



¿Cómo reducir el impacto de los desastres en los sistemas de agua y saneamiento rural?

¿Cómo reducir el impacto de los desastres en los sistemas de agua y saneamiento rural?

Serie manuales y guías sobre desastres N° 9



Ecuador • Mayo 2007

Biblioteca Sede OPS - Catalogación en la fuente

Organización Panamericana de la Salud

¿Cómo reducir el impacto de los desastres en los sistemas de agua y saneamiento rural?

Ecuador: OPS, © 2007. 87 p.

(Serie Manuales y Guías sobre Desastres)

ISBN: 978-9978-45-928-7

1. DESASTRES NATURALES
2. SISTEMAS DE AGUA Y SANEAMIENTO
3. REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD
4. GUÍA (TIPO DE PUBLICACIÓN)

© Organización Panamericana de la Salud, 2007

Una publicación del Área de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Socorro en Casos de Desastre de la Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud, realizada en el marco del desarrollo del proyecto Fortalecimiento de la capacidad sanitaria local ante desastres en los países andinos, financiado por el Departamento de Ayuda Humanitaria de la Unión Europea (ECHO).

Las opiniones expresadas, recomendaciones formuladas y denominaciones empleadas en esta publicación no reflejan necesariamente los criterios ni la política de la Organización Panamericana de la Salud, ni del Departamento de Ayuda Humanitaria de la Unión Europea (ECHO).

La Organización Panamericana de la Salud dará consideración favorable a las solicitudes de autorización para reproducir o traducir, total o parcialmente, esta publicación, siempre que no sea con fines de lucro. Las solicitudes pueden dirigirse al Área de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Socorro en Casos de Desastre de la Organización Panamericana de la Salud/ Organización Mundial de la Salud, 525 Twenty-third Street, N.W., Washington, D.C. 20037, EUA.

La realización de esta publicación ha sido posible gracias al apoyo financiero del Departamento de Ayuda Humanitaria de la Comisión Europea (ECHO) y a la contribución de la División de Ayuda Humanitaria, Paz y Seguridad de la Agencia Canadense para el Desarrollo Internacional (CIDA), 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).

Coordinación general

Patricia Gómez, OPS/OMS

Coordinación editorial

Martha Rodríguez J., OPS/OMS

Corrección de estilo

Paulina Rodríguez

Diseño y diagramación

Manos Libres

Impresión

Nuevo Arte

Índice

Agradecimientos	5
Introducción	7
Capítulo 1: Fenómenos naturales y su impacto en los sistemas de agua y saneamiento	9
Capítulo 2: Sistemas de agua potable y saneamiento utilizados en el ámbito rural	13
Sistemas de abastecimiento de agua potable	13
• Sistemas convencionales de abastecimiento de agua ...	14
• Sistemas no convencionales de abastecimiento de agua	20
Sistemas de saneamiento y disposición de excretas	22
• Sistemas de saneamiento a distancia	22
• Sistemas de disposición de excretas in situ	24
Capítulo 3: Patrones de daños y medidas para la reducción de la vulnerabilidad	27
Sistemas de abastecimiento de agua	28
• Impacto en las fuentes de abastecimiento de agua	28
• Impacto en las unidades de captación	31
• Impacto en líneas de conducción, impulsión y/o aducción	43
• Impacto sobre equipos y otras estructuras complementarias	56
Sistemas de saneamiento y disposición de excretas	62
• Obstrucción y colapso de tuberías en los sistemas de alcantarillado	62
• Impacto en lagunas de estabilización en sistemas de tratamiento de aguas residuales	64
• Impacto en letrinas y sistemas sépticos	67
Capítulo 4: Elementos técnicos que contribuyen a la reducción de la vulnerabilidad	71
Cunetas de coronación	71
Emboquillados en piedra	72
Gaviones	73
Trinchos	75
Resistencia del terreno	77
Glosario	79
Bibliografía	85



Agradecimientos

La OPS/OMS agradece el valioso aporte de los profesionales de las siguientes instituciones que participaron en los talleres de revisión y validación de la Guía *¿Cómo reducir el impacto de los desastres en los sistemas de agua y saneamiento?*: Subsecretaría de Agua Potable, Saneamiento y Residuos Sólidos, MIDUVI-Ecuador, MIDUVI-Manabí, Juntas Rurales de Agua de La Jagua, Resbalón, Tabacales, Paquisha de Manabí, Empresa Municipal de Agua Potable de Quito, Empresa Municipal de Agua Potable de Rocafuerte y CARE-Ecuador.

Con el riesgo de omitir a alguna persona, agradecemos a los siguientes profesionales de la región andina, quienes participaron directamente en la elaboración y revisión técnica de los contenidos de este documento: Marcelo Recalde, Jaime Pico, Luis Valencia, Juan Diego Narváez, Claudio Osorio, Henry Hernández y Patricia Gómez. En especial agradecemos a Jesús Trelles, quien elaboró el documento base y a Daniel Taipe, quien realizó los gráficos.



Introducción

En el medio rural, la instalación de servicios básicos de agua y saneamiento es un derecho que redundará en el mejoramiento de la calidad de vida y salud de las poblaciones beneficiarias; sin embargo, estos sistemas son especialmente frágiles y su sostenibilidad —que depende de factores técnicos, sociales, económicos y ambientales— es una meta necesaria pero difícil de alcanzar.

Uno de los factores que amenaza esta sostenibilidad es el impacto de los fenómenos naturales sobre los componentes físicos del sistema y la calidad de los servicios que brindan. Es así como inundaciones, deslizamientos, tormentas, erupciones volcánicas y terremotos son algunos de los que, a lo largo de los años, han causado daños en la infraestructura de los sistemas de agua y saneamiento que, a nivel rural, comprometen la calidad de vida de estas poblaciones menos favorecidas. Aunque tienen su origen en fenómenos naturales, muchos de estos daños son recurrentes e incluso predecibles y se repiten de la misma forma después de la ocurrencia de estos fenómenos, sin que se busque reducir las vulnerabilidades que generan estos daños.

Luego de un desastre y cuando se afecta la infraestructura de los sistemas de agua y saneamiento, es común que estos servicios básicos falten, la calidad se deteriore y los beneficios logrados con su instalación se reduzcan; llegando incluso al abandono del sistema por falta de recursos para recuperar su operatividad. No solo los desastres de gran magnitud tienen estos efectos adversos; en algunos casos son los fenómenos de carácter local, a menudo recurrentes y periódicos, los que hacen que estos sistemas, sobre todo los más pequeños y precarios, reduzcan la calidad de sus servicios y, por lo tanto, se vuelvan insostenibles en el tiempo.

Si bien reducir estas vulnerabilidades puede incrementar el costo de instalación de estos sistemas, dicho incremento es menor cuando se compara con los gastos necesarios para reparar los daños, la provisión de agua segura durante la emergencia y los demás perjuicios

que causa la interrupción de los servicios, sobre todo en la salud de las personas.

El presente documento muestra los impactos que se han identificado en los sistemas rurales de abastecimiento de agua y saneamiento, debido a fenómenos naturales y propone medidas para reducir las vulnerabilidades que originan estos daños en los distintos componentes del sistema, de manera que sean considerados en la planificación, diseño y construcción de esta infraestructura y en los procesos de rehabilitación y/o reconstrucción cuando los daños ya han sido reportados.

No busca ser una guía para la selección de alternativas en agua y saneamiento, sino que aporta elementos técnicos, aplicables a las tecnologías existentes, con miras a la protección de las estructuras físicas y el mantenimiento de la continuidad y calidad de los servicios.

Está orientado para el uso de profesionales y técnicos del sector de agua y saneamiento, personal de operación y mantenimiento de las entidades administradoras y proveedoras de los servicios de agua y saneamiento en zonas rurales; también es una guía para tomar en consideración en el diseño, instalación y rehabilitación de estos sistemas a nivel local. Además, es muy útil para apoyar procesos de capacitación.

Cabe añadir que la versión preliminar de este documento, preparado por la OPS/OMS, se gestó en un proceso de trabajo conjunto con la Federación Internacional de la Cruz Roja (FICR) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). Esperamos que esta unión de esfuerzos contribuya a un mayor y mejor impacto en la reducción de los efectos de los desastres.



CAPITULO 1

Fenómenos naturales y su impacto en los sistemas de agua y saneamiento

Las amenazas naturales pueden clasificarse en dos grandes tipos: geológicas y meteorológicas. En la región, los principales fenómenos de origen geológico son los sismos, los deslizamientos y las erupciones volcánicas; mientras que los fenómenos meteorológicos más comunes son las lluvias intensas, las inundaciones y los huracanes.



Sismos y terremotos. Son eventos súbitos originados por la liberación de energía de la tierra, que producen efectos directos (vibración o sacudimiento del terreno) e indirectos (deslizamientos, asentamientos de terreno, *tsunamis*, etc.). Los daños se relacionan principalmente con el tipo de suelo sobre el que se cimienta la unidad, la probabilidad de ocurrencia de sismos y la resistencia o vulnerabilidad de la infraestructura.



Deslizamientos. Son movimientos de terreno, lodo o piedras cuesta abajo, a través de una pendiente, debidos a factores externos como consecuencia de lluvias intensas, sismos, erupciones volcánicas y problemas originados por la actividad humana (deforestación, cortes o rellenos inadecuados, etc.).



Erupciones volcánicas. Son fenómenos geológicos que consisten en la emisión (violenta o gradual) de lava y cenizas que, aunque pueden ser predecibles, su ocurrencia no es alterable por el ser humano. Además de los efectos directos de la erupción, éstas pueden provocar sismos, lahares o deslizamientos de terreno.








