

Serie Mitigación de Desastres

Manual para la mitigación de desastres naturales en sistemas rurales de agua potable

Galo Plaza N. y Hugo Yépez A., Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

con la colaboración de Felipe Aguinaga y Heliria Lahiedra, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
revisión técnica de Claudio Osorio y Mario Ballesteros, OPS/OMS

2a. Edición (revisada)



Organización Panamericana de la Salud
Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud

San José, Costa Rica, enero del 2001

Foto de la cubierta Julio Vizcarra, OPS/OMS

Catalogación por la biblioteca de la OPS:

Plaza N , Galo

Manual para la mitigación de desastres naturales en sistemas rurales de agua potable
2 ed Washington, D.C.: OPS, © 2000. - (Serie Mitigación de Desastres)

ISBN 92 75 32341 0

1. MITIGACION PREVIA AL DESASTRE
2. ABASTECIMIENTO RURAL DE AGUA
3. AGUA POTABLE — administración y dosificación
4. CONTAMINACION DEL AGUA — prevención y control
5. EMERGENCIAS EN DESASTRES
6. ECUADOR

HV553 P696 2000

Impresion Comercial, La Nacion S A

© Organización Panamericana de la Salud, 1998

© 2a. edición, Organización Panamericana de la Salud, 2001

Una publicación del Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación del Socorro en Casos de Desastre, OPS/OMS

Las opiniones expresadas, recomendaciones formuladas y denominaciones empleadas en esta publicación no reflejan necesariamente los criterios ni la política de la OPS/OMS ni de sus estados miembros.

La Organización Panamericana de la Salud dará consideración favorable a las solicitudes de autorización para reproducir o traducir, total o parcialmente, esta publicación. Las solicitudes deberán dirigirse al Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación del Socorro en Casos de Desastre, Organización Panamericana de la Salud, 525 Twenty-third Street, N W., Washington, D.C. 20037, EUA; fax: (202) 775-4578, correo electrónico disaster@paho.org.

La realización de esta publicación ha sido posible gracias al apoyo financiero del Ministerio de Relaciones Exteriores de la República Federal de Alemania, Grupo de Trabajo Ayuda Humanitaria, la División de Ayuda Humanitaria Internacional de la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (IHA/CIDA), y la Oficina de Asistencia al Exterior en Casos de Desastre de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (OFDA/AID) y el Departamento para el Desarrollo Internacional del Reino Unido (DFID)

Contenido

Prefacio	v
Introducción	1
Alcance del Manual	2
Estructura del Manual	3
Capítulo 1	
Características generales de los sistemas rurales de agua potable, de las amenazas naturales y sus efectos en los sistemas	5
1.1 Sistemas rurales de agua potable	5
1.2 Las amenazas naturales	6
1.3 Efectos de las amenazas naturales en los sistemas	8
Capítulo 2	
Análisis de vulnerabilidad para los sistemas rurales de agua potable	15
Capítulo 3	
Pasos para realizar el análisis de vulnerabilidad e identificar las medidas de mitigación	17
Paso 1. Identificación de la organización para el abastecimiento de agua potable y de la administración local	17
Paso 2: Identificación de la forma de operación de los sistemas	18
Paso 3: Descripción de la zona, del sistema y de su funcionamiento	18
Paso 4 Identificación y caracterización de las amenazas	19
Paso 5: Identificación de la vulnerabilidad	20
Paso 6: Determinación de las medidas de mitigación	21
Capítulo 4	
Lineamientos generales para la ejecución del plan de mitigación	23
Capítulo 5	
Formatos e instrucciones para recopilar la información	25
Introducción	25
Formato 1 Identificación de la organización institucional y de la administración local	26
Formato 2 Identificación de la forma de operación	30
Formato 3.1 Características de la zona	32
Formato 3.2 Descripción del sistema y sus componentes	34

Formato 4	Identificación y características de las amenazas	38
Formato 5.1	Vulnerabilidad administrativa	40
Formato 5.2	Vulnerabilidad operativa	42
Formato 5.3	Vulnerabilidad física	44
Formato 6.1	Medidas de mitigación: vulnerabilidad física	48
Formato 6.2	Medidas de mitigación: vulnerabilidad operativa	52
Formato 6.3	Medidas de mitigación: vulnerabilidad administrativa	54

