



MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA

SUBSECRETARIA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO



GUIAS TÉCNICAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO

Septiembre 2003

GUIAS TECNICAS PARA REDUCIR LA VULNERABILIDAD DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO UBICADOS EN ZONAS DE DESASTRES NATURALES

1. GENERALIDADES

Los desastres son la manifestación de un fenómeno o evento de origen natural o provocado por el hombre, que se presenta en un espacio y tiempo limitado ocasionando trastornos en la vida normal de las personas, pérdidas humanas, materiales y económicas según sea mayor o menor su impacto.

Si estos fenómenos no afectan al ser humano, se denominan simplemente “*fenómenos naturales*”. Si estos se tornan peligrosos, se denominan “*amenazas naturales*”. Si esta amenaza provoca daños o pérdidas estamos en un escenario de un “*desastre natural*”

El hombre puede hacer muy poco para alterar la incidencia o intensidad de los fenómenos naturales, pero si puede hacer mucho para mitigar sus impactos, conociendo la naturaleza de los fenómenos, su ciclo de apareamiento, proponiendo e implementando el reforzamiento de las estructuras, ordenando y planificando las construcciones, es decir “**reduciendo la vulnerabilidad**”

La reducción de la vulnerabilidad se constituye en una inversión importante que todas las entidades del sector deben implementar a fin de que después de un evento adverso el costo social y económico de los proyectos disminuya notablemente en las fases de rehabilitación, reconstrucción y/o recuperación.

La vulnerabilidad puede ser analizada desde diferentes perspectivas: física, operativa, administrativa, social, política, tecnológica, ideológica, cultural, educativa, ambiental e institucional, y aunque ellas están relacionadas entre sí, en el sector de agua y saneamiento se dará énfasis a las tres primeras.

El riesgo se origina como un producto de la función que relaciona la amenaza y la vulnerabilidad. Es decir que al existir la amenaza, es necesario disminuir la vulnerabilidad para disminuir el riesgo. Esta relación se la puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD} = \text{RIESGO}$$

2. TIPOS DE AMENAZAS

Según su origen, pueden ser “naturales” y “antrópicas” (producidas por el hombre).

Entre las amenazas naturales tenemos:

- **Terremotos:** Se originan en movimientos tectónicos, es decir deslizamientos subterráneos que producen liberación de energía acumulada en rocas. Son una amenaza directa para cualquier estructura dependiendo de su intensidad causan muchas muertes en zonas densamente pobladas, originan derrumbes, licuefacción del terreno, inundaciones y tsunamis.



Foto 1: Terremoto en Limón, Costa Rica 1991

Fuente: OPS

- **Erupciones volcánicas:** Los volcanes son estructuras que se acumulan sobre la superficie terrestre y presentan perforaciones que comunican el magma que se encuentra a grandes profundidades con la corteza terrestre y por las cuales pueden escapar rocas fundidas y gases. Las erupciones son básicamente de dos clases, a saber:



Foto 2. Volcán Tungurahua-Ecuador

Fuente: ESPONA

- a) **explosivas**, es decir, aquellas que se producen por la rápida expansión del gas desprendido por las rocas fundidas y

- b) **efusivas**, que se manifiestan por el flujo de materiales expulsados (fango, ceniza, lava) y que pueden resultar mucho mas graves según la topografía del terreno que los rodea y la velocidad de expulsión del material.

Cuando un volcán erupciona se generan alteraciones en las fuentes de agua, se pueden acuíferos en algunos casos, y en otros existe el aparecimiento de acuíferos en sitios diferentes, se experimenta cambios en la calidad del agua debido a los contaminantes volcánicos, como son; azufre, dióxido de azufre, ácido sulfúrico, flúor, metano y mercurio. Los incendios son frecuentes y los motores de plantas de tratamiento de agua pueden resultar dañados y otros componentes del sistema pueden colapsar por la densa sedimentación de ceniza y lodo.

- **Inundaciones:** Son fenómenos naturales cuyo origen es la lluvia intensa, el crecimiento del agua del mar. Por ello existen dos tipos de fenómenos hidrometeorológicos que provocan las inundaciones:



Foto 3: Inundaciones en Babahoyo, Ecuador 1998

Fuente: MIDUVI

- a) **Desbordamiento de ríos:** Se produce cuando por efecto de las lluvias el agua excede la capacidad del cauce del río. En este fenómeno, el hombre tiene un porcentaje de culpa de los daños que se produzcan, pues generalmente ha invadido zonas naturales de inundación, con el fin de incrementar sus sembríos, cultivos o mejorar sus ganancias económicas con la implementación de proyectos productivos en zonas restringidas.
- b) **Inundaciones costeras:** Causadas por lluvias torrenciales que provocan olas ciclónicas y crecimiento anormal del mar. Causan grandes pérdidas en las estructuras fijas de las zonas costeras.

En ambos casos la influencia de la topografía del terreno es importante, así como la humedad del suelo y su composición geológica.

- **Tsunamis:** Son enormes olas generadas por terremotos, erupciones volcánicas y grandes derrumbes en el lecho marítimo. Son muy difíciles de detectar por sus características en mar abierto. Generalmente la cantidad de energía en el tsunami es de 1 al 10% del total de energía del terremoto que lo causa.
- **Huracanes:** Son grandes depresiones tropicales debidos a fuertes tormentas con velocidades mayores a 120 km/h y que pueden llegar a 300 km/h. Se generan sobre aguas cálidas a bajas latitudes y son especialmente peligrosos por su movimiento errático aunque es posible detectarlos con algunas horas de anticipación.

- **Sequías:** Son períodos secos prolongados que se originan en complejos procesos climáticos que interactúan entre el suelo y la atmósfera. Se produce un desbalance hídrico que reduce a cero los niveles de precipitación, afectando enormemente al riego, la agricultura, la generación de energía eléctrica y especialmente la dotación de agua potable. Según el tipo de precipitación, la sequía puede ser parcial o absoluta.



Foto 4 . Zona desértica
Fuente OPS

- **Amenazas Antrópicas:** En este estudio se ha considerado la incidencia de este tipo de amenazas provocadas por acción del hombre, como son: vandalismo contra las instalaciones de agua potable y alcantarillado, líneas de conducción, plantas de tratamiento, etc., lo cual podría producir daños tanto o mas grandes que un desastre de origen natural. También se ha tenido en cuenta las amenazas provenientes del terrorismo, que atentan contra la vida de las personas y la infraestructura existente. En el caso ecuatoriano, como consecuencia de la aplicación y puesta en marcha del Plan Colombia, el terrorismo podría afectar a las provincias fronterizas del norte del país, otra amenaza antrópica podría ser posibles ataques a las instalaciones de la refinería de Esmeraldas y a la Base Naval de Manta, lo cual provocaría daños que afectarían la economía del país.



Foto 5: Derrame de sustancias químicas
Fuente Rubenz Cesar Pérez

3. CICLO DE LOS DESASTRES

Comprende 3 períodos:

- **Antes (fase predesastre)** : cuando se tiene un período de calma o alerta, según el fenómeno natural que se esté analizando.

En esta fase se deben tomar medidas para evitar o reducir el impacto, capacitar el personal y desarrollar y/o actualizar los planes de prevención y mitigación de desastres que se activarán en las fases Durante y Después. Se deberá realizar análisis de vulnerabilidad a cada componente del sistema de agua potable y alcantarillado y se implementarán las medidas de mitigación recomendadas en el estudio, a fin de disminuir la vulnerabilidad física, operativa y administrativa.

- **Durante:** lapso que puede durar un tiempo muy corto según el fenómeno analizado.

Esta fase empieza con el impacto del desastre. Inmediatamente se deben realizar acciones de respuesta para evitar y disminuir al máximo el impacto en las áreas prioritarias según los planes desarrollados en la fase anterior. El período mas crítico son los primeros 3 días. Se deberán realizar evaluaciones rápidas del daño producido y de las necesidades por parte de personal técnico entrenado con anterioridad.

- **Después (fase posdesastre)** : Recuperación de la infraestructura sanitaria en el menor tiempo posible, implementando las actividades a mediano y largo plazo para la rehabilitación de los niveles de servicios existentes antes del desastre.

La gestión del riesgo se lo puede manejar según el siguiente cronograma:

| CRONOGRAMA DE INTERVENCIONES EN SITUACIONES DE DESASTRE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-----|-----|-------------------------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fase Predesastre | | | Fase Posdesastre (días) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | ... | ... | ... | | | | | | | | |
| 1. Predesastre | --- | --- | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. Emergencia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| * inmediatamente | | | | | — | — | — | — | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| * consolidación | | | | | | | — | — | — | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. Rehabilitación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| * corto plazo | | | | | | | | | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| * mediano plazo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | — | — | — | — | — | — | — |

- Planificación de mitigación de riesgos
- Acciones Posdesastre

4. MITIGACION DE LOS EFECTOS DE LOS DESASTRES EN SISTEMAS DE AGUA Y SANEAMIENTO. ANALISIS DE VULNERABILIDAD

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

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

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

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

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

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

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

De manera resumida se presenta en el Anexo No. 2 el procedimiento necesario para implementar la evaluación de la vulnerabilidad de un sistema de abastecimiento de agua potable y saneamiento, según los lineamientos y directrices de la Organización Panamericana de la Salud.