Inundaciones. Son ocupaciones de agua en espacios habitualmente secos, que tienen su origen en el incremento de lluvias, desvío o incremento del cauce de los ríos, crecimiento anormal del nivel del mar o la combinación de estos eventos. Pueden ser rápidas como en los casos de desbordamientos, deslizamientos, *tsunamis* o lluvias intensas, debido a la ocurrencia de huracanes o durante el fenómeno de El Niño; o lentas producidas por el crecimiento periódico de ríos o temporadas de fuertes lluvias.



Huracanes o ciclones. Son fenómenos que se caracterizan por vientos de alta velocidad, corrientes ciclónicas en el mar y el incremento de las precipitaciones. Tanto los vientos como las lluvias fuertes son factores generadores de daños a la población. Los efectos indirectos de las lluvias fuertes son las inundaciones y los deslizamientos.

Las experiencias de desastres de los últimos años permiten identificar los daños ocurridos por estos fenómenos en los sistemas de agua y saneamiento. Las siguientes matrices reproducen dicha información.

Tabla 1. Impactos de fenómenos naturales en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural

Fenómeno		 Sismos	 Deslizamientos	 Erupciones volcánicas	 Inundaciones	 Huracanes
Componente						
Fuentes de agua	Subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del afloramiento. Desvío del manantial. 	<ul style="list-style-type: none"> Desvío del manantial. 	<ul style="list-style-type: none"> Cambio en la calidad de la fuente. 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del agua en los pozos por ingreso de lodo. 	<ul style="list-style-type: none"> Lluvias intensas pueden desviar el manantial.
	Superficiales	<ul style="list-style-type: none"> Cambio en la calidad por deslizamientos inducidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Cambio de la calidad del agua por el aumento de sólidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Alteración de la calidad del agua por caída de cenizas. 	<ul style="list-style-type: none"> Alteración de la calidad del agua por el aumento de sólidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Alteración de la calidad de agua por el aumento de sólidos.
Captación	De manantial	<ul style="list-style-type: none"> Fisuras y filtraciones; colapso de la unidad. Daños en la estructura debido a la licuefacción. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve de la unidad. Colapso total de la estructura. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve y colapso de la unidad por deslizamientos, lahares y demás material volcánico. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños o colapso de la unidad por asentamientos de terreno o deslizamientos. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve de la unidad debido a los deslizamientos.
	Obra de toma en río	<ul style="list-style-type: none"> Fisuras y filtraciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve de la presa por el incremento de sólidos. Colapso total de la unidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve y colapso de la unidad debido a deslizamientos, lahares y demás material volcánico. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños o colapso de la unidad por asentamientos de terreno o deslizamientos. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños en obras de toma por erosión de riberas del río.
	Pozos	<ul style="list-style-type: none"> Fisuras y filtraciones. Colapso del pozo. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve del pozo por ingreso de sólidos. Colapso del pozo. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños en bombas y componentes metálicos por acción de las cenizas. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve del pozo por ingreso de sólidos. Daños por asentamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños en pozos cercanos a ríos por erosión de riberas.
Reservorio y otras unidades complementarias	Tuberías ¹	<ul style="list-style-type: none"> Caída de rocas sobre tuberías expuestas o poco profundas. Rotura de tuberías por asentamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños y roturas en tuberías instaladas en laderas o cauces. Daño en tuberías por deslizamiento de terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños y roturas en tuberías instaladas en laderas o cauces. 	<ul style="list-style-type: none"> Rotura de tuberías por asentamiento del terreno. Ingreso de agua contaminada. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños en cruce elevado por aumento de caudal, deslizamientos y erosión de riberas.
		<ul style="list-style-type: none"> Fisuras, filtraciones y daños por asentamiento de terreno. Pérdida del agua almacenada. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve de unidades, erosión y asentamiento del terreno. Colapso de la unidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve de unidades. Alteración en la calidad del agua en unidades descubiertas. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve de unidad, asentamiento del terreno. Contaminación por ingreso de lodo. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños en techos de algunos reservorios por vientos fuertes. Daños asociados a deslizamientos y lluvias torrenciales. Daños por la caída de árboles sobre las estructuras.
Equipos de bombeo y otros componentes eléctricos	<ul style="list-style-type: none"> Corte de fluido eléctrico. Pérdida de alineación en bombas. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños en las casetas de bombeo ubicadas en zonas vulnerables. 	<ul style="list-style-type: none"> Daño en componentes metálicos por la acción generada por las cenizas. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños en bombas y equipos eléctricos. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños asociados a lluvias intensas e inundaciones. 	

¹ Se refiere a las tuberías que forman parte de las líneas de conducción, bombeo y aducción.

Tabla 2. Impactos de fenómenos naturales en sistemas de saneamiento en el ámbito rural

Fenómeno		Sismos	Deslizamientos	Erupciones volcánicas	Inundaciones	Huracanes
Componente	Colectores	<ul style="list-style-type: none"> Rotura de colectores por las fallas en el terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> Daño en tuberías bajo el lecho del deslizamiento. Obstrucción de colectores por el ingreso de sólidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Obstrucción de colectores por el ingreso de cenizas. Daño en tuberías por efecto de lahares. 	<ul style="list-style-type: none"> Obstrucción de colectores por el ingreso de agua y lodo. 	<ul style="list-style-type: none"> Ingreso de agua y lodos por el incremento de lluvias.
	Pozos o buzones de inspección	<ul style="list-style-type: none"> Fisuras por la vibración del terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve de buzones por el ingreso de sólidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve de buzones por el ingreso de sólidos debido a cenizas y/o lahares. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve de buzones por la retención de sólidos. Daños por asentamiento del terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> Azolve de buzones por ingreso de sólidos.
	Lagunas de estabilización	<ul style="list-style-type: none"> Fisuras en los taludes y fondo de la laguna. 	<ul style="list-style-type: none"> Ingreso de lodo y sedimentos. Erosión de los taludes de la laguna. 	<ul style="list-style-type: none"> Ingreso de lodo y sedimentos y otros daños producidos por lahares y deslizamientos. 	<ul style="list-style-type: none"> Rebose de las lagunas por el ingreso de aguas de inundación. Erosión de los taludes. Azolve por el ingreso de sólidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Ingreso de lodo y sedimentos. Erosión de taludes por la escorrentía superficial. Erosión del punto de descarga en el río.
Saneamiento in situ	Letrinas	<ul style="list-style-type: none"> Derrumbe de casetas. Derrumbes al interior del hoyo. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños en la caseta y colapso de la unidad. Ingreso de sólidos en el hoyo de la letrina. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños en las casetas por movimientos sísmicos ocurridos o material arrojado por el volcán. Posibilidad de daños debido a lahares. 	<ul style="list-style-type: none"> Inundación del hoyo de la letrina. Asentamiento del terreno. Focos de infección y proliferación de vectores. 	<ul style="list-style-type: none"> Inundación del hoyo de la letrina. Asentamiento del terreno. Focos de infección y proliferación de vectores.
	Tanques sépticos	<ul style="list-style-type: none"> Daños en la estructura del tanque. 	<ul style="list-style-type: none"> Ingreso de sólidos al interior del tanque. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños relacionados con deslizamientos y lahares producidos por la acción volcánica. 	<ul style="list-style-type: none"> Inundación del tanque séptico. Focos de infección y proliferación de vectores. 	<ul style="list-style-type: none"> Inundación del tanque séptico. Focos de infección y proliferación de vectores.
	Zanjas y pozos de infiltración	<ul style="list-style-type: none"> Derrumbe al interior del pozo de infiltración. 	<ul style="list-style-type: none"> Destrucción de las zanjas e ingreso de sólidos a las pozas. 	<ul style="list-style-type: none"> Daños relacionados con deslizamientos y lahares producidos por la acción volcánica. 	<ul style="list-style-type: none"> Inundación de las zanjas y pozas de percolación. Focos de infección y proliferación de vectores. 	<ul style="list-style-type: none"> Inundación de zanjas y pozas de infiltración. Focos de infección y proliferación de vectores.



CAPÍTULO 2

Sistemas de agua potable y saneamiento utilizados en el ámbito rural



Sistemas de abastecimiento de agua potable

Antes de ser aprovechada para el consumo humano, limpieza y otros usos, el agua disponible en la naturaleza debe recolectarse, adecuar su calidad, ser conducida hacia los centros poblados y luego distribuida. Para ello es necesario desarrollar proyectos y actividades para el establecimiento del servicio que permita llevar el agua desde el lugar donde se encuentra (fuente) hacia la población que la necesita (usuarios), no sin antes darle el tratamiento que fuera necesario.

Los sistemas de abastecimiento de agua incluyen este conjunto de obras e infraestructura, construidas para satisfacer las necesidades de la población. Dependen de la disponibilidad de las fuentes naturales de agua y de las capacidades técnicas y económicas de la población beneficiaria, sobre todo en el medio rural.² Según las características de construcción y diseño y el nivel de servicio que brindan, se pueden clasificar en:

² Para mayores alcances sobre las alternativas y la selección de opciones tecnológicas para el abastecimiento de agua, en el ámbito rural, se recomienda revisar *Consideraciones para la selección de la opción tecnológica y nivel de servicio en sistemas de abastecimiento de agua*, CEPIS/OPS-OMS, 2006. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsatp/e/tecnopro/documentos/agua/ialgoagua.pdf>

Sistemas convencionales	Sistemas no convencionales
Sistemas por gravedad <ul style="list-style-type: none"> • Con tratamiento • Sin tratamiento 	Pozos excavados o someros
Sistemas por bombeo <ul style="list-style-type: none"> • Con tratamiento • Sin tratamiento 	Pozos equipados con bombas manuales
	Abastecimiento directo de manantiales

• Sistemas convencionales de abastecimiento de agua

El diseño, construcción y operación de estos sistemas permiten brindar el servicio de abastecimiento de agua a nivel domiciliario o a través de piletas públicas. Dado que la infraestructura es compartida por los usuarios, se pueden adoptar medidas comunitarias para la gestión de los servicios y la operación y mantenimiento de los sistemas, así como participar en la construcción e instalación de los componentes, debiendo contar con la supervisión y asesoría de personal técnico idóneo que guíe los trabajos realizados por la comunidad.