Capítulo 6

Ejemplo de aplicación en la comunidad de San Vicente de Poaló	57
--	----

Figura 1	Croquis actual de agua potable San Vicente de Poaló	58
----------	---	----

Figura 2	Mapa de los peligros volcánicos potenciales asociados con el volcán Cotopaxi, zona sur 1988	59
----------	---	----

Figura 3	Cartografía de la amenaza volcánica en la zona del sistema	60
----------	--	----

Figura 4	Mapa de intensidades máximas	61
----------	------------------------------	----

Formato 1	Identificación de la organización institucional y de la administración local	62
-----------	--	----

Formato 2	Identificación de la forma de operación	63
-----------	---	----

Formato 3.1	Características de la zona	64
-------------	----------------------------	----

Formato 3.2	Descripción del sistema y sus componentes	65
-------------	---	----

Formato 4	Identificación y características de las amenazas	66
-----------	--	----

Formato 5.1	Vulnerabilidad administrativa	67
-------------	-------------------------------	----

Formato 5.2	Vulnerabilidad operativa	68
-------------	--------------------------	----

Formato 5.3	Vulnerabilidad física (sequía)	69
-------------	--------------------------------	----

Sismos	70
--------	----

Vandalismo	71
------------	----

Erupción Volcánica	72
--------------------	----

Formato 6.1	Medidas de mitigación: vulnerabilidad física (sequía)	76
-------------	---	----

Sismos	74
--------	----

Inundación	75
------------	----

Erupción volcánica	76
--------------------	----

Formato 6.2	Medidas de mitigación: vulnerabilidad operativa	77
-------------	---	----

Formato 6.3	Medidas de mitigación: vulnerabilidad administrativa	78
-------------	--	----

Conclusiones y recomendaciones	79
--------------------------------	----

Definiciones	81
---------------------	----

Referencias	83
--------------------	----

Programa de Desastres	85
-----------------------	----

SUMA	87
------	----

CRID	88
------	----

Otros títulos en la misma serie	89
---------------------------------	----

Prefacio

El presente documento fue realizado dentro del marco de actividades del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN), bajo los auspicios de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y gracias al apoyo financiero del Ministerio de Relaciones Exteriores de la República Federal de Alemania, Grupo de Trabajo Ayuda Humanitaria

Recoge parte de la experiencia, y de los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto *“Mitigación de Desastres en Sistemas de Agua Potable en Latinoamérica y el Caribe”*, ejecutado por la Organización Panamericana de la Salud, con el apoyo financiero del Ministerio de Relaciones Exteriores de la República Federal de Alemania, Grupo de Trabajo Ayuda Humanitaria. El proyecto ha permitido desarrollar normas y guías para el análisis de la vulnerabilidad en los sistemas de agua potable, y ha promovido el desarrollo de estudios pilotos en varios de los países andinos.

Este libro se basa pues en parte de esa experiencia práctica, y en el análisis de otros documentos preparados con el apoyo de la OPS/OMS. Esperamos que su lectura contribuya a un cambio de actitud, y más aún, a la generación de políticas y puesta en marcha de acciones de mitigación para la reducción del impacto de los desastres.

Un gran número de personas han contribuido a este manual, pero queremos agradecer especialmente la contribución realizada por el personal técnico de la Dirección Provincial de Cotopaxi, Subsecretaría de Saneamiento Ambiental del Ecuador.

Los editores

Introducción

Alrededor del cincuenta por ciento de los habitantes de los países en vías de desarrollo aún viven en el medio rural. Las poblaciones rurales se abastecen de agua a través de sistemas que presentan características físicas propias de cada medio y esquemas de organización, administración y operación diferentes a los de las zonas urbanas.

La construcción de los sistemas rurales de abastecimiento de agua ha representado un gran esfuerzo económico para las débiles economías de la mayoría de estos países y, más aún, para sus habitantes que generalmente pertenecen a las clases más pobres y marginadas. Estos sistemas han mostrado ser vulnerables al impacto de fenómenos naturales como sismos, erupciones volcánicas, deslizamientos, inundaciones y sequías, que se presentan con relativa frecuencia y aún con cierta ciclicidad.