5. LA INFRAESTRUCTURA SANITARIA

Para realizar obras que permitan reducir la vulnerabilidad en las unidades de los sistemas de agua potable y alcantarillado, en la fase de diseño, construcción, rehabilitación, implementación de obras de mitigación en uno existente, o para actualizar la información acerca de determinado sistema, se propone considerar las siguientes actividades preliminares:

5. 1 Sistemas de Agua Potable

- **Fuentes**

Es importante obtener al menos los siguientes datos de las fuentes:

- Plano detallado del área de emplazamiento, y mapa de amenazas y/o riesgos del sector a una escala adecuada para el análisis técnico comparativo.
- Cuadro e histogramas de caudales de máximos, medios y mínimos en los últimos 50 años.

- Análisis físico – químico bacteriológico de la calidad del agua de la o las fuentes.
- En fuentes subterráneas: topografía de la cuenca de la captación, naturaleza del suelo, estratos porosos inferiores, granulometría de la arena o grava, espesor del acuífero, profundidad del espejo de agua, posibles focos de contaminación interna y externa, caudal afluente y efluente, usos.

- **Captaciones y Plantas de Tratamiento**

De igual manera, para sistemas a construirse, rehabilitarse, o implementar obras de mitigación, es necesario tener la siguiente información:

- Planos estructurales y de ubicación de las obras de captación, y de la planta de tratamiento, diagramas de los procesos de desinfección, tuberías y accesorios constitutivos, y mapa de amenazas y/o riesgos del sector a una escala adecuada para el análisis técnico.
- Descripción de la zona de ubicación y emplazamiento, historial de desastres naturales ocurridos en la zona.



Foto 6. Captación en río

Fuente: MIDUVI



Foto 7. Planta de Tratamiento

Fuente: MIDUVI

Comentario: *Se observa en las fotografías que aparentemente las zonas de implantación de las unidades de sistemas de agua potable han sido escogidas con criterio técnico, reduciendo los riesgos (deslaves, inundaciones, contaminación humana o animal) y asegurando la continuidad del servicio. Una certeza de lo aseverado se obtendrá realizando Estudios de Vulnerabilidad.*

- **Líneas de Conducción**

El conjunto de tuberías y accesorios comprendido entre la o las captaciones y la planta de tratamiento se denomina línea de conducción. Al ser un componente expuesto a una gran cantidad de amenazas naturales, debido a la distancia en que se desarrolla, debe ser diseñado y construido extremando precauciones y en apego a las normas de diseño del país, pero siempre considerando los criterios de reducción de vulnerabilidad que se presentan en este documento.

Por tanto, para el diseño, rehabilitación o mitigación de las líneas de conducción es necesario obtener los siguientes datos:

- Plano de trazado de la línea, características de las zonas por las que atraviesa, incluyendo ríos, quebradas, depresiones considerables o elevaciones, y mapas de amenazas y/o riesgos de la zona por donde atraviesa el sistema de conducción.
- Cuadros descriptivos de las características de las tuberías. Incluir valores hidráulicos y de operación.
- Historial de desastres naturales pasados.
- Estudios de Suelos

▪ Líneas de Distribución

Corresponde al conjunto de tuberías y accesorios comprendidos entre la planta de tratamiento y las conexiones domiciliarias o grifos públicos. Para sistemas nuevos o ya construidos es necesario contar con los siguientes datos:

- Planos de la red de distribución, y mapas de riesgo y/o amenazas
- Características de las tuberías, área a servirse, tipo de sistema a utilizarse.
- Estudios de Suelos

5. 2 Sistemas de Alcantarillado y saneamiento

Para proceder a realizar un análisis de vulnerabilidad y mitigar impactos en los sistemas de alcantarillado, baterías sanitarias, letrinas, etc., es necesario contar con la siguiente información:

- Planos del sistema de alcantarillado, planta de tratamiento de aguas residuales, y mapas de amenazas y/o riesgos.
- Información geológica del suelo en la red, puntos de descarga, y planta de tratamiento de las aguas residuales.
- Diseños de las unidades sanitarias, baterías y letrinas

Esta información preliminar permitirá diseñar e implementar las medidas de mitigación para proteger a las líneas de alcantarillado, pozos de revisión y unidades de tratamiento en caso de desastres naturales y evitar la contaminación del agua potable en puntos de cruce tanto en condiciones normales como en ocurrencia de desastres.



Foto 8. Alcantarillado en construcción en zona rural - Fuente MIDUVI



Foto 9. Tendido de tubería de alcantarillado Fuente MIDUVI

Comentario: *En zonas de alto riesgo por desastres naturales, se debe reforzar las juntas y uniones de las tuberías de alcantarillado a fin de reducir su vulnerabilidad y posibles fugas de aguas servidas. Se debe analizar con más detenimiento las zonas de implantación del alcantarillado y exigir la realización de estudios de suelos.*

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

La operación y el mantenimiento de los sistemas de agua potable y saneamiento de nuestros países latinoamericanos es deficiente y en algunos casos inexistente, y adicionalmente son muy vulnerables a los impactos originados por los desastres naturales, es necesario extremar las medidas de protección, y de mantenimiento preventivo y correctivo de todos los componentes de los sistemas, en lo posible con personal calificado que conozca muy bien el trabajo que debe realizarse, y especialmente que esté capacitado para responder en caso de un desastre natural.

6. CRITERIOS Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA REDUCCIÓN DE VULNERABILIDADES

El tema de la reducción de las vulnerabilidades en los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento, por impactos ante los eventos adversos de origen natural o antrópicos, se lo debe analizar tomando en cuenta la ubicación de la estructura, la condición actual, en el caso de sistemas en funcionamiento, y definiendo diseños técnicamente adecuados a ser incorporados en etapa del diseño del proyecto.

Se identificará el tipo de amenaza y el impacto al cual estaría sometido la estructura o la unidad del sistema para luego proponer las medidas de mitigación o de reducción de vulnerabilidad. Es justamente este criterio el que ha sido tomado en cuenta para la realización de este documento, que esperamos sea de utilidad a los técnicos y autoridades que se encuentran involucrados de alguna manera en el diseño, construcción, operación, mantenimiento, administración y gestión del riesgo en el sector de agua potable y saneamiento.

6.1 SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Reducción de la vulnerabilidad en Captaciones

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. Entre los objetivos que se busca lograr, se pueden enumerar los siguientes:

- a) Asegurar la continuidad del servicio, impidiendo o reduciendo los daños que puedan provocar los desastres naturales o antrópicos.
- b) Evitar que sustancias contaminantes puedan afectar la calidad del agua captada. Mediante esta protección se puede restringir el uso de tratamientos costosos de purificación.

Es conveniente tener en cuenta y evaluar varios factores, como son:

- Fuentes alternativas plenamente identificadas y analizadas.
- Evaluar las características físico – químicas bacteriológicas del agua a captarse y fluctuaciones de los niveles del nivel freático según la estación del año.

En lo que se refiere a captaciones situadas en zonas de alto riesgo, es necesario tomar en cuenta las siguientes acciones:

Para el diseño:

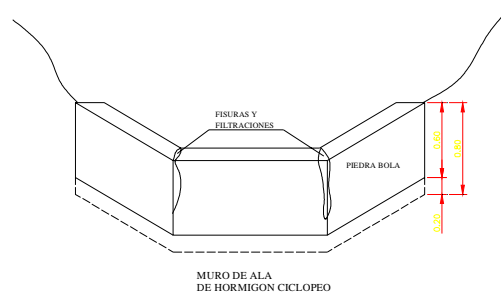
- Realizar estudios geotécnicos completos en el sitio seleccionado para la captación con el fin de conocer las características de los suelos y rocas. Es necesario también identificar el tipo de vegetación del entorno, bosques, terrenos cultivados, salinidad del suelo, efecto del agua de riego, entre otros.
- Diseñar la captación para las condiciones más críticas, tanto hidráulicas como estructurales. Las obras de protección contra inundaciones, erupciones volcánicas y deslizamientos deberán prever el embate de desastres naturales y antrópicos que puedan producirse, según la zona de implantación.
- Para evitar el fisuramiento de muros de ala y posibles filtraciones por consecuencia de sismos o filtraciones, es recomendable que se realice un estudio geotécnico, para definir la profundidad de cimentación, a fin de garantizar la disminución de la vulnerabilidad de la estructura.
- En zonas de riesgo por la actividad volcánica es conveniente se diseñe las tapas sanitarias o bocas de visita considerando la utilización de las fibras sintéticas microporosas (espuma flex) dispuestas en el perímetro interno de la tapa sanitaria, a fin de evitar el ingreso del polvo volcánico al interior de la unidad hidráulica.
- Cuando la zona de implantación de la captación es inestable, es importante considerar el diseño de las cunetas de coronación con secciones hidráulicamente adecuadas, diseñadas con los caudales máximos de aguas lluvias de las áreas de aportación, considerando períodos de retorno de 50 años, tomando en cuenta además el tipo de suelo y el nivel freático de la zona.
- En el diseño de sistemas de agua potable en zonas de alto riesgo volcánico, es importante se considere la cobertura de las unidades expuestas a los productos volcánicos y se considere los by-pass correspondientes en las unidades de la captación y la planta de tratamiento que se encuentran expuestas.
- En el caso de que las estructuras de captación estén sometidas a la caída de rocas o cualquier otro material deleznable, para el diseño es importante considerar la protección con arborización de la ladera y/o proyectar un muro de contención, con una adecuada cimentación.