Sistemas por gravedad

Aprovechan las diferencias naturales entre el nivel o posición de la fuente con respecto a la población beneficiaria, utilizando la gravedad para distribuir el agua hasta los usuarios. El tipo de fuente y la calidad del agua determinarán si se requiere tratamiento antes de su consumo.

Sistemas por gravedad sin tratamiento (GST)

Se abastecen de fuentes subterráneas que afloran de manera espontánea en la superficie del terreno, en forma de manantiales. Por lo general el agua que provee estas fuentes es de una calidad aceptable y solo necesitan de simple desinfección antes de su distribución y consumo.

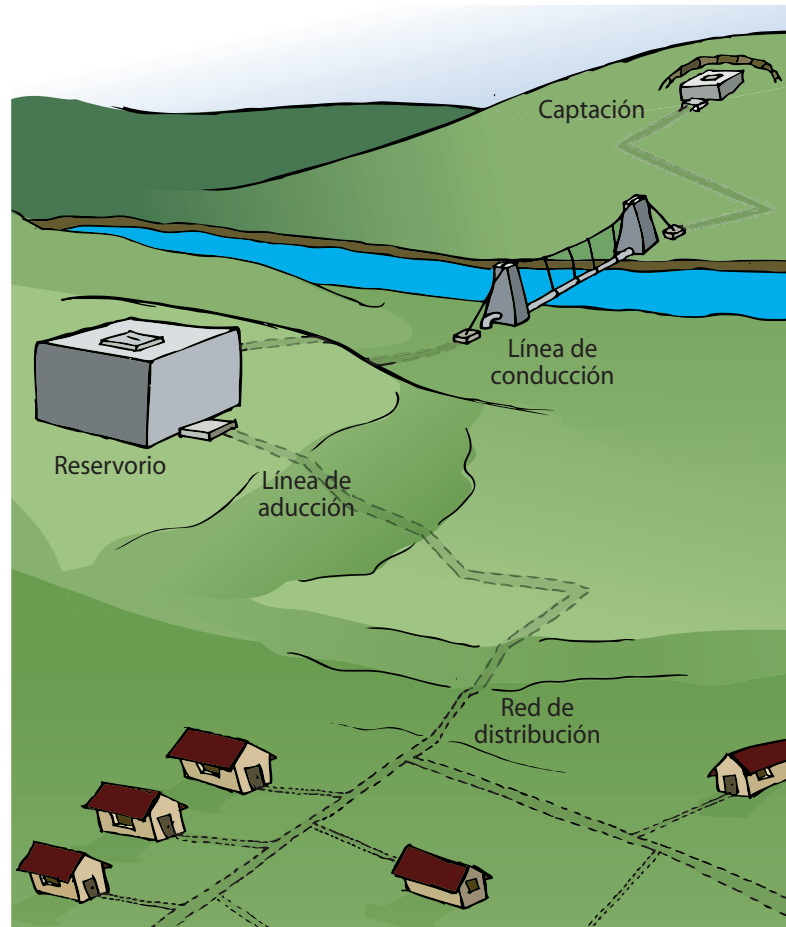


Figura 1
Sistema de abastecimiento
de agua por gravedad sin
tratamiento (GST)

Dentro de este tipo de sistemas, se distinguen los siguientes componentes principales:

- **Captación.** Unidad encargada de recolectar y preservar la calidad del agua que aflora a la superficie.
- **Línea de conducción.** Tramo de tubería ubicado entre la captación y el reservorio con la finalidad de acercarla a la población, antes de ser distribuida. Atraviesa terrenos de fuertes pendientes, quebradas, ríos, etc.
- **Reservorio o tanque de almacenamiento.** Unidad que sirve para almacenar el agua que produce la fuente cuando ésta es mayor a lo que la población consume y permite cubrir la demanda en horas de mayor consumo. Además, debe ser capaz de preservar la calidad del agua; generalmente la cloración se realiza en estos reservorios.
- **Línea de aducción y redes de distribución.** La primera es el tramo de tubería que sale del reservorio hacia las viviendas y que conduce la cantidad de agua que se consume en ese momento. Las redes se encargan de distribuirla a las viviendas y/o piletas.

Sistemas por gravedad con tratamiento (GCT)

Estos sistemas se abastecen de fuentes de agua superficial como ríos, canales, lagos, etc., donde la calidad del agua no es adecuada para el consumo y debe ser tratada antes de distribuirla a los usuarios.

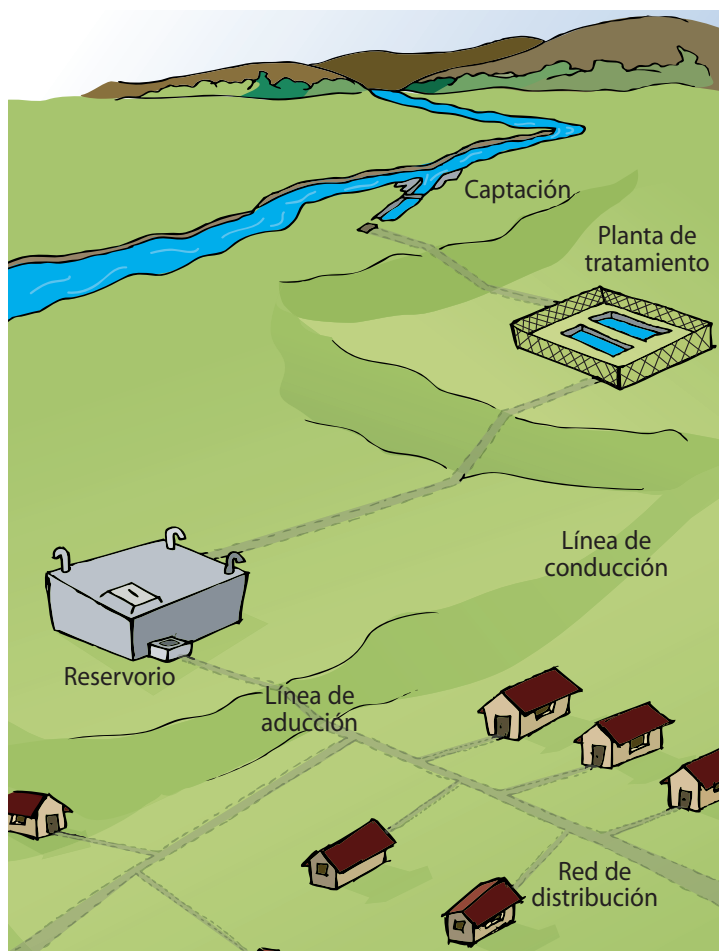


Figura 2
Sistema de abastecimiento de agua por gravedad con tratamiento (GCT)

Sus componentes principales son los siguientes:

- **Captación o bocatoma.** Unidad que permite tomar de la fuente (río, canal, etc.) la cantidad necesaria para abastecer a la comunidad y derivarla hacia la planta de tratamiento.
- **Línea de conducción.** Tubería que conduce el agua de la bocatoma a la planta de tratamiento y de ésta al reservorio. Puede ser necesario atravesar grandes longitudes, de acuerdo a la disponibilidad y calidad de fuentes en la cuenca.

- **Planta de tratamiento.** Unidad destinada a mejorar las cualidades físicas, químicas y biológicas del agua para hacerla apta para su consumo. Generalmente incluye filtros de materiales pétreos (arena, gravilla, grava), aunque dependiendo de la cantidad de agua necesaria y la calidad que proporciona la fuente, pueden ser necesarios procesos adicionales. Por lo general la cloración es el proceso final a la salida de la planta.
- **Reservorio o tanque de almacenamiento.** Almacena el agua producida por la planta de tratamiento y la distribuye según la demanda de la población.
- **Línea de aducción y redes de distribución.** Conducen el agua del reservorio a la población y la distribuyen a las viviendas y/o conexiones públicas.

Dependiendo de las características del terreno y las particularidades de cada sistema, pueden incluirse otros componentes auxiliares.

- **Cámara o caja rompedora.** Cuando las diferencias de nivel son excesivas, estas cajas se usan para reducir la presión dentro de la tubería y evitar su colapso.
- **Válvulas de aire y de purga.** Mediante éstas se retiran el aire y los sedimentos que puedan haber ingresado a la tubería.
- **Piletas públicas.** Se usan cuando, por razones técnicas o económicas, no es posible entregar el agua directamente al domicilio de los usuarios.

Sistemas por bombeo

Cuando no existen fuentes disponibles sobre el nivel de la población, es necesario extraer el agua existente en el subsuelo o impulsarla desde terrenos más bajos. De acuerdo a la calidad de la fuente que se aproveche, además se requerirán unidades para el tratamiento del agua.

Sistemas por bombeo sin tratamiento (BST)

Generalmente se abastecen de pozos excavados o perforados, de donde se extrae el agua subterránea que, en la mayoría de los casos, es de calidad aceptable y puede ser consumida solo con simple desinfección.