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

Se reconoce que los daños físicos en los sistemas, la desorganización, la suspensión del servicio, las pérdidas económicas y otros impactos producidos por un fenómeno natural catastrófico, constituyen una real amenaza para el desarrollo y la salud de estos segmentos más empobrecidos de la región. Disponer de sistemas de abastecimiento de agua potable seguros frente a las distintas amenazas naturales es una necesidad imperiosa. La experiencia ha demostrado que cuando ocurre un desastre, el acceso al agua potable es totalmente indispensable para garantizar la salud de la población y para facilitar las operaciones de respuesta, recuperación y retorno a la normalidad.



Reconstrucción de sistemas de abastecimiento de agua potable dañados por el terremoto de Cotacachi - Ecuador, Marzo 1996

Foto Plaza 1996

Teniendo en cuenta los estudios existentes sobre el comportamiento de los sistemas rurales de agua potable en casos de desastre, podemos afirmar que en la mayoría de los casos son vulnerables a sufrir daños en un desastre, pero podemos también disminuir el impacto y conseguir la rápida recuperación de los sistemas si tomamos medidas tales como la incorporación de los conceptos de amenazas naturales en el diseño de los nuevos sistemas, la implementación de medidas sencillas de reforzamiento en los sistemas constructivos, la capacitación del personal y el desarrollo y puesta en práctica de planes de mitigación y de respuesta ante las emergencias

El análisis de vulnerabilidad es desde el punto de vista de la prevención una de las herramientas más importantes para realizar un manejo adecuado de los efectos que los desastres naturales pueden causar en los sistemas de agua potable. Permite estimar el grado de los daños en los componentes del sistema para poder reforzarlos y evitar esos daños en futuros impactos. Es decir, una vez evaluado el nivel de los daños de cada uno de esos componentes frente a las amenazas naturales propias de la zona, es posible definir las medidas de mitigación que disminuyan la vulnerabilidad y permiten reducir el riesgo.

La determinación de esas medidas correctivas o de mitigación son pues la finalidad del análisis y el objetivo principal de este manual. Las medidas de mitigación abarcan un amplio espectro de actividades que comprenden dos tipos de acciones: las estructurales, tales como el reforzamiento o la reubicación de las instalaciones físicas, y las organizativas funcionales, como capacitación de personal de la organización institucional, de la administración y del operador del sistema, la adopción de nuevos procedimientos administrativos y operativos, la formulación de leyes y reglamentos, etc.

Alcance del Manual

Este manual está dirigido al personal técnico y administrativo encargado de los sistemas rurales de abastecimiento de agua potable, para que mediante su utilización se pueda determinar la vulnerabilidad de dichos sistemas y plantear las medidas de mitigación que permitan reducir el impacto de los fenómenos naturales.

El manual ha sido preparado tomando como base principalmente la *"Guía Para el Análisis de Vulnerabilidad y Determinación de las Medidas de Mitigación para los Sistemas Rurales de Agua Potable en el Área Andina"*, (Escuela Politécnica Nacional - OPS, 1997), que recoge la experiencia del sismo del 28 de Marzo de 1996 ocurrido en Pujilí, Ecuador y su impacto en los sistemas rurales, los lineamientos sobre análisis de vulnerabilidad de sistemas de agua potable encontrados en las *"Guías Para La Elaboración del Análisis de Vulnerabilidad de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario"* (OPS/CEPIS, 1996), la experiencia e información recogida durante las observaciones de varios sistemas rurales de la sierra y costa ecuatoriana; y, la discusión y aporte obtenidos por parte de administradores, técnicos y operadores de los sistemas.

El grado o nivel del análisis de vulnerabilidad escogido como herramienta de diagnóstico para determinar las medidas de mitigación, se fundamenta en la sencillez de la estructura física de los sistemas rurales de abastecimiento de agua potable y en la identificación de sus

características generales; en la disponibilidad de parámetros sencillos para caracterizar las amenazas típicas de la región; y, en el conocimiento de la organización institucional, la administración y la capacidad de operación locales de los sistemas. Esto permite obtener los lineamientos generales para esbozar un plan de mitigación.

Para realizar el análisis es necesario contar con el concurso de técnicos de la organización institucional, de los administradores y operadores locales de los sistemas.

Estructura del Manual

El libro ha sido estructurado en tres partes. En la primera, además de esta introducción, se indican las características generales de los sistemas rurales de agua potable, de las principales amenazas naturales y sus efectos sobre aquellos. La segunda trata el método del análisis de vulnerabilidad y el procedimiento para aplicarlo en los sistemas de agua potable, y la tercera incluye una muestra variada de formatos que pueden ser utilizados para realizar el análisis, con indicaciones claras para rellenarlos, y un ejemplo práctico de aplicación de esta metodología en el caso de un sistema rural de agua potable ubicado en el área andina del Ecuador.