Para mitigación o rehabilitación

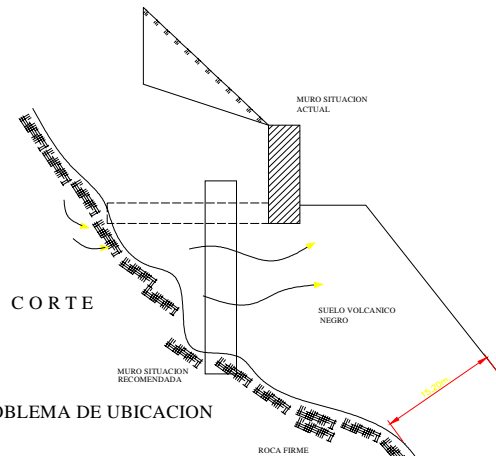
Como se mencionó anteriormente, en una primera fase, es necesario realizar un “análisis de vulnerabilidad” considerando los mapas de amenazas y riesgos existentes a una escala adecuada capaz de trabajar simultáneamente con los planos del sistema y de la unidad que se está analizando, en este caso los planos de la o las captaciones existentes. Las conclusiones y recomendaciones del estudio decidirán que tipo de acciones preventivas tomar, entre las que se mencionan las siguientes

- Muro de ala fisurado, con filtraciones por sismos o deslizamientos.-** Frente a la vulnerabilidad de un muro de ala, fisurado y no cimentado adecuadamente, como medidas de mitigación ante los impactos por sismos, deslizamientos u otros eventos adversos, se sugiere sustituir el muro de ala con cimentación en roca firme, si la cobertura del suelo es de poco espesor.

CASO: MURO DE ALA FISURADO Y CON FILTRACIONES



PLANTA

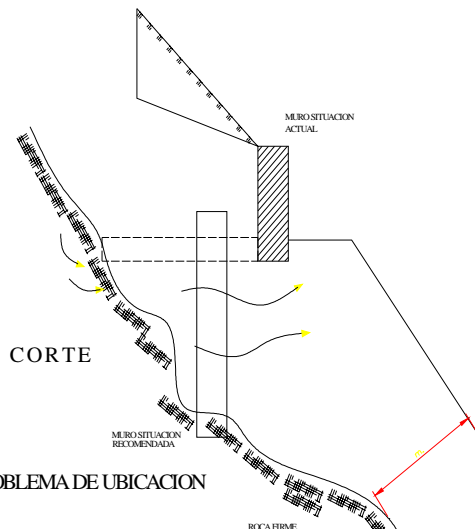
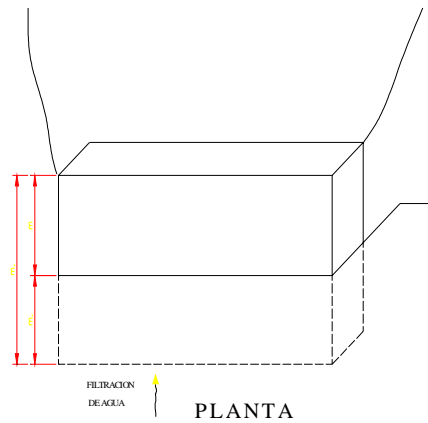


MEDIDA:
 Substituir el muro
 Cimentar la estructura en la roca firme, si la cobertura de suelo es de poco espesor.

Fig. 1

- **Muro de hormigón con filtraciones por la base.-** Ante la vulnerabilidad existente por la ubicación de un muro de hormigón con filtraciones por la base, se sugiere sustituir el muro por una estructura cimentada en roca firme, por debajo de la zona de filtraciones, si la cobertura es de poco espesor. Cuando se construya el elemento es conveniente utilizar impermeabilizante y acelerante, capaz de conseguir una estructura segura en el menor tiempo posible.

CASO: MURO DE HORMIGON CON FILTRACION POR LA BASE

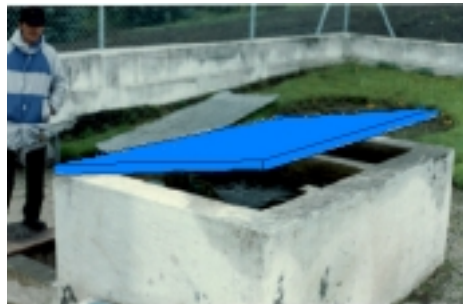


MEDIDA:

Substituir el muro por una estructura cimentada en la roca firme por debajo de la zona de filtraciones, si la cobertura de suelo es de poco espesor.

Fig. 2

- **Captaciones en zonas inestables con riesgo de deslizamientos.-** En zonas geológicamente inestables, existe el riesgo de los deslizamientos, los mismos que se potencializan cuando existe fuertes y continuas precipitaciones, ante esta amenaza es imprescindible construir cunetas de coronación con secciones hidráulicamente adecuadas, diseñadas para caudales máximos y períodos de retorno de 50 años, considerando el tipo de suelo y los niveles freáticos de la zona.
- **Unidades de la captación expuestas a contaminación por ceniza volcánica.-** Durante la actividad volcánica, se genera varios productos piroclásticos y gases volcánicos, entre ellos la ceniza o polvo volcánico, que pueden provocar la contaminación del agua que se encuentra en las unidades hidráulico sanitarias abiertas de los sistemas de agua potable, por tal razón es necesario proteger las unidades expuestas de la captación, cubriendo con plástico, tol, zinc o materiales de la zona.



Fotos 10 y 11. Protección de captaciones
Fuente MIDUVI

Comentario: *Toda estructura de captación debe tener protección (tapa hermética) que reduzca al mínimo la posibilidad de contaminación (polvo, ceniza en zonas volcánicas, humana o animal).*

En zonas de caída de ceniza volcánica es conveniente se diseñe las tapas sanitarias o bocas de visita considerando la utilización de las fibras sintéticas micro porosas (espuma flex) dispuestas en el perímetro interno de la tapa sanitaria, a fin de evitar el ingreso del polvo volcánico al interior de la unidad hidráulica.

En captaciones superficiales de río (con galerías de infiltración) contaminada con productos volcánicos, se buscaría una fuente alternativa fuera de la zona de peligro hasta que la emergencia haya decrecido o cese totalmente, ya que un mecanismo de protección para este tipo de captación resultaría oneroso.

Las fuentes de agua subterráneas, que circulan al interior del volcán o en las zonas circundantes a este pueden sufrir alteraciones de tipo físico químico por contaminación de gases u otros productos volcánicos, por lo que es importante se realicen monitoreos constantes de la calidad del agua de las fuentes de agua de los sistemas de agua potable. Principalmente se monitoreará el PH, conductividad y elementos químicos nocivos a la salud.

- **Captaciones ubicadas en quebradas sometida a impactos por caídas de rocas.-** Cuando la estructura de la captación y obras anexas, se encuentren al pie de taludes o en sectores de quebradas, son vulnerables a caídas de rocas, las mismas que provocan fisuramientos, colapsos y desplazamientos en las unidades, por lo que se

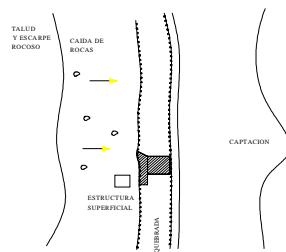
sugiere proteger el sitio con barreras de árboles, siembra de plantas nativas y/o muros de contención cuyas características y dimensiones dependerán del tipo de suelo de la zona, altura de paredes laterales, presencia de vegetación circundante y nivel freático.



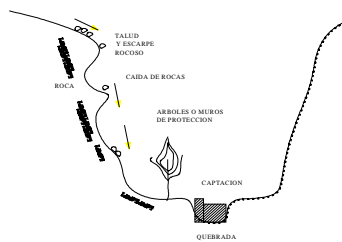
Fotos 12. captación vulnerable a la caída de rocas
Fuente MIDUVI

Construir zanjas de coronación para el caso de captaciones ubicadas en zonas bajas, rodeada de laderas de suelo deleznable, cuyas dimensiones dependerán del tipo de suelo, la pluviosidad de la zona y el nivel freático.

CASO: CAPTACION EN QUEBRADA O ESTRUCTURA EN EL TRAYECTO DE CAIDA DE ROCAS



PLANTA



CORTE

PROBLEMA DE UBICACION

MEDIDA:

Proteger el sitio con barrera de árboles o muro de protección

Fig. 3

- **Fuentes de agua y captaciones alternativas.-** La selección del tipo de 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 la planta de tratamiento o tanque de reserva. 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.
- La captación debe estar ubicada en sitios donde se garantice una adecuada protección sanitaria, y su selección debe basarse en los siguientes aspectos:
 - La calidad del agua en la fuente de abastecimiento.
 - La estabilidad y reconfiguración de las orillas.
 - La estabilidad del cauce, desde el punto de vista del transporte de sedimentos de arrastre de fondo.
 - Los cambios de régimen hidrotermal de la fuente.

No es recomendable ubicar las obras de captación inmediatamente a la salida de las obras de descarga de centrales hidroeléctricas, y tampoco hacia abajo de las confluencias de algún tributario.

Reducción de la vulnerabilidad en las Líneas de Conducción

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.

Para el diseño:

- Para el **diseño** es necesario contar con los planos topográficos y perfiles de la ruta seleccionada, realizar los estudios geológicos y geotécnicos para determinar la estabilidad del terreno. Investigar la ocurrencia de desastres naturales en la ruta, como deslizamientos, inundaciones, erupciones volcánicas, sismos, etc., obteniendo toda la información posible de la zona.