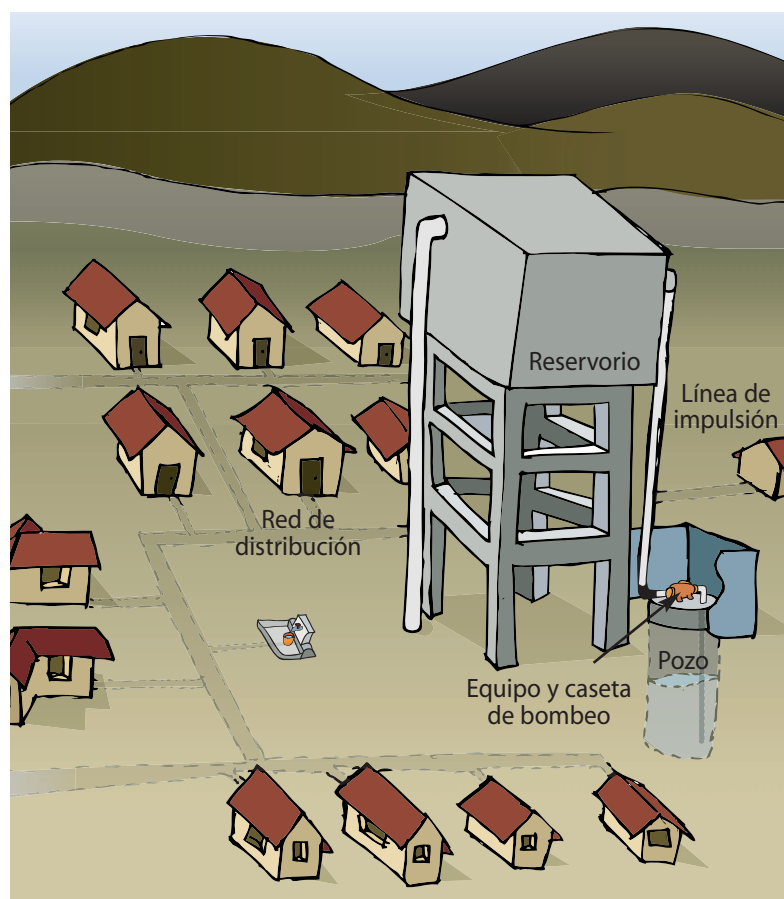


Figura 3
Sistema de abastecimiento de agua por bombeo sin tratamiento (BST)

Los principales componentes de estos sistemas son:

- **Pozo.** De donde se extrae el agua del subsuelo. Sus dimensiones dependen de la profundidad a la cual se encuentre el nivel freático con calidad de agua aceptable. De acuerdo a las capacidades técnicas y económicas, éste puede ser excavado manualmente o perforado.
- **Equipo y caseta de bombeo.** Indispensable para la extracción del agua del pozo. El equipo está compuesto por bombas eléctricas o de combustión, que implican costo en energía y capacidades técnicas mínimas para su operación y mantenimiento.
- **Línea de impulsión.** Tramo de tubería que conduce el agua de la estación de bombeo hacia el reservorio.
- **Reservorio o tanque de almacenamiento.** Sobre todo en zonas de topografía plana, los reservorios se encuentran dentro de la comunidad y son elevados sobre columnas para proporcionar la altura necesaria para distribuir el agua almacenada y atender la demanda de la población a lo largo del día. Una buena opción es realizar la desinfección en esta unidad.
- **Red de distribución.** Distribuye el agua desde el reservorio hacia las viviendas y/o piletas públicas.

Sistemas por bombeo con tratamiento (BCT)

Son sistemas que aprovechan el agua de una fuente superficial ubicada a un nivel inferior al necesario para distribuir el agua por gravedad. Generalmente esta opción suele ser más costosa que las anteriores y solo es recomendable en caso de no existir otras fuentes disponibles en la cuenca.

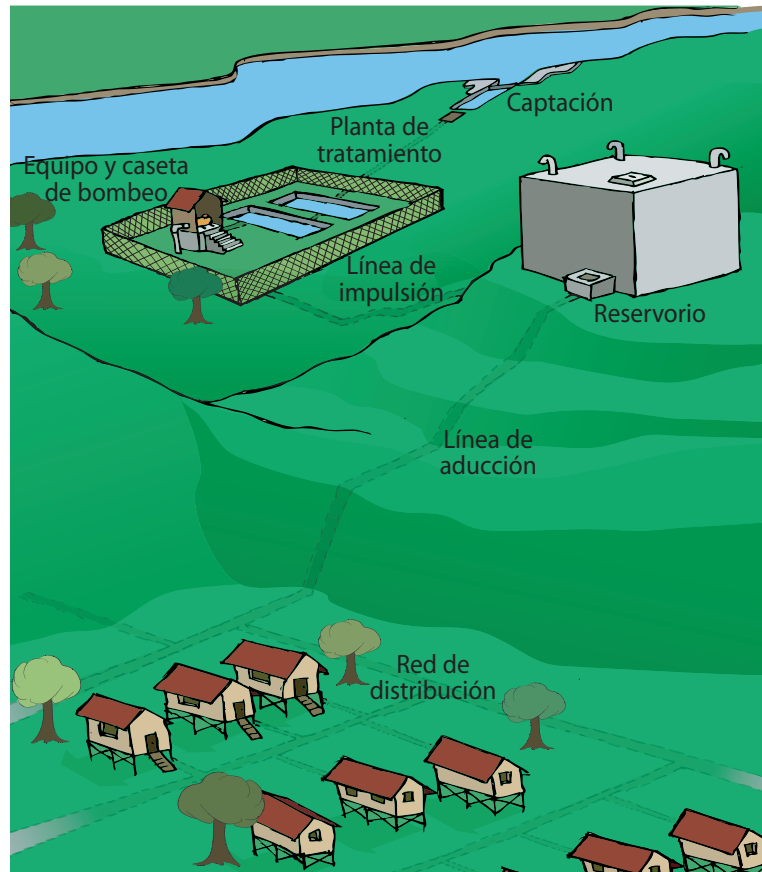


Figura 4
Sistema de abastecimiento
de agua por bombeo con
tratamiento (BCT)

Los componentes que lo conforman son:

- **Captación o bocatoma.** Permite tomar de la fuente (río, canal, etc.) la cantidad necesaria para abastecer a la comunidad y derivarla hacia la planta de tratamiento.
- **Línea de conducción.** Tubería o canal que conduce el agua de la bocatoma a la planta de tratamiento.
- **Planta de tratamiento.** Mejora las cualidades físicas, químicas y biológicas del agua para optimizar su calidad y hacerla apta para su consumo. Generalmente el desinfectante se dosifica a la salida de la planta.
- **Equipo y caseta de bombeo.** Ubicados al final del proceso de tratamiento, impulsan el agua tratada hacia el reservorio ubicado en un nivel mayor que el de la población.

- **Reservorio o tanque de almacenamiento.** Almacena el agua tratada para distribuirla a la comunidad.
- **Líneas de aducción y redes de distribución.** Conducen el agua hacia la comunidad y la distribuyen entre las viviendas y/o piletas públicas.

Para el correcto funcionamiento de estos sistemas se debe contar con personal calificado en la operación y mantenimiento de los equipos de bombeo y la planta de tratamiento, así como los recursos técnicos y económicos.

• Sistemas no convencionales de abastecimiento de agua

Aquí se agrupan los sistemas que permiten brindar un servicio básico de abastecimiento de agua, a través de soluciones individuales y multifamiliares, al aprovechar pequeñas fuentes de agua. Normalmente requieren transporte, almacenamiento y desinfección del agua dentro de la vivienda y, por lo tanto, el compromiso de la comunidad para la adecuada desinfección y manejo.

Pozos someros

Son una solución para el abastecimiento de agua a nivel domiciliario o comunitario, que consiste en un pozo excavado (muchas veces de manera artesanal) para aprovechar el agua subterránea cuando el nivel freático se encuentra poco profundo. Aunque no constituye un sistema formalmente establecido, debido a los riesgos de contaminación, su amplio uso en las zonas rurales hace necesario que sea tomado en cuenta. Con esta solución, el agua siempre debe ser desinfectada o hervida antes de su consumo.

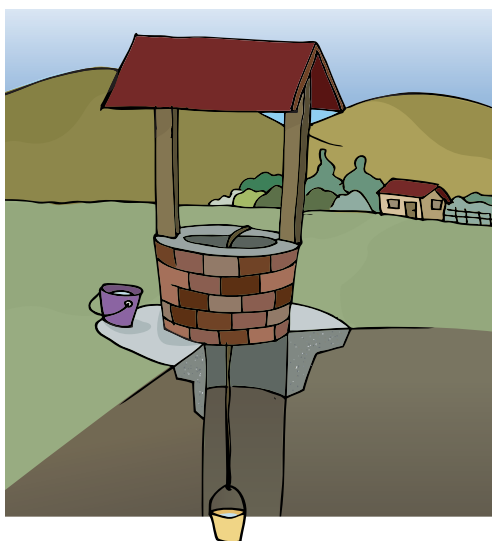


Figura 5
Pozo somero

Pozos equipados con bombas manuales

Son soluciones para el abastecimiento que reducen los riesgos de contaminación durante la extracción del agua. Están debidamente protegidos y equipados con un dispositivo de bombeo manual para la extracción del agua del subsuelo. El agua debe ser siempre desinfectada antes de ser consumida.