Mientras se encuentre interrumpido el normal suministro de agua, debe asegurarse la entrega de agua segura y en cantidades adecuadas a la población afectada.

Capítulo 1

Características generales de los sistemas rurales de agua potable, de las amenazas naturales y sus efectos en los sistemas

1.1 Sistemas rurales de agua potable

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

Los sistemas pueden funcionar a gravedad, bombeo o pueden ser mixtos. En un sistema a gravedad el agua circula desde la captación hasta la distribución aprovechando la pendiente natural del terreno. Un sistema por bombeo requiere de equipo electromecánico para el abastecimiento del agua. Un sistema mixto requiere para que el agua circule, tanto de equipo electromecánico como de la pendiente natural del terreno

Estos sistemas tienen cuatro componentes básicos: captación, conducción, almacenamiento y distribución

- **Captación:** La captación puede ser de vertiente, de río, subterránea o de acueducto, con estructuras de tipo muro, tanque, azud, con pozos, o con derivación de un acueducto principal. Los muros, tanques o azudes están contruidos en hormigón y tienen tamaños variables. Los pozos pueden estar revestidos con tuberías de PVC o acero, con bombas sumergibles u horizontales, alimentadas por un sistema eléctrico regional o por generadores auxiliares. Existen también sistemas de bombeo manual para abastecimiento unifamiliar. Las derivaciones pueden ser de canales abiertos (compuertas) o de tuberías
- **Conducción:** Consta de tubos de conducción, tanques recolectores, tanques repartidores, tanques rompedores y pasos de quebrada. La longitud de la conducción es variable. Los tubos en general están enterrados, pueden ser de PVC, polietileno, asbesto, cemento o hierro, con diámetros inferiores a 10 pulgadas. Los tanques están contruidos con mampostería de ladrillo u hormigón simple debido a sus pequeñas dimensiones. Los pasos de quebrada pueden tener estructuras sobre las que se asientan los tubos, ser colgantes o subfluviales, con longitudes variables.

- **Almacenamiento - Tratamiento:** El almacenamiento consta de uno o varios tanques de almacenamiento de tamaño variable, de hormigón armado o terrocemento, enterrados, semienterrados, superficiales o elevados con estructura metálica o de hormigón. Las plantas de tratamiento puede tener aireadores, floculadores, sedimentadores y filtros. La desinfección puede ser manual o con dosificador. Este componente está ubicado en un área con cerramiento y puede tener una caseta donde se realiza la desinfección, que generalmente es el único tratamiento. En algunos casos la desinfección se realiza directamente en los pozos de captación.
- **Distribución:** Consta de tubos de distribución, tanques repartidores, pasos de quebrada o río, conexiones domiciliarias con o sin medidores y puede tener sistema electromecánicos de impulsión. Los tubos pueden ser de PVC o polietileno con diámetros menores a 6 pulgadas y las conexiones domiciliarias son con tubería de hierro o polietileno generalmente con diámetro de 1 ½ pulgada. La longitud de la red de distribución es muy variable.

1.2 Las amenazas naturales

Las amenazas naturales son de tipo geológico o de tipo meteorológico. En la región andina las principales amenazas de tipo geológico son los sismos, las erupciones volcánicas y los deslizamientos y las de tipo climático son las inundaciones y las sequías. En otras regiones deben incluirse, los huracanes, tornados y otros fenómenos climáticos.

Las amenazas pueden estar interrelacionadas y sus efectos magnificados. Por ejemplo, los sismos provocan deslizamientos, los cuales a su vez ocasionan represamiento de ríos e inundaciones progresivas aguas arriba, y la rotura de los represamientos causan inundaciones turbulentas y crecidas aguas abajo.

El impacto de las amenazas naturales sobre los sistemas rurales de agua potable y sus componentes puede ser muy variado y depende fundamentalmente de la magnitud y localización del fenómeno natural y de la vulnerabilidad del sistema y sus componentes, tanto en el aspecto físico como en el operativo, administrativo y organizativo. El impacto de las amenazas es directo en los componentes físicos del sistema e indirecto en los aspectos organizativos, administrativos y en la capacidad de operación.