- Cuando las tuberías de conducción o distribución deben de instalarse sobre **terraplenes** de quebradas, se incorporará en el diseño 2 alcantarillas, dispuestas una sobre la otra, capaz de que si se obstruye la una, la otra pueda seguir evacuado el agua proveniente de las precipitaciones en la microcuenca, lo cual permitirá evitar el colapso de la estructura, el desplazamiento de la tubería y la consecuente interrupción del sistema de abastecimiento de agua.

Alcantarilla propuesta

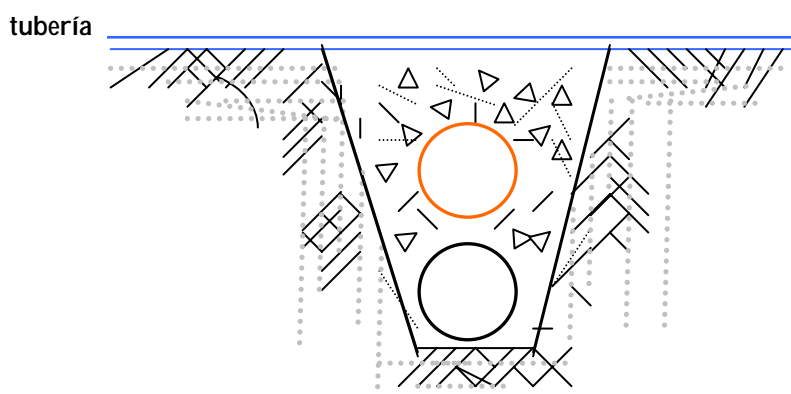


Fig. 4

- En el trazado de la vía hay que evitar el paso por **zonas pantanosas**, que impiden el acceso a las labores de mantenimiento, áreas de dragado o trafico de embarcaciones, principalmente cuando la conducción no pueda ser instalada bajo una cota de seguridad, aeropuertos, autopistas y vías de trafico intenso, que no ofrezcan posibilidades del mantenimiento de la conducción.
- **Paso de la tubería por quebradas.-** En el diseño es recomendable proyectar una solución en lo posible con características subfluviales, a fin de evitar el impacto por crecidas, inundaciones, sismos o deslizamientos.
- En caso de **pasos sumergidos**, examinar el uso de juntas flexibles herméticas y posicionamiento de válvulas (de existir) a mayor nivel que el de la máxima creciente, profundidad del lecho del río a la tubería.
- **Paso elevado con zapata superficial en el cauce de la quebrada.-** El diseño de columnas de soporte de los pasos de quebrada, preferentemente debe considerarse las secciones triangulares o trapezoidales, con el vértice ubicado en dirección opuesta a la corriente del agua, capaz de que el impacto de las rocas y cantos rodados no afecten a la estructura.

Foto 13. Construcción de cimiento y columna en paso de río
Fuente Arturo Rodríguez / Costa Rica



- **Tubería de conducción en zonas de deslizamientos activos.**- Para el diseño, es recomendable que se proyecte un sistema de soporte de tuberías haciendo uso de los anclajes, tensores de acero y anillos flexibles capaz de que la tubería permanezca suspendida, y evitar o mitigar el impacto por deslizamientos.

Es importante que se defina el tipo de acople y de anclajes en función del tipo de tubería, clase, y diámetro.

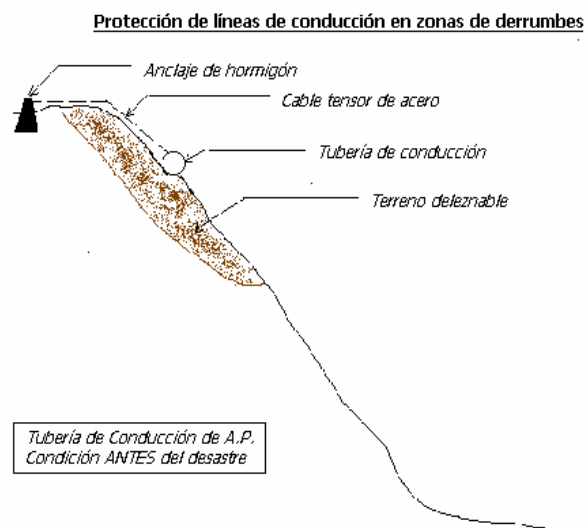


Fig. 5

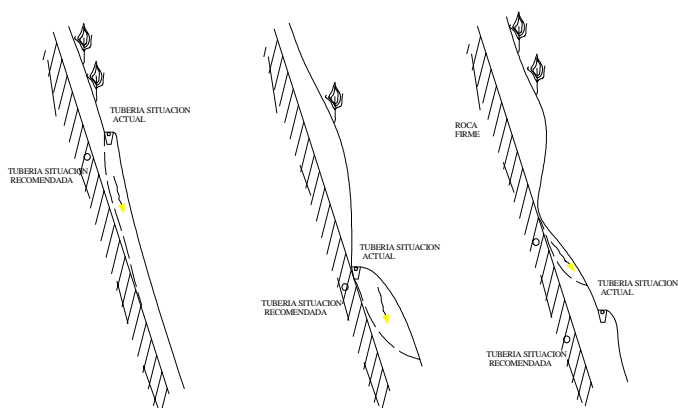
- Definir el **trazado de la línea de conducción, material y tipo de uniones** de la tubería considerando también el tipo de amenaza y vulnerabilidad.
- En zonas de alto riesgo, diseñar los **tanques rompe-presión, cajas de válvulas, juntas y demás accesorios** protegiéndolos y reforzándolos adecuadamente, a fin de que resistan las sollicitaciones por eventos adversos.
- En caso de **pasos elevados**, analizar la flexibilidad de las juntas para conservar su hermeticidad en caso de ocurrencia de sismos o eventos antrópicos y considerar la posibilidad de reforzamiento de anclajes y cables tensores o variar el trazado de la línea.

Para mitigación o rehabilitación:

- **Tubería instalada en terraplenes construidos en cauces de quebradas expuestos a inundaciones y avenidas.**- Existen zonas en las cuales la tubería de conducción o distribución deben de instalarse sobre terraplenes ubicados en las quebradas de las micro cuencas, en los que se instalan una alcantarilla para la evacuación del agua lluvia proveniente del escurrimiento superficial, para el efecto es conveniente mantener limpia la alcantarilla transversal de drenaje ubicada bajo el terraplén, y analizar la posibilidad de instalar una nueva alcantarilla sobre la anterior, capaz de que si se obstruye la una, la otra pueda seguir evacuado el agua proveniente de la microcuenca y así evitar el colapso de la estructura, el desplazamiento de la tubería y la consecuente interrupción del sistema de abastecimiento de agua.

- **Tubería de conducción en ladera con deslizamientos activos de poco espesor.-** Cuando se tiene este riesgo, se sugiere analizar la posibilidad de reubicar la línea de conducción por encima de la zona inestable, y el fondo de la zanja en lo posible hacer coincidir con el suelo firme. Adicionalmente cuando la tubería, por diferentes razones, no deba estar enterrada, es necesario instalarla pegada al pie del talud, de tal manera que los derrumbes existentes la tapen pero no la afecten.

CASO: POSICIONES DE LA TUBERIA DE CONDUCCION
EN LADERA CON DESLIZAMIENTOS ACTIVOS
DE POCO ESPESOR



PROBLEMA DE UBICACION

MEDIDA:

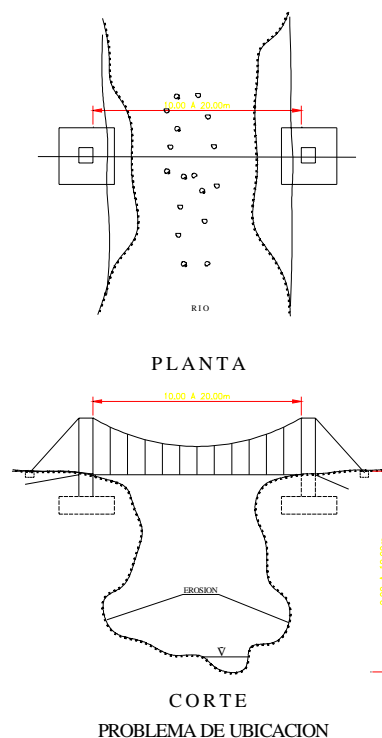
Visitar el sitio si es posible reubicar el trazado de la conducción por encima de la zona inestable.
Enterrar la tubería en la roca firme si la cobertura de suelo es de poco espesor.

Fig. 6

- **Paso de tubería en quebrada.-** Cuando la tubería de conducción o de distribución de agua, pase a través de una depresión o zonas erosionadas por los cursos de agua, es vulnerable a los efectos producidos por sismos, deslizamientos, licuefacción, generándose desplazamiento, desacople y colapso de la misma, por lo que es recomendable analizar la posibilidad de enterrar la tubería a manera de paso subfluvial, capaz de que la corriente y el arrastre de sólidos no afecten los elementos de la conducción.

- **Paso elevado con erosión del cauce por crecidas.-** En épocas de lluvias (fenómeno del Niño), es muy frecuente que los pasos de quebrada se afecten por la crecida de los cursos de agua, los mismos que socavan las paredes del cauce provocando el desplazamiento o colapso de la estructura o puente que soporta la tubería, para lo cual se sugiere: reubicar el sitio de paso, proteger contra la erosión la parte baja del cauce, mediante la implementación de muros en la base, aumentar la luz del paso, definiendo con la ayuda de la geotécnica, sitios firmes para la construcción de la cimentación y anclajes.