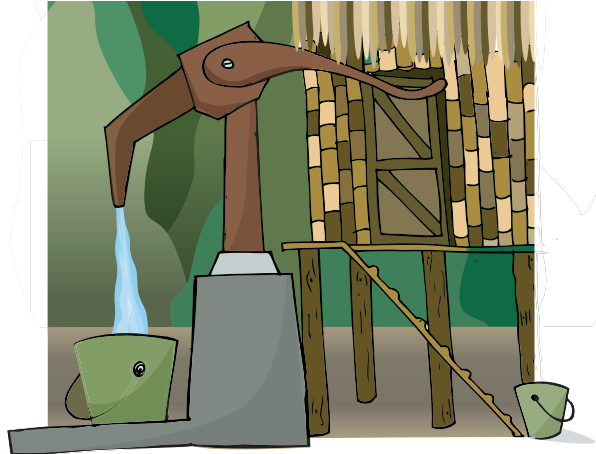


Figura 6
Bomba manual

Abastecimiento directo de manantiales

Permite el abastecimiento directo a partir de la captación de pequeñas fuentes subterráneas ubicadas cerca de la vivienda o grupo de viviendas. El punto de abastecimiento puede encontrarse en el lugar donde se ubica la fuente o ésta puede ser conducida a los usuarios mediante tuberías de pequeño diámetro hacia un surtidor común o directamente a las viviendas. La unidad de captación y recolección del agua de manantial es similar a la que se usa en un sistema de gravedad sin tratamiento. En este caso la desinfección se realiza en la unidad de captación, antes de ser distribuida a los usuarios.

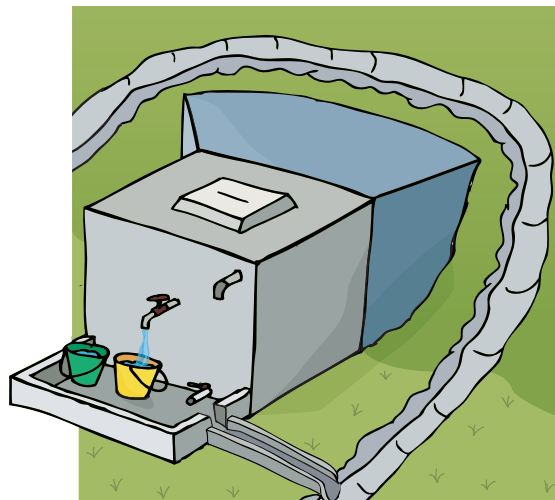


Figura 7
Captación de manantial

Sistemas de saneamiento y disposición de excretas

La disposición inadecuada de aguas residuales y de excretas son algunas de las causas para la transmisión de enfermedades como cólera, diarrea, tifoidea, parasitosis, hepatitis A, entre otras; las mismas que pueden evitarse mediante el uso adecuado de sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales y disposición sanitaria de excretas. Además de la construcción de estos sistemas, las prácticas de higiene adecuada son indispensables.

Dado que existe un conjunto de opciones tecnológicas de saneamiento, la solución que se elija debe tener en cuenta diversos factores técnicos, sociales y económicos³ de la comunidad a la cual se desea proveer el servicio, con el objetivo de que la solución sea aceptada por la comunidad y pueda ser mantenida y sostenible en el tiempo.

Según las características de diseño y el nivel de servicio que brindan, pueden clasificarse en:

Sistemas de saneamiento a distancia	Sistemas de disposición de excretas in situ
Alcantarillado <ul style="list-style-type: none"> • Convencional • Simplificado • Condominial 	Saneamiento in situ seco <ul style="list-style-type: none"> • Letrina de hoyo seco • Letrina de hoyo seco ventilado • Letrina compostera
Tratamiento <ul style="list-style-type: none"> • Lagunas de estabilización • Tanques Imhoff • Filtros percoladores • Fosas sépticas 	Saneamiento in situ húmedo <ul style="list-style-type: none"> • Letrina de cierre hidráulico
	Sistemas sépticos

• Sistemas de saneamiento a distancia

Son opciones de saneamiento que incluyen la recolección de las aguas residuales de manera conjunta para toda la comunidad y un tratamiento centralizado antes de evacuarlas a un cuerpo de agua superficial o quebrada. Usualmente, se requiere de un nivel de inversión, operación y mantenimiento considerable para su instalación.

³ Para mayor información sobre los criterios para la selección de alternativas de saneamiento adecuadas, se recomienda revisar: *Algoritmo para la selección de la opción tecnológica y nivel de servicio en saneamiento*, CEPIS/OPS-OMS, 2006. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsatp/e/tecnoapro/documentos/sanea/ialgosanea.pdf>

Sistema de alcantarillado

Recolecta el agua residual de las viviendas para conducir las hacia los sistemas de tratamiento centralizados. Cuando están bien mantenidos, brindan un buen nivel de servicio, sin embargo, los costos de instalación, operación y mantenimiento son elevados. Sus componentes principales son:

- **Redes de recolección.** Tuberías interconectadas que recogen las aguas residuales y las conducen fuera de la comunidad.
- **Colectores principales.** Reúnen las aguas residuales recolectadas en las redes y las conducen hacia el lugar de tratamiento.
- **Buzones o pozos de inspección.** Instalados entre las redes de recolección para limpieza y mantenimiento del sistema.

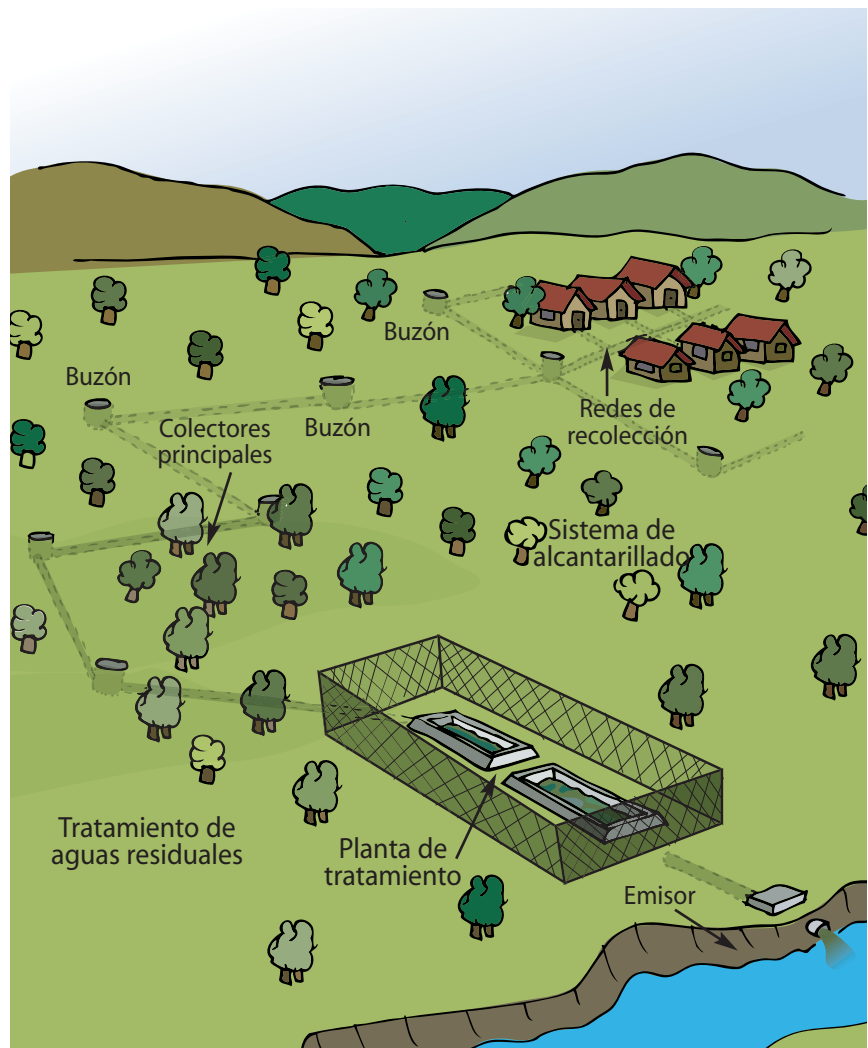


Figura 8
Sistema de alcantarillado
y tratamiento de aguas
residuales

Dependiendo de la complejidad de sus componentes, el sistema puede ser de alcantarillado convencional, simplificado o condominial.

Sistema de tratamiento

Acondiciona la calidad del agua residual antes de que ésta sea descargada a un cuerpo receptor (quebrada, río, lago, mar, etc.). Es necesario reducir la carga contaminante por los peligros contra la salud asociados con la transmisión de enfermedades. Los sistemas de tratamiento cuentan con:

- **Planta de tratamiento.** Unidades y procesos para reducir la carga contaminante de las aguas residuales. Las tecnologías aplicables para el medio rural son las lagunas de estabilización o tanques Imhoff.
- **Emisor.** Estructuras y tuberías que trasladan al punto de descarga el agua residual tratada para depositarla en el cuerpo receptor.

• Sistemas de disposición de excretas in situ

Cuando los recursos económicos y técnicos, así como las condiciones de terreno, limitan la instalación de sistemas de recolección y tratamiento conjunto (por los niveles de inversión, operación y mantenimiento asociados), las opciones tecnológicas y niveles de servicio deben adecuarse a las condiciones económicas y físicas de la población que se busca atender, así como al contexto cultural de la comunidad.

Saneamiento in situ seco

Se refiere a la mayoría de letrinas usadas en el medio rural: letrinas de hoyo seco simple, hoyo seco ventilado, letrinas composteras,⁴ entre otras. En general, constan de un aparato sanitario, caseta y un hoyo o cámara para el almacenamiento de las heces y se requiere de material secante (arena, cenizas, etc.) para su uso.