◆ Sismos o Terremotos

- Evento súbito, no predecible, no controlable ni alterable por el hombre.
 - La gravedad del impacto se relaciona con la magnitud de la energía liberada, la distancia y ubicación del epicentro del terremoto en relación con el elemento expuesto y las condiciones locales del terreno.
 - El tamaño del área afectada está directamente relacionada con la cantidad de energía liberada por el evento e inversamente con la profundidad del sitio de liberación de energía.
-

- El terremoto es capaz de modificar y destruir el entorno físico de la región
- Un terremoto tiene efectos directos y secundarios. Los efectos directos son aquellos causados por el sacudimiento producido por el paso de la onda sísmica y los secundarios por las deformaciones permanentes del terreno, como asentamientos diferenciales del suelo, deslizamientos y corrientadas de lodo, licuación del suelo, avalanchas, maremotos o tsunamis

◆ Erupciones Volcánicas

- Evento gradual, no controlable ni alterable por el hombre y predecible, se poseen técnicas adecuadas de vigilancia de los volcanes. Súbito si se trata de volcanes no conocidos o no vigilados.
- La gravedad del impacto se relaciona con el volumen del material arrojado, carácter explosivo, duración de la erupción, espesor de los depósitos, radio de cobertura por la caída de los productos aéreos como la ceniza, y con la ubicación de los sistemas y la trayectoria de los flujos en la cercanía del volcán o a distancias considerables, a través de sus drenajes

◆ Deslizamientos

- Evento gradual o súbito, en ocasiones predecible, controlable y alterable. Las fallas súbitas del terreno pueden ocurrir sin advertencia. Las fallas lentas presentan signos precursores que pueden ser reconocidos y vigilados en base a la instrumentación adecuada
- La gravedad del impacto se relaciona con el volumen del material deslizado, la velocidad y trayectoria de la masa en movimiento, el tamaño de las rocas y el tipo de movimiento, todo esto en función a la ubicación geográfica del sistema.
- Los macrodeslizamientos y los movimientos de terreno desencadenados por sismos o lluvias pueden cambiar localmente la topografía de la zona
- Los deslizamientos presentan efectos directos causados por la deformación y el impacto de la masa en movimiento y, secundarios, producidos por las inundaciones aguas arriba de un deslizamiento/represamiento y las crecidas ocasionadas aguas abajo después de la rotura del deslizamiento/represamiento.

◆ Inundaciones

- Evento gradual o súbito, que puede ser predecible si se cuentan con los medios técnicos adecuados, y controlable si se hacen las obras físicas correspondientes. Puede ocurrir en ríos y en el borde del mar. En la zona costera las inundaciones están relacionadas con los tsunamis y marejadas mientras que tierra adentro con las fuertes lluvias y las llanuras de inundación de los ríos. En zonas de alta pendiente pueden darse crecidas instantáneas de rápido surgimiento y desaparición.
- La gravedad del impacto se relaciona con el área inundada, el calado o altura de la inundación, velocidad del flujo del agua, cantidad de sedimento transportado, la duración y la frecuencia de ocurrencia de inundaciones.
- En caso de tsunamis o marejadas el impacto en la zona costera depende de la altura de las olas que, a su vez, depende de la forma local del fondo marino y del terremoto que lo originó.
- La inundación en llanura cambia el curso del río y deposita sedimentos. La crecida erosiona el cauce y puede provocar deslizamientos nuevos o reactivar antiguos.

◆ Sequías

- Evento gradual de inicio lento en período de años, predecible si se cuenta con los medios técnicos adecuados, controlable si se toman las medidas correspondientes en el largo plazo.
- La gravedad del impacto se relaciona con el déficit de lluvias, el nivel de las precipitaciones, el período de sequía, el área de erosión de la superficie del terreno y la extensión de la zona climática desértica.
- La sequía cambia el entorno bioclimático de la región y las condiciones del agua subterránea.

1.3 Efectos de las amenazas naturales en los sistemas

◆ Sismos o terremotos

Dos son los parámetros comúnmente utilizados para la caracterización del potencial destructor de un sismo en un sitio determinado: la intensidad del sacudimiento y la aceleración sísmica.