CASO: PASO ELEVADO CON EROSION
DEL CAUCE POR CRECIDA



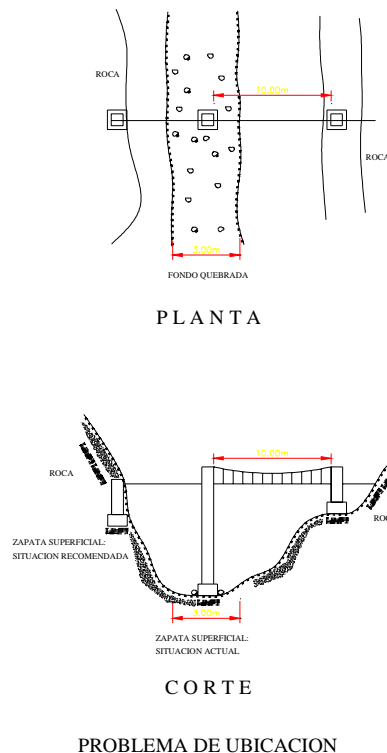
MEDIDA:

- Reubicar el sitio de paso
- Proteger contra la erosión con muros en la base
- Aumentar la luz del paso

Fig. 7

- **Paso elevado con zapata superficial en el cauce de la quebrada.-** Este caso es frecuente cuando hay que salvar grandes luces, sometiendo a la estructura al impacto de las rocas y cantos rodados cuando hay crecidas, para lo cual se recomienda lo siguiente:
 - Analizar la posibilidad de reubicar el paso elevado
 - Analizar la posibilidad de reubicar la cimentación fuera del cauce de la quebrada
 - Modificar la sección de la columna capaz de minimizar el impacto, lo cual se puede lograr con una sección triangular con el vértice apuntando a la corriente de agua.

CASO: PASO ELEVADO CON ZAPATA SUPERFICIAL
EN EL CAUCE DE LA QUEBRADA



MEDIDA:

Reubicar la cimentación fuera del cauce de la quebrada

Fig. 8

- **Tubería de conducción en zonas de deslizamientos activos.-** Este es un caso muy frecuente en los sistemas de agua, donde las tuberías de conducción enterradas o expuestas, pasan a través de zonas de deslizamientos potenciales, para lo cual se recomienda instalar anclajes en zonas firmes, capaz de que sirvan de bases para soportar la tubería a través de tensores o cables de acero.

Además se recomienda los ajustes correspondientes en los acoples de la tubería capaz de que no fallen el momento de el deslizamiento.

- En **zonas inundables**, previo estudios de suelos, se podrá usar tubería de polietileno de alta densidad (HPDE), anclada suficientemente para evitar fugas por fisuras en la conducción.
- Instalar marcos H en laderas para permitir **desplazamientos controlados de la tubería**, en casos de sismos o deslizamientos de tierra.
- En **zonas inundables** por creciente de ríos, realizar trabajos de reencauzamiento o construir un muro de gaviones revestidos de PVC para protegerlos de la corrosión.
- Construir alcantarilla gemela sobre la existente en líneas de conducción en **zonas inundables**. (Fig. 1)
- En conducciones de **tubería de acero**, propender a colocar tuberías del espesor suficiente para lograr mayor solidez y resistencia y evitar uniones vulnerables.
- **Protección de líneas de conducción** mediante colocación de cables tensores anclados con el objeto de evitar el colapso de la tubería en caso de derrumbes, deslizamientos o sismos, según se aprecia en la figura No. 2:

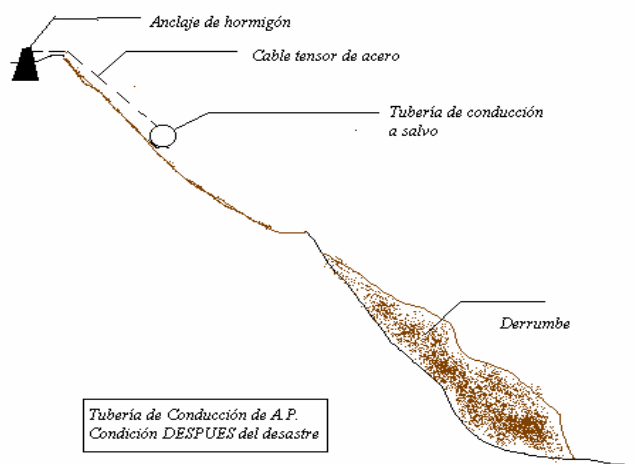


Fig. 9

En resumen, se deberán proteger las líneas de conducción sin dar preferencia a lo establecido en los planos tipo, sino incorporar obras civiles de protección como las descritas anteriormente.

Reducción de la vulnerabilidad en Plantas de Tratamiento

Para el diseño:

Para el diseño de plantas de tratamiento se recomienda efectuar diseños preliminares, en los que es necesario contar con la siguiente información relativa al sitio seleccionado para la implantación de las estructuras:

- **Levantamiento topográfico y catastral del terreno disponible**, incluyendo caminos de acceso, infraestructura sanitaria cercana, ingreso previsto de la línea de conducción de agua, facilidades para desagües de aguas lluvias, cuerpos receptores cercanos, localización de postes de energía eléctrica próximos, y otros datos considerados de interés por el diseñador.
- **Estudios geológicos y de suelos** que describan la naturaleza del suelo y sus estabilidad, determinen el nivel freático y el nivel máximo de inundación del terreno, y permitan realizar diseños estructurales que garanticen la seguridad de las obras. En el caso de que el sitio esté localizado en una zona de riesgo sísmico, este estudio debe estimar el riesgo y vulnerabilidad, los requerimientos para las fundaciones y la intensidad del sismo esperado.
- **Definición de las condiciones climáticas de la zona**, particularmente la temporada lluviosa en el año, las variaciones de temperatura ambiental, y las direcciones predominantes de los vientos.
- **El sitio de implantación de la planta de tratamiento**, debe disponer de fácil acceso en cualquier época del año y ante la ocurrencia de cualquier evento adverso.
- **En el caso de que la planta de tratamiento se ubique cerca de un río** debe estar sobre el nivel de crecientes máximas, en un trecho recto del río o en la parte convexa de un trecho curvo.
- Preferentemente debe contar con el **abastecimiento de energía eléctrica, y facilidades para la evacuación de aguas de proceso y lodos**.
- Debe tener características de **estabilidad y facilidades constructivas**.
- **Tener área suficiente** para la implantación de la planta de tratamiento y estructuras complementarias, y permitir ampliaciones futuras. La casa del operador y la zona prevista para la disposición de lodos pueden ubicarse en terrenos diferentes pero seguros, cercanos a la planta.
- **En zonas de riesgo sísmico**, se debe realizar el diseño antisísmico de las estructuras, aceptando un grado de daño basado en el mínimo nivel de servicio que sería aceptable después de un terremoto. Preferiblemente se debe utilizar estructuras simétricas simples y continuas y cuando sea necesario, proponer diseños dúctiles.

- Proponer diseños de plantas de tratamiento utilizando otras **tecnologías alternativas antisísmicas** como es el caso del ferrocemento.



Foto 14. Planta de Tratamiento de ferrocemento

Fuente MIDUVI

- **Los diseños eléctricos**, deben satisfacer los códigos nacionales y las regulaciones locales existentes, y todos los sistemas deben ser protegidos contra rayos y descargas eléctricas, siendo recomendable que el sistema tenga conexión a tierra. Es recomendable que haya más de una conexión de ingreso a la planta, y se debe considerar la posibilidad de instalar un generador a diesel para emergencias. Donde sea factible, se contemplar en el diseño el servicio telefónico, y un sistema de intercomunicación entre las distintas estructuras de la planta.
- **El plan de prevención en una planta de tratamiento**, debe contemplar acciones que mitiguen , la erosión, acarreo de materiales por viento o escorrentía, derrame de productos químicos durante el transporte, manipuleo y aplicación, generación de contaminantes gaseosos y malos olores, efecto de la descarga de lodos y desechos líquidos.
- Es imprescindible adoptar **medidas de seguridad para la protección del personal** de la planta en su trabajo diario, como para la protección contra actos de vandalismo y sabotaje, como son el cerramiento del área, la iluminación interior y exterior, el control de ingreso, entre otras.
- **Afectación por inundaciones en la planta de tratamiento.**- Para diseño, es conveniente ubicar a la planta en terrenos elevados, o a su vez sobre un terraplén adecuado, cuya cota superior, deberá estar por lo menos 30 cm sobre la máxima cota de creciente máxima.
- **Afectación por deslizamientos en la planta de tratamiento.**- Si la planta de tratamiento se sitúa en zonas bajas o al pie de laderas, el sitio deberá contar con un sistema de drenaje del entorno, en el que se considerarán canales de evacuación cuya área hidráulica sea diseñada con periodos de retorno lo suficientemente adecuados, se propone se tome como base un período de retorno de 50 años, a fin de proteger las estructuras de la planta, reducir riesgos por deslizamientos y evitar la posible contaminación del agua.
- **Afectación por la actividad volcánica en la planta de tratamiento.**- Para evitar la contaminación del agua al contacto con los productos volcánicos, es necesario adoptar medidas de mitigación y protección de las unidades expuestas principalmente a la

ceniza volcánica, para ello es necesario cubrir las unidades expuestas mediante plásticos especiales, los mismos que pueden ser los que se utilizan en invernaderos de 8 micras de espesor, capaz de que resistan el embate del viento, el peso del agua y de la ceniza. Otro de los elementos que pueden ser utilizados para cubrir las unidades, es el zinc (calamina) o láminas de fibrocemento, colocadas sobre una estructura de madera o metálica, principalmente cuando exista una gran influencia del viento en la zona. En todo caso para cualquiera de los dos casos es importante, se considere una pendiente mínima de la cubierta a fin de reducir al mínimo la ruptura de la estructura por efecto del viento, agua y ceniza, y dejando los espacios necesarios para el acceso del operador a que realice las funciones correspondientes de operación y mantenimiento.