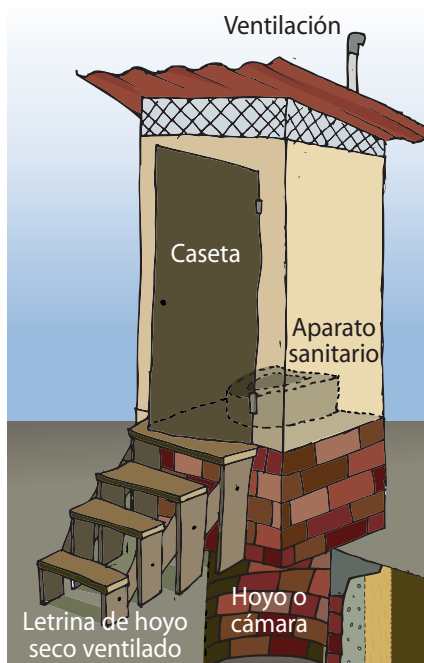


Figura 9
Saneamiento in situ seco

⁴ En las letrinas composteras, la orina debe ser separada de las heces, de las cuales se puede obtener un mejorador de suelos llamado compost. Para que este sistema sea eficiente y sostenible necesita de un nivel de compromiso de los usuarios para su correcta operación y mantenimiento. Para mayor información se recomienda revisar: *Tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico*, OPS, 2002. Disponible en: <http://www.disaster-info.net/desplazados/documentos/saneamiento01/index.htm>

Saneamiento in situ húmedo

Es una opción para la disposición de excretas y aguas residuales. Cuando están bien mantenidas brindan un nivel de servicio mayor que las letrinas secas. Su instalación requiere una mayor inversión y no se recomienda en lugares donde el suministro de agua es limitado.

Sus componentes son similares al saneamiento in situ seco: caseta, aparato sanitario (o bacinete), tubería de conexión, foso negro o sumidero, a diferencia de que en éste se utiliza agua para la circulación de las heces.

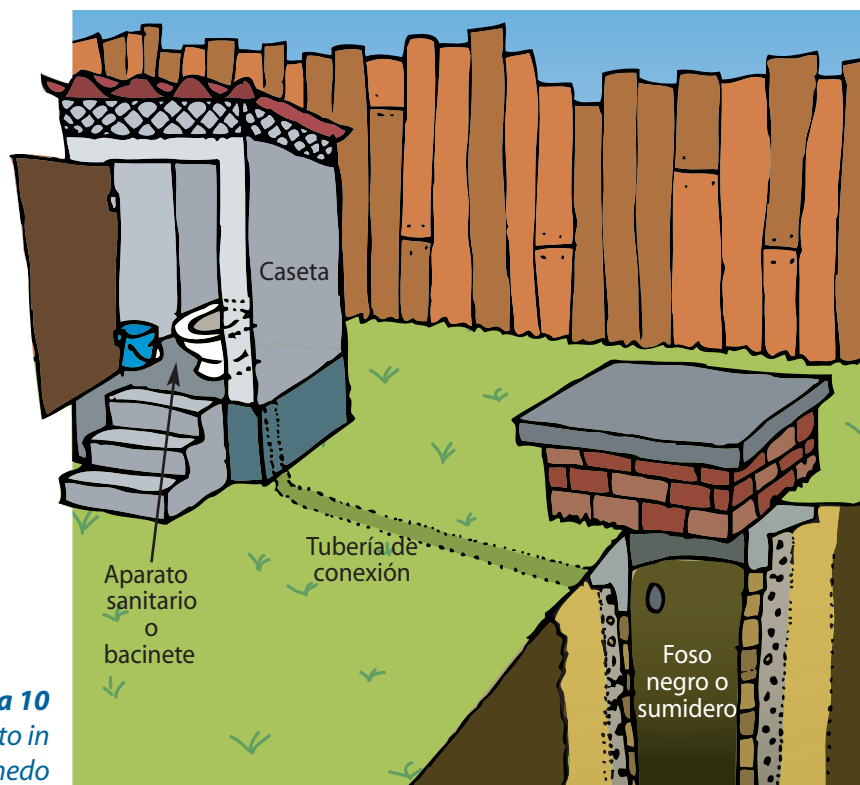


Figura 10
Saneamiento in situ húmedo

Sistemas sépticos

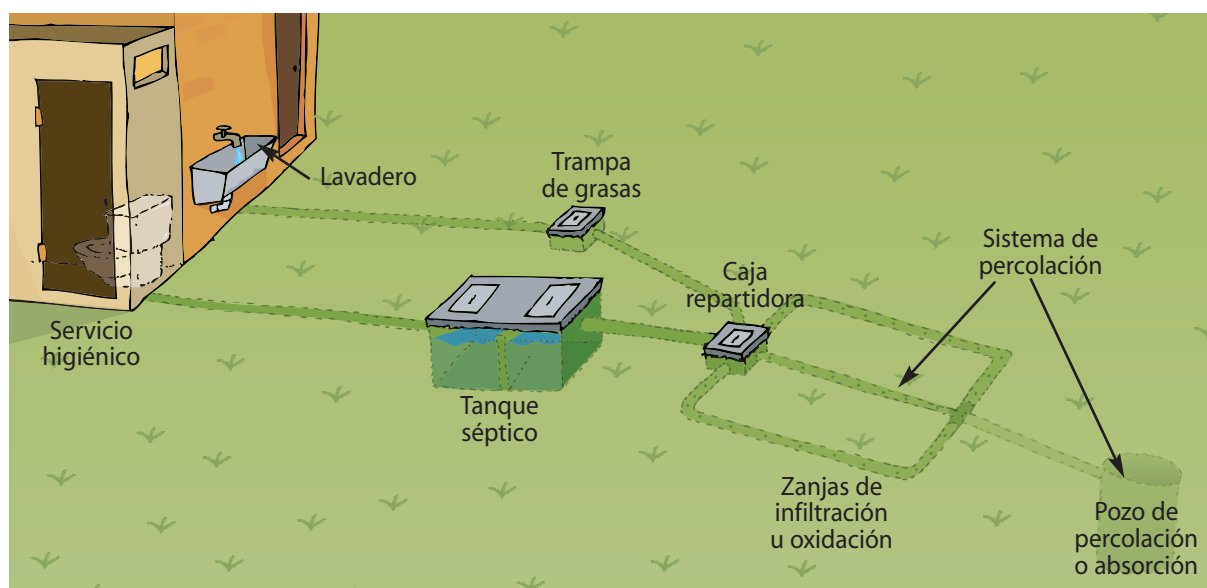
Tienen como objetivo recolectar las aguas residuales de una vivienda (o conjunto de viviendas) y darles un tratamiento primario antes de ser infiltradas en el terreno. Generalmente consta de los siguientes elementos:⁵

- **Servicios higiénicos, lavadero** y otros usos dentro del domicilio o conjunto de viviendas.

⁵ Para mayor información sobre el diseño de cada uno de los componentes de los sistemas sépticos, se recomienda revisar: *Tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico*, OPS, 2002. Disponible en: <http://www.disaster-info.net/desplazados/documentos/saneamiento01/index.htm>

- **Trampa de grasas:** Donde se retienen los aceites y grasas que provienen de la preparación de comidas y otros.
- **Tanque séptico:** Donde se retienen y estabilizan los sólidos y la materia fecal.
- **Cajas de repartición:** Donde el líquido sobrenadante es distribuido al sistema de percolación.
- **Sistema de percolación:** Pueden ser zanjas de infiltración, pozos de percolación u otros, que permitan una rápida infiltración del líquido en el terreno.

Figura 11
Sistemas sépticos



En algunos casos pueden usarse para brindar el servicio a nivel comunal, para lo que requieren un sistema de alcantarillado (similar al de los sistemas centralizados). Su construcción demanda una inversión mayor que en las otras opciones de saneamiento in situ y su uso requiere mantenimiento periódico que debe ser asumido por el conjunto de usuarios. En algunas zonas (como las de expansión urbana) los sistemas sépticos pueden considerarse un paso previo a la instalación de alcantarillado y un sistema de saneamiento con tratamiento centralizado.



CAPÍTULO 3

Patrones de daños y medidas para la reducción de la vulnerabilidad

Los impactos de los fenómenos naturales sobre los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento suelen repetirse en similares condiciones y presentan características comunes que pueden ser agrupadas en patrones de daño. Estos daños dependen del componente afectado, la naturaleza de los fenómenos naturales y las vulnerabilidades de los sistemas. Tomando en cuenta estas características se pueden tomar medidas para reducir la vulnerabilidad y favorecer la sostenibilidad de los servicios de agua y saneamiento.

No todos los componentes de un sistema son igualmente vulnerables frente a un fenómeno natural y no todos sufren los daños al mismo tiempo. Para saber qué tan vulnerable es cada uno de los componentes es necesario identificar las amenazas que los pueden afectar y las condiciones en las cuales se encuentran (materiales, estado de conservación, etc.).

Para la protección de los sistemas existentes, la construcción de nuevos sistemas o componentes, o su reconstrucción luego de ser afectados por un desastre, es importante determinar las amenazas y vulnerabilidades y después ejecutar las medidas de prevención o mitigación necesarias.

Descripción de las amenazas

- ✓ ¿Qué amenazas se podrían presentar en la zona?
- ✓ ¿Dónde se originan y qué área se ve afectada?
- ✓ ¿En qué época del año ocurren y con qué frecuencia?
- ✓ ¿Cuál es la magnitud de los daños?
- ✓ ¿Qué antecedentes se tienen?
- ✓ ¿Qué otros peligros pueden generarse?