La escala de Intensidades describe los efectos o el daño provocado por un sismo en un sitio determinado, tanto en el hombre y en la naturaleza, como en las construcciones. Estos efectos varían de un lugar a otro y dependen en gran medida de la distancia hipocentral y de la respuesta sísmica de los suelos. La Intensidad se la mide generalmente en la Escala de Mercalli Modificada que tiene grados fijos que van del I (no sentido) al XII (destrucción total), o en otras similares. Es común encontrar mapas que sintetizan las máximas intensidades históricas registradas en un país o en una región. Estos mapas deben ser entendidos como las intensidades mínimas esperadas en el área abarcada por el mapa durante un período similar al período histórico.

La aceleración sísmica en un sitio dado, en cambio, se representa como un porcentaje del valor de la aceleración de la gravedad actuando en dirección horizontal o vertical hacia arriba por efecto del paso de la onda sísmica. La aceleración se obtiene en función de las máximas magnitudes sísmicas esperadas en las fallas geológicas circundantes y la atenuación de las ondas sísmicas desde el hipocentro hasta un sitio de interés. Los mapas de peligro sísmico, calculados para una determinada zona, en general representan este peligro en función de una probabilidad de excedencia del nivel de aceleración dibujado en el mapa durante la vida útil del proyecto (ej. 10% de probabilidad que, durante los próximos 50 años la aceleración sísmica en un sitio dado exceda de 200 gals o, lo que es lo mismo, el 20% de la gravedad)

Hay varias fórmulas empíricas que describen la relación entre la intensidad y la aceleración en un sitio dado, por ejemplo Richter (1958), Trifunac (1975) y otros, de tal manera que teniendo el mapa de intensidades o de aceleración, se pueda transformar los valores de acuerdo con los propósitos que se tengan (diseño, aplicación de tablas de daños, etc.)

Los efectos del sismo en los sistemas son:

- Destrucción total o parcial de las estructuras de 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 en áreas de topografía montañosa.
- Variación (disminución) del caudal en captaciones subterráneas o superficiales.
- Cambio del sitio de salida del agua en manantiales.
- Daños por inundación costa adentro por impacto de tsunamis.

Los efectos observados en los sistemas rurales de agua potable afectados por el sismo del 28 de marzo de 1996, en Pujilí, Ecuador, en la zona de intensidad VII demuestran que los componentes más afectados fueron la captación y la conducción, con pequeños daños en la distribución y ninguno en los tanques de almacenamiento.

Los daños en la captación fueron agrietamiento de muros de hormigón construido con materiales de baja calidad, destrucción parcial por caída de rocas de estructuras localizadas junto a taludes y laderas empinadas, variación de caudal en manantiales y, principalmente, destrucción de estructuras por deslizamiento de terreno en laderas con pendiente mayores a 30°

Los efectos en la conducción fueron roturas de la tubería de PVC de mala calidad, roturas de tubería en pasos elevados de quebradas o ríos por crecidas y, principalmente, destrucción de tubería por deslizamiento de terreno en laderas de fuerte pendiente. El número de rupturas por kilómetro osciló entre 0.3 y 1.0, con un promedio de 0.65.

Tabla 1. Factores de daños según intensidad sísmica

		FACTORES DE DAÑO				
INTENSIDAD ESCALA DE	daño en	VI	VII	VIII	IX	X
MERCALLI MODIFICADA	porcentaje					
Pozos	%	1.04	4.60	6.66	14.78	23.56
Acueductos	%	0.57	1.05	2.66	4.42	8.80
Estaciones de Bombeo	%	2.35	5.85	11.73	20.74	30.77
Tanques de Almacenamiento	%	1.10	4.10	6.45	10.63	24.11
Plantas de Tratamiento	%	1.09	3.33	6.67	13.38	20.59
Red de Conducción de Agua	roturas/km	0.00	0.69	1.56	5.21	9.13

(Escuela Politécnica Nacional de Ecuador et al, 1994)

Para el caso de sismos, conociendo la intensidad se puede aproximar los valores de daño físico para cada componente del sistema a través del factor de daño. Se propone el uso de algunos valores promedio del factor de daño (ver tabla 1), determinados por la calibración de las matrices de daños para líneas vitales. Otros valores pueden ser encontrados en el ATC (Applied Technology Council)-13. El factor de daño en estos trabajos está definido como la relación entre el costo de los daños producidos por el terremoto dividido por el valor actual de cada componente. Específicamente en el caso de tuberías el factor de daño determina el número de rupturas por kilómetro de conducción.