Adicionalmente se analizará la posibilidad de suspender el funcionamiento de la planta de tratamiento, o unidad expuesta a la ceniza volcánica, sin embargo a fin de mantener el servicio a la población se recomienda implementar un by-pass en la o las unidades expuestas de la planta de tratamiento, a fin de que se brinde el servicio de una manera provisional cuando suceda la emergencia.



Foto 15. Planta de Tratamiento protegida por caída de ceniza – Fuente MIDUVI

- Para protegerla de las **inundaciones**, deberá construirse la planta preferentemente en terrenos elevados (cota mayor a la máxima creciente histórica), o construir diques de protección.
- **Si la planta se sitúa en un valle**, el sitio deberá contar con un sistema de drenaje lo suficientemente adecuado que la protegerá de inundaciones, reducirá riesgos por deslizamientos e impedirá la contaminación del agua a tratarse.
- **En zonas de caída de ceniza y contaminación externa**, se podría proteger los sedimentadores, desarenadores o filtros usando estructura metálica de bajo costo para sostener un techado de fibrocemento o eternit.
- Es muy importante poseer **datos del terreno y área circundante**, especialmente un historial de desastres naturales sucedidos en la zona.
- Elevar las coronas en relación al máximo nivel conocido de aguas de lagos, lagunas o corriente fluvial.
- **Desviar las aguas de los escurrimientos superficiales** mediante la construcción de cunetas de coronación apropiadas en las zonas altas.

- Como actividad de rehabilitación y con el fin de asegurar la hermeticidad, en caso de encontrarse **fisuras en tanques de reserva** debido a factores externos, colocar material impermeable con el fin de evitar se amplíen las fisuras y provoquen mas daños a la estructura.
- **Proteger las cámaras de válvulas** contra deslizamientos y escurrimientos superficiales y los puntos de descarga de los drenes correspondientes.



Foto 16. Tanque de reserva sin protección

Fuente MIDUVI

Comentario: *Es necesario proteger la zona de emplazamiento del tanque mediante drenes, cunetas de coronación, obras en cámaras de válvulas y accesorios para prevenir daños en la operación del tanque.*

Para mitigación o rehabilitación:

- **Afectación por inundaciones en la planta de tratamiento.-** Una gran parte de sistemas de agua potable son afectadas principalmente por las inundaciones existentes generándose daños que en algunos casos son irreversibles, principalmente en los equipos de bombeo, por ello es conveniente analizar la posibilidad de aumentar el nivel de operación de los equipos de bombeo, y protegerá la planta de tratamiento mediante la construcción de un muro perimetral con rampas de acceso, cuya cimentación y altura de seguridad estará en función del máximo nivel histórico de inundación.
- **Afectación por deslizamientos en la planta de tratamiento.-** Si la planta de tratamiento se sitúa en zonas bajas o al pie de laderas, el sitio deberá contar con un sistema de drenaje del entorno, en el que se considerarán canales de evacuación cuya área hidráulica sea diseñada con periodos de retorno lo suficientemente adecuados, se propone se tome como base un período de retorno de 50 años, a fin de proteger las estructuras de la planta, reducir riesgos por deslizamientos y evitar la posible contaminación del agua.

En caso de que los deslizamientos sean inminentes, se realizará un estudio geotécnico y se propondrá las respectivas de mitigación, como la implementación de muros de sostenimiento, forestación de laderas, reforzamiento de las estructuras existentes, entre otras.

- **Afectación por la actividad volcánica en la planta de tratamiento.-** Para evitar la contaminación del agua al contacto con los productos volcánicos, es necesario adoptar medidas de mitigación y protección de las unidades expuestas principalmente a la ceniza volcánica, para ello es necesario cubrir las unidades expuestas mediante plásticos especiales, con un mínimo de espesor de 8 micras, los mismos que comúnmente se los utiliza en los invernaderos, capaz de que resistan el embate del viento, el peso del agua y de la ceniza. Otro de los elementos que pueden ser utilizados para cubrir las unidades, principalmente cuando exista una gran influencia del viento en la zona, es el zinc (calamina) o láminas de fibrocemento, colocadas sobre una estructura de madera o metálica.

En todo caso en cualesquiera de los dos casos es importante, se considere una pendiente mínima de la cubierta a fin de reducir al mínimo la ruptura de la estructura por efecto del viento, agua y ceniza, y dejando los espacios necesarios para el acceso del operador a que realice las funciones correspondientes de operación y mantenimiento.

Adicionalmente se analizará la posibilidad de suspender el funcionamiento de la planta de tratamiento, o unidad expuesta a la ceniza volcánica, sin embargo a fin de mantener el servicio a la población se recomienda implementar un by-pass en la o las unidades expuestas de la planta de tratamiento, a fin de que se brinde el servicio de una manera provisional cuando suceda la emergencia.

Otra de las afectaciones por la actividad volcánica es el colapso de los sistemas de bombeo debido al desgaste por abrasión que produce la ceniza al contacto con los impulsores de la bomba, y la obstrucción de los filtros de las plantas de tratamiento, principalmente cuando la captación es de tipo superficial, ya que la ceniza volcánica ubicada en las cuencas altas de los ríos, es arrastrada por el agua lluvia hacia los cursos de agua, de tal manera que las condiciones físico químico del agua cambian, especialmente la turbiedad que aumentan notablemente, llegando a valores de hasta 8.000 UNT lo cual supera la capacidad de tratabilidad de la planta. En estos casos es importante que se realice una evaluación del sistema a bombeo y de las unidades directamente afectadas de la planta de tratamiento, y se considere la posibilidad de suspender temporalmente el funcionamiento de la planta, y a su vez utilizar algún sistema de abastecimiento alternativo previsto para estos casos.



Foto 17. Río Cristal con bancos de ceniza
Afluyente del río Blanco – Fuente ESPONA



Foto 18. Río Blanco – Fuente del sistema
de AP de Quinindé – Fuente MIDUVI



Foto 19. Planta de tratamiento de Quinindé
Fuente MIDUVI

Reducción de la vulnerabilidad en Tanques de Almacenamiento.

Los tanques de almacenamiento por lo general presentan vulnerabilidad a impactos por deslizamientos, asentamientos, y sismos, por lo que se sugiere tomar en cuenta los siguientes criterios para la reducción de la vulnerabilidad.

Para el diseño:

- **Tanques de almacenamiento vulnerables a deslizamientos.-** Para el diseño se sugiere considerar el 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, y se tomarán las acciones correspondientes para disminuir la vulnerabilidad de la unidad. De la experiencia que se tiene en el Ecuador, estas unidades tienen una alta vulnerabilidad a los deslizamientos, y los trabajos efectuados para reducir las mismas han sido principalmente orientados a la instalación de un adecuado sistema de drenaje del entorno del tanque, principalmente la ubicación de cunetas de coronación para desviar la el agua de los escurrimientos superficiales.
- **Tanques de almacenamiento vulnerables a sismos.-** Se sugiere emplear tecnología alternativa para el diseño de los tanques de almacenamiento ubicados en zonas de alto riesgo sísmico, como por ejemplo la tecnología del ferrocemento.

Para mitigación o rehabilitación:

- **Tanques de almacenamiento con vulnerabilidad a deslizamientos.-** 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. De la experiencia que se tiene en el Ecuador, estas unidades tienen una alta vulnerabilidad a los deslizamientos, y los trabajos efectuados para reducir las mismas han sido principalmente orientados a la instalación de un adecuado sistema de drenaje del entorno del tanque, principalmente la ubicación de cunetas de coronación para desviar el agua de los escurrimientos superficiales.
- Usualmente se presentan **grietas en el terreno de fundación y del entorno** al tanque cuando el suelo es inestable, por lo que se recomienda rellenar estas grietas mediante algún tipo de producto impermeable, como la arcilla, a fin de evitar la entrada de agua y mitigar el desarrollo del deslizamiento.
- Es importante también **proteger los puntos de descarga del tanque y su área circundante** para evitar la erosión del suelo y el posible deslizamiento que pondría en riesgo de colapso a la estructura.
- **Tanques de almacenamiento vulnerables a sismos.-** Como actividad de rehabilitación y con el fin de asegurar la estanqueidad del tanque, en caso de encontrarse fisuras debido a los factores externos, hay que colocar mortero con aditivo impermeabilizante en las fisuras encontradas y someterlas a un proceso de evaluación del funcionamiento del tanque.

Reducción de la vulnerabilidad de las Líneas de Distribución

Al igual que en las otras unidades, en las redes de distribución deberán ser tomados en cuenta los mismos criterios técnicos ya mencionados para las líneas de conducción, y los que a continuación se presentan.

Para evitar la posible contaminación del agua por efecto del colapso de tuberías de alcantarillado, es necesario diseñar las líneas de distribución tomando en cuenta el uso de juntas y materiales adecuados en las tuberías, a fin de lograr hermeticidad en las mismas.

Deberá ser lo suficientemente resistentes al movimiento oscilatorio de un sismo o un deslizamiento de tierras mediante el debido reforzamiento de los elementos que la conforman, adicionalmente debe ser totalmente hermético y estar separado de ríos u otros focos de posible contaminación.