Vulnerabilidad del sistema

- ✓ ¿Dónde se encuentran ubicados los componentes?
- ✓ ¿Cuáles son las características del terreno?
- ✓ ¿De qué materiales está construido y cuál es el estado de conservación de los componentes?
- ✓ ¿Quién está encargado de la operación y mantenimiento del sistema?
- ✓ ¿Quién tiene la responsabilidad de restablecer el servicio cuando éste se afecta?
- ✓ ¿Con qué recursos y capacidades se cuenta para la rehabilitación del sistema en caso de que resultara afectado?



Sistemas de abastecimiento de agua

• Impacto en las fuentes de abastecimiento de agua

Cualquiera sea la fuente de abastecimiento, la cantidad y la calidad del agua determinan si ésta es apta para abastecer una población y el tipo de tratamiento requerido. Debido a un desastre natural, ambas características pueden variar temporal o definitivamente y afectar el suministro a los usuarios.

Fuentes subterráneas

En sistemas abastecidos por manantiales y/o pozos, tanto la calidad como la cantidad del agua pueden alterarse.

Impactos reportados

- Luego de un fenómeno natural pueden presentarse contaminantes en el agua (por ejemplo, metales pesados en el agua de manantiales o pozos) o cambiar su apariencia y sabor (como la presencia de sal en el agua de pozos).

- La cantidad de agua en la fuente puede reducirse (como en el caso de pozos o manantiales) o incrementarse excesivamente (por lo general, en manantiales) y exceder la capacidad del sistema. En algunos casos, el manantial puede agotarse o cambiar su punto de afloramiento.

Causas identificadas



Los sismos pueden influir en el caudal y el punto de afloramiento de los manantiales; además, variar el caudal de los pozos y aumentar su salinidad cuando se encuentran en zonas cercanas a la costa.



El incremento de lluvias, generalmente las de gran magnitud producidas por huracanes o fenómenos como El Niño, aumenta el agua que se infiltra y también la cantidad de agua en los manantiales, sobre todo cuando las zonas de recarga son muy cercanas; debido a ello, el afloramiento puede desviarse o modificarse.



Las cenizas y otros materiales volcánicos pueden alterar la calidad de la fuente y aparecer contaminantes en el agua subterránea o en unidades de almacenamiento. Estos contaminantes, tales como metales pesados, pueden tener efectos tóxicos.

Recomendaciones

- ✓ Tener en cuenta los cambios ocurridos en eventos anteriores, antes de definir la fuente de agua. Con esa información es recomendable elegir aquellas fuentes que sean más constantes (en cantidad y calidad) en el tiempo. Asimismo, vigilar periódicamente la calidad del agua.
- ✓ Las unidades de captación deben diseñarse para recolectar toda el agua del manantial, de lo contrario, el caudal excedente, que buscará salir a la superficie, puede modificar el flujo del manantial y alterar o modificar el punto de afloramiento.
- ✓ Cuando sea necesario las unidades de captación deben contar con tapas sanitarias herméticas para evitar el ingreso de cenizas y polvo volcánico. En todo caso, estas cubiertas no deben permitir el ingreso de agua de escorrentía u otros contaminantes al interior de la unidad.

Fuentes superficiales

De manera natural, las fuentes superficiales (ríos o canales) pueden tener variaciones estacionales en cantidad y calidad. Sin embargo, la ocurrencia de algunos fenómenos producen estos cambios de

manera súbita, alteran las condiciones y la calidad del servicio y, en algunos casos, afectan algunos componentes del sistema.

Impactos reportados

- Alteración de la calidad del agua en las fuentes superficiales, especialmente por aumento de turbiedad y sólidos suspendidos. También pueden modificarse el color, la turbiedad y la acidez de las fuentes superficiales, por el ingreso de materiales volcánicos.
- En algunos casos, contaminación por desagües, aguas residuales u otros desechos cuando, además, ocurren daños en los sistemas de alcantarillado, tratamiento de aguas o cuando llegan materiales tóxicos al cuerpo de agua.
- Oxidación, a mediano y largo plazo, de los componentes y cubiertas metálicas del sistema, producto de la combinación de la acidez de la escorrentía y el agua de lluvia con cenizas volcánicas.

Causas identificadas

- Los deslizamientos producidos por sismos, lluvias intensas, desbordes, tormentas o huracanes o por actividades humanas (deforestación, rellenos o cortes inapropiados), que descargan en un cuerpo de agua y aumentan su carga de contaminantes, en especial el contenido de sólidos y turbiedad.
- Las cenizas expulsadas por la actividad volcánica pueden alterar la calidad del agua, al ingresar ciertos contaminantes y modificar su acidez (pH).

Recomendaciones

- ✓ Incorporar procedimientos de operación y mantenimiento en las plantas de tratamiento de agua para evitar el incremento de turbiedad. Suspender el ingreso a la planta mientras dura el evento y contar con una fuente alternativa o una reserva de agua cruda. Para eventos de larga duración (meses) las plantas de tratamiento deben diseñarse considerando estas variables.
- ✓ Coordinar, junto a otros actores locales (autoridades, junta de regantes, otros), actividades para la protección y manejo de las fuentes de agua dentro de la microcuenca. Implementar acciones para reducir el riesgo de deslizamientos, contaminación por productos químicos agrícolas, reforestación, control de la erosión, vigilancia ambiental, limpieza periódica de los cauces, etc.⁶

⁶ Para mayor información sobre la protección de microcuencas, se recomienda revisar el documento: *Aprendiendo a conservar el agua y proteger nuestra microcuenca*, SANBASUR-IMA, 2005. Disponible en: <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc16422/doc16422.htm>

- ✓ Realizar la limpieza periódica de las unidades de captación y almacenamiento para eliminar lodos y sedimentos acumulados, antes de que éstos representen un problema para la operación del sistema o alteren la calidad del agua.

• Impacto en las unidades de captación

Las unidades de captación pueden encontrarse alejadas de la comunidad, en zonas donde suelen existir amenazas naturales (deslizamientos, caídas de roca, erosión, etc.). Tanto para fuentes subterráneas como superficiales, las condiciones del terreno en el cual se ubica la unidad y la vulnerabilidad de la misma son determinantes para evitar daños en el sistema.

Fuentes subterráneas. Impacto sobre unidades de captación de manantiales

La recolección del agua aflorada en los manantiales se realiza comúnmente a través de cajas de captación, ubicadas sobre el punto donde se aprecia el afloramiento. En algunos casos, una mala ubicación de esta unidad aumenta la vulnerabilidad del sistema porque la dirección del flujo de agua y el punto de afloramiento son susceptibles de modificarse debido al impacto de un fenómeno natural.

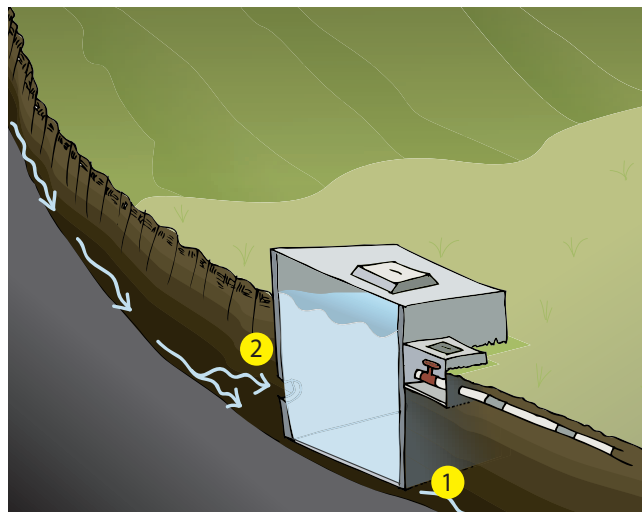


Figura 12
Captación de manantiales.
Problemas en la ubicación
de la unidad

En la figura, la unidad de captación solo recolecta el agua que eventualmente afloraría a la superficie.

1) No toda el agua del manantial es recolectada y el excedente sigue su curso por debajo del terreno. 2) El orificio de recolección descarga por debajo del nivel del agua dentro de la unidad.

Descripción del impacto

- Reducción del caudal recolectado en la caja de captación.
- Aparición de filtraciones alrededor de la unidad, lo que puede debilitar la resistencia del terreno, producir deslizamientos y afectar la estructura.
- Restricción de continuidad y cobertura, debido a la reducción del caudal captado.
- En los casos más severos, la unidad de captación puede quedar fuera de funcionamiento, debido al cambio permanente del punto de afloramiento.
- Otros daños que se reportan en estas unidades:
 - Azolve de la unidad, ingreso de sólidos y deterioro de la estructura hasta llegar al colapso.
 - Daños estructurales, fisuras, filtraciones y pérdida de agua a través de paredes y base.

Causas identificadas



Las vibraciones (Fig. 13) originadas por sismos, erupciones volcánicas y actividades humanas pueden alterar el flujo del agua subterránea, en especial, aquéllas no muy profundas.



Las lluvias intensas, producto de fenómenos como El Niño, huracanes y/o tormentas, pueden incrementar el caudal de agua y alterar la dirección del flujo del agua subterránea.

Las deficiencias en la ubicación de la unidad de captación —cuando ésta no aísla completamente el manantial, inexistencia de la cubierta de afloramiento o ésta no es impermeable y/o la unidad se encuentra cimentada superficialmente (Fig. 12.), el punto de afloramiento no se encuentra correctamente protegido— hacen que el flujo cambie de dirección o aflore en el terreno alrededor de la unidad.