◆ Erupciones Volcánicas

El potencial destructor de las erupciones volcánicas varía en relación a los cuatro tipos de productos esperados en una erupción volcánica: flujos de lava, flujos piroclásticos o nubes ardientes, flujos de lodos o lahares y caídas de ceniza

Los dos primeros comprenden corrientes de roca fundida y nubes densas de gas, ceniza y fragmentos de roca respectivamente, que tienen temperaturas de al menos varios cientos de grados centígrados y que viajan restringidos por la topografía, generalmente hasta el pie del

edificio volcánico. En condiciones muy especiales pueden alcanzar distancias mayores. Estos dos productos volcánicos destruyen todo lo que se encuentra a su paso, de tal manera que estructuras y tuberías resultan arrasadas, enterradas o quemadas, siendo la única posibilidad de no verse afectadas si se ubican fuera del camino de los flujos.

Los flujos de lodo o lahares, al contrario de los anteriores, no son calientes, pero tienen un volumen y una movilidad mucho mayor, pudiendo viajar decenas o cientos de kilómetros a velocidades de decenas y hasta de cientos de kilómetros por hora a lo largo de los drenajes que nacen en el volcán. Toda obra que se encuentre a su paso, es decir dentro de los primeros metros por encima del nivel del agua de dichos drenajes en condición normal, podría ser enterrada, destrozada o arrastrada por el flujo. La única protección contra este fenómeno es nuevamente mantenerse fuera de su camino

Los 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.**

Las caídas de cenizas cubren de manera uniforme áreas mucho mayores que los productos anteriores al ser éstas transportadas por el aire y no estar condicionadas por la topografía existente. Mientras más lejos está la fuente de emisión, menor es el tamaño de la ceniza y menor el espesor depositado, que puede ser medido en el rango de los milímetros a centímetros. El principal efecto de la caída de cenizas se produce en las plantas de tratamiento y acueductos a cielo abierto, por la contaminación producida por la deposición de este material de características ácidas. Colateralmente hay impactos indirectos como suspensión de energía eléctrica y corte de caminos y comunicaciones.

En mapas de amenaza volcánica se pueden encontrar delineados los límites de las posibles áreas de influencia. Estos mapas generalmente presentan a escala local las zonas potencialmente afectadas por flujos piroclásticos, de lava y por caídas de ceniza, mientras que por la naturaleza del fenómeno los lahares se presentan a escala regional.

Cuando el componente se encuentra dentro de los límites de flujos piroclásticos, de lava y de lahares su destrucción debe ser considerada total y el factor de daño es de 100%. En caso de las caídas piroclásticas el factor de daños depende solamente del volumen de cenizas.

Si el componente se encuentra dentro de los límites de caída de cenizas se debe analizar únicamente la posibilidad de contaminación del agua por la acumulación de sólidos en suspensión en depósitos abiertos (plantas de tratamiento y captaciones superficiales). El impacto a considerar será la suspensión del servicio y el reemplazo de filtros de arena por colmatación en plantas de tratamiento, dependiendo de la duración e intensidad del fenómeno.

Cabe indicar que éste es un fenómeno progresivo, por lo que se podrían tomar medidas de emergencia en función de la información existente en los organismos responsables de controlar la evolución del proceso eruptivo.

◆ Deslizamientos

El potencial destructor de los deslizamientos depende principalmente del volumen de la masa en movimiento, de la velocidad del movimiento, del tipo de movimiento y de la disgregación de la masa inestable.

Los tipos de movimientos más comunes son caída de rocas, deslizamientos de tierra rotacionales o traslacionales, flujos de lodo o escombros, y reptación de laderas, siendo los primeros extremadamente rápidos (movimientos probables mayores a 5 m/s) y de tamaño variado; los segundos pueden ser extremadamente rápidos a extremadamente lentos (velocidades entre 5 m/s a menos de 16 mm/año) profundos o superficiales, los terceros generalmente rápidos a muy rápidos (velocidades entre 1.8 m/hora a 5 m/s) y, los últimos, extremadamente lentos (menos que 16 mm/año) y superficiales.