- **Contaminación de la red de agua por colapso de la red de alcantarillado.-** Se considerarán los criterios técnicos para reducir la vulnerabilidad ante la contaminación por afectaciones en la red de alcantarillado, por lo que se sugiere considerar la reubicación de los tramos con mayor vulnerabilidad a la contaminación por ruptura de las redes de alcantarillado, y conseguir la hermeticidad correspondiente con el uso de uniones y materiales adecuados para el efecto.
- **Red de distribución vulnerable a deslizamientos, inundaciones y sismos.-** En zonas expuestas a deslizamientos, inundaciones o alta actividad sísmica, es necesario extremar el cuidado en la construcción y tendido de la tubería, la calidad e instalación de las juntas, a más de resistir la carga hidráulica, fugas, y evitar el desarrollo de las bacterias coliformes. Deberá ser lo suficientemente resistentes al movimiento oscilatorio de un sismo o un deslizamiento de tierras mediante el debido reforzamiento de los elementos que la conforman, adicionalmente debe ser totalmente hermético y estar separado de ríos u otros focos de posible contaminación .
- Igualmente se deberá implementar las medidas de mitigación correspondientes a fin de **proteger las cámaras de válvulas de aire, desagüe, y distribución de caudales y demás obras menores** de las líneas de distribución, tales como pasos de quebrada, válvulas de control, acometidas etc. Considerando como un factor principal la posibilidad de contaminación por contacto con las aguas residuales de los alcantarillados, y el reforzamiento adecuado ante sismos.
- **Sistemas alternativos de abastecimiento de agua.-** Los sistemas alternativos de abastecimiento de agua es un recurso que las entidades prestadoras de los servicios deberían considerar en su plan de prevención, a fin de dotar del líquido vital a la población cuando el sistema de abastecimiento de agua haya sufrido interrupción por impactos de los eventos adversos.

Reducción de la vulnerabilidad en los pozos someros y bombas manuales:

Para este efecto uno de los sistemas alternativos de abastecimiento de agua es la excavación de pozos someros y la instalación de bombas manuales en los mismos, por lo que es importante considerar las siguientes recomendaciones para su implementación.

- Realizar un estudio hidrogeológico de la zona, para definir el nivel del acuífero y horizontes geológicos.
- El diámetro del pozo variará entre 1,2 a 1,5 m y después de la excavación es importante revestirlo con ferrocemento, anillos prefabricados o mampostería. La parte inferior del revestimiento debe tener perforaciones de 2,5 – 5,0 cm de diámetro, para permitir el paso del agua del acuífero.
- El revestimiento en la parte superior debe construirse hasta una altura de 0,60 m sobre el nivel de la máxima inundación.
- En el fondo del pozo se colocará un filtro de arena y grava, de grueso a fino hacia abajo.
- El pozo debe cubrirse con una losa de cierre hermético, la misma que dispondrá de una boca de visita con su tapa sanitaria.
- Alrededor del pozo y en la superficie del terreno, se diseñará una zanja de drenaje, para drenar las aguas superficiales y disponerlas convenientemente.
- Para la extracción del agua, se utilizará una bomba de eje vertical, la misma que puede ser manual o eléctrica / mecánica.
- Una de las bombas más utilizadas en el Ecuador ha sido la bomba ECUSSA, de bajo costo y fácil implementación.
- Todos los cruces de tuberías a través de la losa de tapa del pozo, debe ser del tipo hermético, que impidan el ingreso de aguas contaminadas al interior del pozo.

Reducción de la vulnerabilidad en los pozos profundos y equipos de bombeo

En relación con los sistemas de abastecimiento de agua a través de pozos profundos, es importante proteger la calidad del agua y el equipo de bombeo sumergido, para lo cual se recomienda lo siguiente:

- La tubería de revestimiento del pozo, debe sobresalir, por lo menos, 0,50 m por encima del piso de la caseta de bombeo, el mismo que debe ubicarse en un nivel superior al del terreno natural y al de la máxima inundación registrada.
- Cualquier respiradero o salida para mangueras o cables, debe prolongarse 0,6 metros sobre el piso de la caseta. El cruce de estos elementos por el brocal del pozo debe ser hermético.
- Los extremos abiertos de las tuberías deben ser protegidos, para evitar la entrada de cuerpos extraños, polvo o animales.
- Cuando se instale el equipo de bombeo, directamente sobre la tubería de revestimiento, debe asegurarse un ajuste hermético entre dichos elementos. Igual situación se debe prever cuando al bomba no está directamente sobre la boca del pozo, utilizando sellos herméticos de expansión.

6.2 SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Reducción de la vulnerabilidad en Sistemas de Alcantarillado y Saneamiento

Hay una relación directa entre una adecuada eliminación de excretas y la reducción de enfermedades como cólera, tifoidea, desintería, etc., las cuales atacan especialmente a los niños.

En el caso de los alcantarillados pluviales, para el diseño, será necesario definir las cuencas que drenan a través de la ciudad.

En el diseño y construcción de los sistemas de alcantarillado, sobre todo cuando estos están bajo el nivel freático, se tomarán todas las previsiones, para eliminar o reducir al mínimo las infiltraciones de aguas subterráneas, a través de los tubos, juntas entre tubos, uniones entre estos y pozos de revisión, etc.

Los sistemas de alcantarillado sanitario no deben admitir entrada de aguas lluvias a través de conexiones clandestinas, por lo que el control se lo hará en coordinación con la autoridad competente.

En relación con los caudales de diseño de aguas lluvias habrá que considerar los siguientes aspectos:

- Para el cálculo de los caudales de escurrimiento, superficial directo, se podrá utilizar tres enfoques básicos. El método racional; el método del hidrograma unitario sintético y el análisis estadístico, basado en datos observados del escurrimiento superficial.
- El método racional se utilizará para la estimación del escurrimiento superficial en cuencas tributarias con una superficie inferior a 100 ha.
- Para cuencas con extensión superior a 100 ha se utilizará el método del hidrograma unitario sintético.
- Para estimar las descargas de cursos de agua importantes, cuya área de contribución sea superior a 25 Km², que fluyan a través de las áreas urbanas, se recomienda el análisis estadístico de los datos de escurrimiento superficial observados. De no existir información se utilizará, con la respectiva justificación, cualquier otro método, recomendado a los organismos pertinentes la instrumentación inmediata de la cuenca, tendiente a registrar los valores del escurrimiento superficial en los puntos de interés.
- Con el propósito de seleccionar las frecuencias de las lluvias de diseños se considerará el sistema de drenaje como constituido por dos sistemas diferentes. El microdrenaje constituido por el pavimento, cunetas, sumideros, y colectores; y el macrodrenaje, constituido por grandes colectores (canales, esteros, y ríos)
- El sistema de microdrenaje se dimensionará para el escurrimiento cuya ocurrencia tenga un período de retorno mínimo de 10 años, seleccionándose la frecuencia de diseño en función de la importancia del sector y de los daños y molestias que puede ocasionar las inundaciones periódicas.

- Los macrodrenajes se diseñarán para escurrimientos de frecuencias superiores a los 50 años. La selección de la frecuencia de diseño será el resultado de un análisis de los daños a propiedades y vidas humanas que puedan ocasionar escurrimientos de frecuencias superiores.
- Después del dimensionamiento del sistema, se recomienda efectuar una verificación de las repercusiones de la ocurrencia de lluvias más intensas que las del proyecto. Dependiendo de los daños potenciales, se podría redimensionar el sistema ampliando su capacidad.
- Para la aplicación del método racional y del hidrograma unitario sintético, es necesario disponer de las curvas de intensidad, duración y frecuencia. Estas relaciones serán deducidas de observaciones de los registros de lluvias en el área de estudio, durante un período lo suficientemente grande para poder aceptar las frecuencias como probabilidades.
- Cuando no existan en el área de estudio registros pluviográficos o el período de registro existente sea insuficiente, se obtendrán las curvas de intensidad, duración y frecuencia a partir de las lluvias máximas de 24 h registradas en el sector y de relaciones entre alturas pluviométricas para diferentes duraciones, para áreas de características pluviográficas similares.

Para ello, a más de observar las normas de construcción de esta clase de sistemas actualmente en vigencia, en zonas expuestas a desastres naturales, es necesario extremar el cuidado constructivo, especialmente en juntas de tuberías de cemento, en las cuales se podría adoptar la siguiente alternativa, especialmente en zonas altamente sísmicas.

- Las tuberías y colectores seguirán en general, las pendientes del terreno natural y formarán las mismas hoyas primarias y secundarias que aquel.
- La red de alcantarillado sanitario se diseñará de manera que todas las tuberías pasen por debajo de las de agua potable debiendo dejarse una altura libre proyectada de 0,30 m cuando ellas sean paralelas y de 0,2 m cuando se crucen.
- Cuando se utilicen canales para el transporte de aguas de escorrentía pluvial de sección transversal o trapezoidal, la profundidad del canal, deberá incluir un borde libre del 5% al 30 % de la profundidad de operación. Los canales no deberán tener acceso a la escorrentía superficial a través de sus bordes, para evitar la erosión. Para esto los bordes deberán estar sobre elevados respecto del nivel del terreno. La velocidad máxima de diseño será de 2 m/s en caso de canales de piedra y de 3,5 m/s a 4 m/s, en caso de canales de hormigón.
- Los pozos del alcantarillado sanitario deberán ubicarse de tal manera que se evite el flujo de escorrentía pluvial hacia ellos. Cuando sea inevitable se diseñará tapas sanitarias herméticas especiales que impidan la entrada de la escorrentía superficial.

