad. (OPS & AIDIS, 2004).

Cada análisis de vulnerabilidad se asocia a una determinada amenaza y de esto se determinan las estructuras y equipos susceptibles de sufrir daños en forma directa (por ejemplo, la inundación de una estación de bombeo) o indirecta (como fallos en el fluido eléctrico). (OPS & AIDIS, 2004).

Deben analizarse tanto los componentes internos de la empresa 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, etc.). (OPS & AIDIS, 2004).

La organización de la empresa o institución es muchas veces el elemento más vulnerable al impacto de las amenazas, dada la poca preparación y capacitación existente para atender situaciones de emergencia. A ello se suma la imposibilidad de responder rápidamente después de un desastre, debido a impedimentos para contratación y para realizar compras directas. (OPS & AIDIS, 2004).

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, recargado y bajo presión. (OPS & AIDIS, 2004).

Por último, cabe añadir que para sistematizar la información fundamental que permita una estimación cualitativa de la vulnerabilidad partiendo de los datos e información

mencionada anteriormente (tanto de amenazas como del sistema en análisis), se puede hacer uso de cuadros o matrices, con el fin de sistematizar información, tal como tiempos de rehabilitación, capacidad remanente inmediata y se valora el impacto en el servicio para cada uno de los potenciales desastres en la zona en estudio. (OPS & AIDIS, 2004).

- **Metodología para el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano elaborada para un estudio de maestría en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza –CATIE-:**

Es la metodología usada en el presente estudio (ver apartado 4.2.7). Para el cálculo de la vulnerabilidad se realizó una adaptación de la metodología propuesta por Mendoza (2008), basada en la evaluación de la vulnerabilidad por componente y la vulnerabilidad global del sistema.

Se aplicó la metodología con una modificación, la cual que consiste en realizar una caracterización y evaluación de nueve componentes, en lugar de diez a partir de la Metodología para el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano elaborada para un estudio de maestría en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza –CATIE-. El componente que se excluyó es el de “Uso y manejo del agua en el hogar” por la delimitación del presente estudio en tiempo y alcance.

#### **Otros estudios parecidos realizados en Guatemala**

- **Análisis de vulnerabilidad del sistema de agua potable de Santa Catarina Pinula, Guatemala,** es el título del trabajo de graduación de Wilfredo Antonio Cano Zamora previo a conferírsele el título de Ingeniero Civil y presenta las siguientes conclusiones principales:

1. El sistema de agua potable de Santa Catarina Pinula es muy vulnerable frente a los fenómenos naturales, y no cuenta con planes de mitigación, ni emergencia para contrarrestar los mismos. (Cano, 2006).
2. Los componentes del sistema de agua potable de Santa Catarina Pinula, más vulnerables ante los fenómenos naturales, según la investigación realizada en este documento son, el tanque de almacenamiento y la planta de tratamiento El Huisital. (Cano, 2006).
3. El fenómeno natural o amenaza, que más daño puede provocar a los diferentes componentes del sistema de agua potable de Santa Catarina Pinula, son los deslizamientos o derrumbes causados por sobrecarga de taludes, debido a las constantes lluvias, en época de invierno. (Cano, 2006).

- **La Caracterización del sistema de distribución de agua potable del casco urbano del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, como trabajo de Sistematización de Práctica Profesional por Josué Ricardo Mena Enamorado**, previo a conferírsele el título de Ingeniero Ambiental en el grado académico de Licenciado y presenta las siguientes conclusiones principales:

1. La generación de los mapas básicos de la red de distribución de agua potable refleja el proceso de distribución del recurso hídrico en el casco urbano así como la infraestructura utilizada. (Mena, 2014).
2. La gestión administrativa y la infraestructura de abastecimiento necesitan mejoras en componentes puntuales como eficiencia en horas de servicio y constancia en el mantenimiento, en el caso de la gestión administrativa las mejoras se requieren en capacitación, reuniones entre el personal y disminución del porcentaje de morosidad en usuarios. (Mena, 2014).
3. Debido a que la población actual no es la misma que hace diez años, es posible que el diámetro de tubería este resintiéndose ese cambio en la densidad poblacional haciendo necesario un estudio hidráulico para determinar la eficiencia en la distribución espacial actual de los diámetros de tubería. (Mena, 2014).

- **El Informe situacional de los sistemas de agua potable, saneamiento e higiene del departamento de Chiquimula por la Secretaría Ejecutiva de la CONRED -SE-CONRED-, Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia -SCEP-, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social -MSPAS- y el Instituto de Fomento Municipal -INFOM-, presenta las siguientes conclusiones principales:**

1. A excepción del municipio de Ipala, ninguna de las municipalidades de las nueve, cuenta con un sistema de información ni banco de datos que demuestren la situación que posee cada una de sus aldeas y caseríos, tampoco la planificación del desarrollo rural es considerada por las alcaldías y concejos municipales, con pocas excepciones en algunos de los casos. (CONRED, SCEP, MSPAS, INFOM, 2015).
2. La preocupación de las alcaldías y concejos municipales, es en parte solo para el área urbana, la cual aún cuenta con muchas debilidades y que urge también su fortalecimiento. (CONRED, SCEP, MSPAS, INFOM, 2015).
3. Actualmente se observa que la mayoría de los municipios no cumple con la normativa vigente para dotación de agua apta para consumo humano. (CONRED, SCEP, MSPAS, INFOM, 2015).
4. A excepción del Municipio de Ipala, ninguna municipalidad es auto sostenible, los alcaldes y concejos municipales caen en problemas por tomar del 10 % constitucional y otros impuestos de gobierno para sostener los servicios básicos, por no generarse los suficientes ingresos en concepto de tarifas del agua y del saneamiento. (CONRED, SCEP, MSPAS, INFOM, 2015).
5. No se cuenta con reglamentos modernos o actualizados en cada una de las municipalidades para una efectiva administración, operación y mantenimiento de los sistemas, para garantizar la calidad del agua y que esta cumpla con ser “potable”. (CONRED, SCEP, MSPAS, INFOM, 2015).
6. No se cumple con el acuerdo 236-2006 en referencia a la descarga de aguas residuales a los cuerpos receptores, así como el contar con las respectivas plantas de tratamiento y el manejo de los lodos; a excepción de del municipio de Ipala, que

cuenta con lagunas de estabilización. Pero no se tuvo la oportunidad de comprobar la eficiencia de depuración del sistema. (CONRED, SCEP, MSPAS, INFOM, 2015).

7. Debilidades municipales en la recolección, disposición, transporte de los Desechos y Residuos Sólidos. No se cuenta con el adecuado manejo, transporte, disposición final y tratamiento de los desechos y residuos sólidos. No se tiene ni un solo relleno sanitario, en ninguno de los municipios. (CONRED, SCEP, MSPAS, INFOM, 2015).
8. No se cuenta con la correspondiente unidad de gestión para la reducción del riesgo, ni la inclusión de la variable de riesgo en planificación de los proyectos de agua potable y saneamiento. (CONRED, SCEP, MSPAS, INFOM, 2015).