Los efectos de los deslizamientos en los sistemas son:

- Destrucción total o parcial de todas las obras en especial de captación y de conducción ubicadas sobre o en la trayectoria principal de deslizamientos activos, especialmente en terrenos montañosos inestables con fuerte pendiente o en taludes muy inclinados o susceptibles a deslizamientos.
- Contaminación del agua en las áreas de captación superficial en zonas montañosas.
- Colateralmente a impactos indirectos como la suspensión del servicio eléctrico, corte de caminos y comunicaciones.

El volumen está relacionado con el espesor y la extensión de la masa inestable. La velocidad que es un aspecto muy difícil de cuantificar, se determina por medio de monitoreo con equipos o de estimaciones relacionadas con los rasgos morfodinámicos y desplazamientos de estructuras (cercas, caminos, etc.). Estos dos parámetros son los más directamente relacionados con el poder destructor de los deslizamientos. La disgregación del material tiene relación con la dinámica del movimiento, el tamaño de las rocas y los bloques de material inestable.

En mapas de fenómenos de inestabilidad de terrenos o de peligrosidad por deslizamiento, a escala local o regional, se muestran los límites del área, la tipología, el espesor promedio o el de varios puntos de la zona inestable y el grado de actividad o peligrosidad relacionados con la

velocidad probable. En algunos casos estos mapas y los geotécnicos contienen los fenómenos de carcavamiento, hundimiento por colapso de cavernas, asentamiento por arcillas expansivas, licuación de terrenos granulares y saturados entre otros. Estos fenómenos y sus características pueden también estar localizados y descritos en informes técnicos elaborados durante el estudio de proyectos específicos. El potencial destructor de estos fenómenos depende de su intensidad y extensión.

Cuando el componente está sobre un deslizamiento activo extremadamente rápido, o en su trayectoria principal, su destrucción puede ser considerada total y el factor de daño es de 100%. Cuando el componente se encuentra sobre o en el camino de un deslizamiento activo con velocidad menor a 1.6 m/año los daños son menores y pueden ser reparados, y el factor de daño es incierto. Cuando el componente se encuentra en la superficie y en el camino de caídas de rocas (velocidad mayor a 5 m/s), los daños son seguros, pero el factor de daño es difícil de precisar. Cuando el componente está sobre o en el camino de movimientos con velocidad menor a 16 mm/año, posiblemente las estructuras no sufrirán daños.

◆ Inundaciones

El impacto de la amenaza por inundaciones podrá ser caracterizado por el área de influencia y los niveles máximos de inundaciones y crecidas. Estos datos se encuentran en mapas de inundaciones de ríos o zonas costeras, a escala local, donde se ubican los límites del área inundable. En los anuarios hidrometeorológicos y en los informes técnicos de proyectos especiales (hidroeléctricos, de irrigación, etc.) puede encontrarse información adicional para evaluar el fenómeno.

Los efectos de las inundaciones y crecidas en los sistemas son:

- 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.

Cuando el componente está en el cauce de un río con crecidas continuas, de fuerte velocidad (>1 m/s) o de larga duración, su destrucción puede ser total (factor de daño puede ser 100%), si está en la llanura de inundación el impacto puede ser parcial por contaminación, erosión, enterramiento o impacto de materiales arrastrados y el factor de daño es incierto.

Cuando se conocen los límites y las características de la inundación para varios períodos de retorno se pueden determinar índices de vulnerabilidad del sistema y sus componentes a través de análisis semicuantitativos como el presentado en el "Manual sobre Preparación de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado para Afrontar Situaciones de Emergencia" (OPS, 1990).

◆ Sequías

El impacto de la amenaza por sequías podrá ser caracterizado por el área de influencia, los períodos de sequía y los niveles de precipitación y disminución del nivel del agua subterránea. Esta información se encuentra generalmente en registros hidrometeorológicos, mapas de condiciones hidrogeológicas y en pocos casos en mapas de amenaza. Una información sintetizada puede ser muy difícil tener en este tema.

Períodos de sequía continuos y de larga duración pueden reducir considerablemente el

Los efectos de las sequías en los sistemas son:

- Pérdida o disminución del caudal del agua superficial y/o subterránea.
- Racionamiento y suspensión del servicio.
- Abandono del sistema.

caudal de captación y determinar un factor de daño del sistema del 100% (cambio de sistema). Períodos de sequía cíclicos y de corta duración influyen en la continuidad y cantidad del servicio de manera incierta.



Plaza, 1996

Tubería sin protección, ubicada en el cruce de río