- En sistemas de alcantarillado existentes, en caso de inundaciones, se recomienda que el organismo pertinente prohíba que las tapas de los pozos de revisión sean removidas de su sitio, para evitar el asolvamiento y taponamiento de las tuberías.



Foto 20. Tubería de alcantarillado obstruída
Fuente: Macías / Portoviejo, Ecuador

**PROTECCION DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO
EN ZONAS ALTAMENTE SISMICAS**

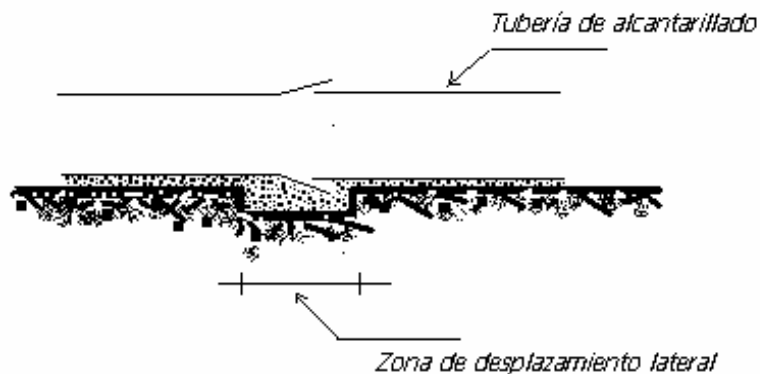


Fig. 10

Para el diseño definitivo de las plantas de tratamiento de aguas residuales, se tomará en cuenta la siguientes información:

- Levantamiento topográfico detallado de la zona en donde se ubicarán las unidades de tratamiento.
- Estudios de desarrollo urbano y / o agrícola que puedan existir escogida para el tratamiento.

- Datos geológicos y geotécnicos necesarios para el diseño estructural y de las unidades, incluyendo datos sobre el nivel freático.
- Datos hidrogeológicos del cuerpo receptor, incluyendo niveles máximos de inundación, para posibles obras de mitigación.
- Datos climáticos de la zona.
- Disponibilidad y confiabilidad del servicio de energía eléctrica.

Reducción de la vulnerabilidad en letrinas

- Como norma general, toda letrina debe construirse en terreno seco, con desagües adecuados y tomando en cuenta el nivel histórico de inundaciones. Si la zona de implantación tiene alto nivel freático, es necesario entibar el pozo o revestirlo adecuadamente para evitar derrumbes. Debe contar también con un terraplén apropiado para evitar que las corrientes superficiales penetren en el pozo y lo destruyan.
- Es conveniente que en zonas sísmicas se haga uso de la tecnología alternativa, para la construcción de letrinas unidades sanitarias, como es el caso del ferrocemento en paredes, en cubierta, y en el revestimiento de los pozos de infiltración, con lo cual se mitigaría el impacto que se produce por efecto de los sismos de gran magnitud.

7. CONSIDERACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD ADMINISTRATIVA Y OPERATIVA

- Para lograr una eficiente administración, manejo y cuidado de los sistemas de agua y saneamiento y reducir su vulnerabilidad, es necesario planificar un programa de capacitación en operación y mantenimiento dirigido a operadores en especial y a toda la comunidad en general. Se debe incluir los procedimientos a seguirse en caso de ocurrencia de desastres naturales o antrópicos según la zona.
- Impulsar en los operadores el uso del Manual de Operación y Mantenimiento, de los planos del sistema y del Libro de Vida, con el fin mejorar la vigilancia del funcionamiento, operación y mantenimiento de los sistemas.
- Propender a la adquisición de herramientas y accesorios adecuados para la operación de los sistemas,
- Programar y cumplir las visitas técnicas e inspecciones a los sistemas por parte de personal técnico especializado de municipios, consejos provinciales y demás instituciones de asesoramiento técnico como el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Actualizar el sistema tarifario de manera que permita realizar una eficiente labor de operación y mantenimiento del sistema, en base a la eficacia, eficiencia y equilibrio en el cobro. Buscar que la morosidad en el pago sea mínima.
- Concienciar a los directivos de las Juntas Comunitarias de Administración de los servicios de Agua Potable en sectores rurales acerca del conocimiento que

deben tener sobre la legislación existente (LEY DE JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO), para evitar problemas de carácter administrativo, destino del servicio, plazos de pago de tarifas, etc.

- La mayoría de sistemas de abastecimiento de agua potable, especialmente en el sector rural, han sido ubicados sin realizar los estudios técnicos necesarios, como geológicos y de suelos. Es necesario **introducir una normativa según la cual todo proyecto de abastecimiento de agua potable y saneamiento debe contar con estudios de suelos e hidrogeológicos** especialmente en sectores de alto riesgo por desastres naturales, en zonas urbanas y rurales.
- Elaborar un registro de sistemas de A.P. y saneamiento, que incluyan períodos de observación de lluvias, inundaciones, derrumbes, etc., antecedentes históricos de crecientes máximas de ríos, lagunas, lagos, embalses y realizar aforos especialmente en períodos de transición de invierno a verano.
- Impulsar la creación de Comités de Emergencia en las poblaciones, los cuales cuenten con la capacitación necesaria y puedan efectuar rápidamente acciones de contingencia en caso de desastres naturales.
- Realizar simulacros en caso de desastres naturales en comunidades especialmente del sector rural, con la presencia de **delegados de Defensa Civil**, en los cuales se instruya a la población acerca de los riesgos a los que está expuesto el sistema de agua y saneamiento.
- Introducir una legislación adecuada por parte de los municipios para evitar el asentamiento de poblaciones en zonas de alto riesgo, lo que se conoce como “asentamientos espontáneos” los cuales atentan contra el medio ambiente y pueden provocar pérdida de vidas en caso de desastres naturales. Mediante la normalización de este tipo de asentamientos se garantizará una mejor dotación de servicios básicos y se eliminará peligros.
- Profundizar los estudios de estabilidad de taludes en zonas de alto riesgo, mediante la colocación de inclinómetros u otros aparatos de detección de deslizamientos.

Elaborado por:

Ing. Mario Ballesteros

Ing. Iván Rodríguez T.

SAPSB/MIDUVI

BIBLIOGRAFIA

- **LOS DESASTRES NATURALES Y LA PROTECCION DE LA SALUD**
Organización Panamericana de la Salud – 2000
- **TRAVESURAS DE NIÑO: UN FENOMENO QUE NO TIENDE CUANDO ACABAR**
Centro de Estudios y Prevención de Desastres – Lima – Perú – 1997
- **EL NIÑO 97/98. BALANCE Y PERSPECTIVAS**
Centro de Estudios y Prevención de Desastres – Lima – Perú – 1998
- **PREVENCION....Y DESPUES DEL NIÑO QUE?**
Centro de Estudios y Prevención de Desastres – Lima – Perú – 1998
- **MITIGACION DE DESASTRES NATURALES EN SISTEMAS DE A.P. Y ALCANTARILLADO SANITARIO. GUIAS PARA ANALISIS DE VULNERABILIDAD**
Organización Panamericana de la Salud – 2000
- **MANUAL PARA MITIGACION DE DESASTRES NATURALES EN SISTEMAS RURALES DE A.P.**
Organización Panamericana de la Salud – 2000
- **LAS AGUAS DEL CIELO Y DE LA TIERRA**
Centro de Estudios y Prevención de Desastres – Lima – Perú – 1998
- **EL FENOMENO DEL NIÑO. MEMORIA**
Ministerio de Salud Pública – Ecuador - 1998
- **RIESGO, AMENAZAS, DOCUMENTOS PARA MITIGACION DE EFECTOS PRODUCIDOS POR DESASTRES NATURALES**
Ing. Galo Plaza – Escuela Politécnica Nacional - 1998
- **PLANIFICACION PARA ATENDER SITUACIONES DE EMERGENCIA EN SISTEMAS DE A.P. Y ALCANTARILLADO**
Organización Panamericana de la Salud – 1993
- **INFORME DE LA VISITA AL ACUEDUCTO DE ESMERALDAS**
Ing. Arturo Rodríguez Castillo, Consultor O.P.S.S Ecuador – Octubre 1998
- **EL TERREMOTO DE BAHIA DE CARAQUEZ - ECUADOR**
UNESCO – E.P.N. - Ecuador 1998
- **SIGMA. REVISTA DEL COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DEL ECUADOR**
C.I.C.P. – Ecuador 2001
- **INFORME APOYO EN EMERGENCIA FENOMENO DEL NIÑO 1998**
Comisión de Emergencia Piura y Tumbes – Perú – 1998
- **EL PERSONAL LOCAL DE SALUD Y LA COMUNIDAD FRENTE A LOS DESASTRES NATURALES**
Organización Mundial de la Salud – 1989

- **EMERGENCIA EN ICA**
Ing. Rubén Palacios Absi - SEDAPAL, Perú
- **NORMA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, ELIMINACION DE EXCRETAS Y RESIDUOS LIQUIDOS EN EL AREA RURAL**
Ing. Marcelo Muñoz R. - Ecuador - 1995
- **PROTECCION Y MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE AFECTADOS POR LA ACTIVIDAD VOLCANICA EN ECUADOR**
Ing. José M. Pérez, ASC - O.P.S. - Ecuador - 1999
- **LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A LOS DESASTRES** *Comisión Económica para América Latina y El Caribe-CEPAL 2000*