Otros daños, como el azolve de la unidad, pueden ser consecuencia de deslizamientos producidos por lluvias intensas o lahares volcánicos.



Los daños estructurales, fisuras y filtraciones pueden suceder a causa de movimientos sísmicos, vibraciones y/o la inestabilidad del terreno. Por otro lado, la baja resistencia de los materiales de construcción o la inadecuada cimentación de la unidad contribuyen a aumentar su vulnerabilidad.

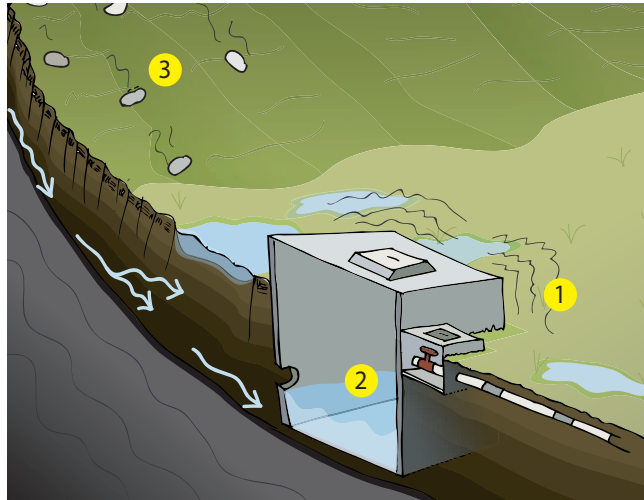


Figura 13
Captación de manantiales.
Daños y causas identificadas

1) Las vibraciones fuertes, como los sismos, pueden causar el desvío del afloramiento. 2) El caudal captado dentro de la unidad disminuye. 3) Se aprecian infiltraciones alrededor o cerca de la unidad, las que pueden debilitar el terreno.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad (Fig. 14)

- ✓ Para que la unidad de captación aisle completamente el punto de afloramiento, se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:
 - Limpiar la zona cercana al manantial e identificar el punto de afloramiento. Para descubrir el punto de afloramiento será necesario excavar a una mayor profundidad hasta remover la capa superficial de terreno.
 - Cubrir el manantial con el material filtrante (grava) para recolectar la totalidad del agua que éste produce.
 - Diseñar la estructura de captación para recolectar el caudal total. Si éste es superior a lo que necesita la población, se deben instalar tuberías de rebose suficientes para evacuar el exceso.
- ✓ Verificar que la unidad esté ubicada sobre terreno estable y con cimentación adecuada, para lo cual es necesario apisonar el terreno.
- ✓ En zonas de amenaza sísmica, usar materiales resistentes (por ejemplo, concreto armado) para la construcción de la cubierta impermeable, de modo que pueda soportar las vibraciones.
- ✓ Vigilar que la unidad de captación esté rodeada de vegetación que ayude a contener el terreno e incluso a evitar posibles filtraciones contaminantes (a una distancia prudente, ya que ciertas raíces pueden dañar las estructuras); por ejemplo, en los lugares que sea posible, se puede sembrar caña guadúa (bambú).

✓ Además, observar otras medidas complementarias:

- Construir zanjas de coronación para retener el escurrimiento superficial.
- Evitar la entrada del agua que escurre sobre la unidad con la tapa de ingreso a la cámara de recolección.

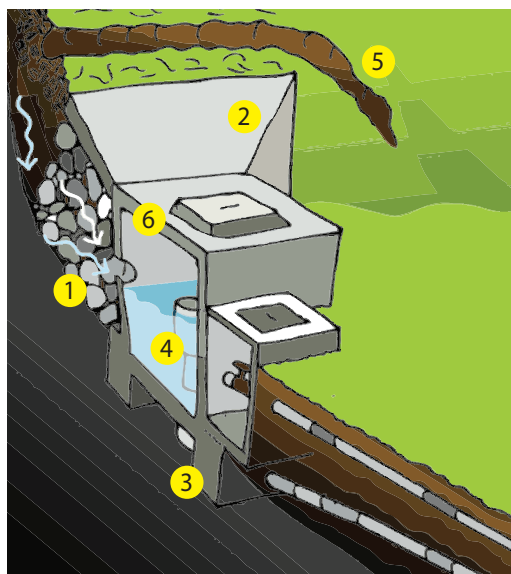


Figura 14
Captación de manantiales.
Propuestas para reducir la vulnerabilidad

1) Material filtrante (grava) que recubre el afloramiento. 2) Cubierta impermeable del afloramiento. 3) Cimentación adecuada a la resistencia del terreno. 4) Rebose para evacuar el exceso de agua. 5) Zanjas de coronación para retener la escurrimiento superficial. 6) Tapas de ingreso que evitan el ingreso de agua (tapa sanitaria).

Fuentes subterráneas. Impacto en captaciones mediante pozos

Otra forma de aprovechar el agua subterránea es mediante la construcción de pozos. Sean excavados manualmente (pozos someros) o perforados, éstos buscan aprovechar el agua del subsuelo que generalmente es de mejor calidad que las fuentes superficiales; sin embargo, cuando no se tiene un manejo adecuado (falta de cloración, contaminación del agua de pozo, etc.), esta ventaja queda sin efecto y consumir de dicha fuente se convierte en un riesgo. Cuando no se encuentran protegidos de manera adecuada, algunos fenómenos pueden deteriorar rápidamente la calidad del agua.

Descripción del impacto (Fig. 15)

- Contaminación del agua dentro del pozo y de todo el componente; posible propagación de enfermedades.
- Daño en la estructura por el desmoronamiento de las paredes que, en especial en los pozos someros, carecen de refuerzos estructurales.

- En algunos casos, los daños son de tal magnitud que no es viable la recuperación del pozo, lo que obliga a la construcción de una nueva unidad.

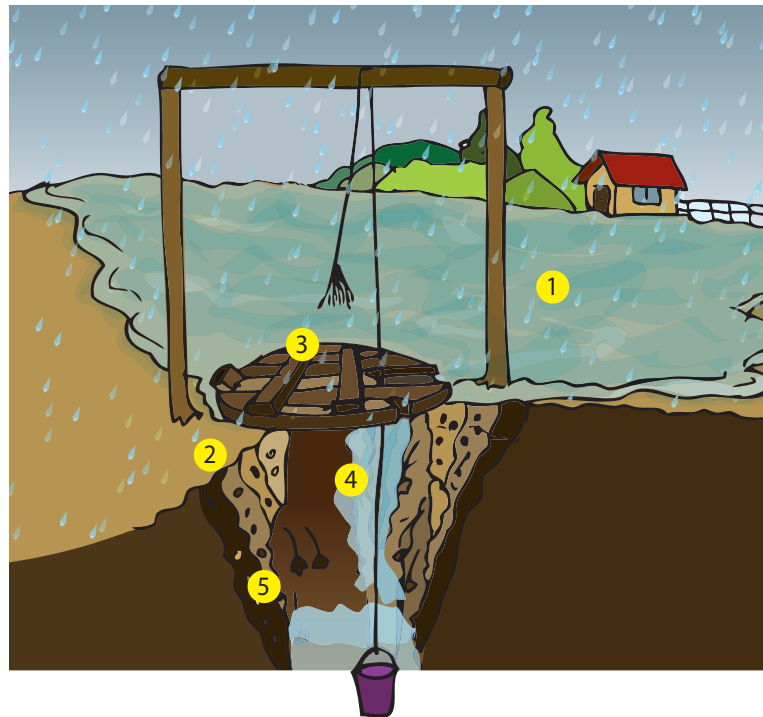


Figura 15
Pozos someros.
Daños por inundación

1) La escorrentía, producto de las lluvias, desbordes u otros, llega al pozo. 2) La boca del pozo, que se encuentra a nivel del suelo, permite el ingreso de agua contaminada. 3) La tapa del pozo es inadecuada y se encuentra en mal estado. 4) Ingreso de agua y lodo al pozo, que contamina el agua de la fuente. 5) Derrumbe de paredes del pozo que carecen de refuerzos.

Causas identificadas



Las inundaciones, producto de lluvias intensas, desbordes, huracanes y otros.



Los deslizamientos de lodo (*huaycos*, aludes) también pueden causar el ingreso de lodo en los pozos.



Cuando los fenómenos mencionados suceden, el nivel de la «boca del pozo» que se encuentra por debajo del nivel máximo de inundación (NMI), lo que permite el ingreso del agua.



En los pozos someros, el ingreso de agua y lodo contaminan el interior, debido a que éstos no se encuentran protegidos (carecen de tapa sanitaria, brocal y sello sanitario, y el agua se extrae con elementos artesanales).



A consecuencia de las inundaciones, el terreno alrededor del pozo se humedece, se satura de agua y pierde resistencia; provocando el derrumbe de las paredes y el colapso de la estructura.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ Elevar la boca del pozo por lo menos 30 centímetros sobre el nivel máximo de inundación (NMI). Este nivel debe determinarse a partir de datos históricos de la zona afectada (es recomendable adoptar el máximo nivel alcanzado por el agua, en un período de 50 años).⁷
- ✓ Para pozos someros proteger la entrada del pozo mediante una losa de concreto y, como mínimo, incorporar una tapa sanitaria, desde la cual se realice la extracción del agua.
- ✓ Para reducir la vulnerabilidad y evitar que las paredes del pozo se desplomen, construir anillos de concreto armado alrededor de la boca del pozo y hacia abajo utilizar algún tipo de mampostería o tubos de hormigón prefabricado.

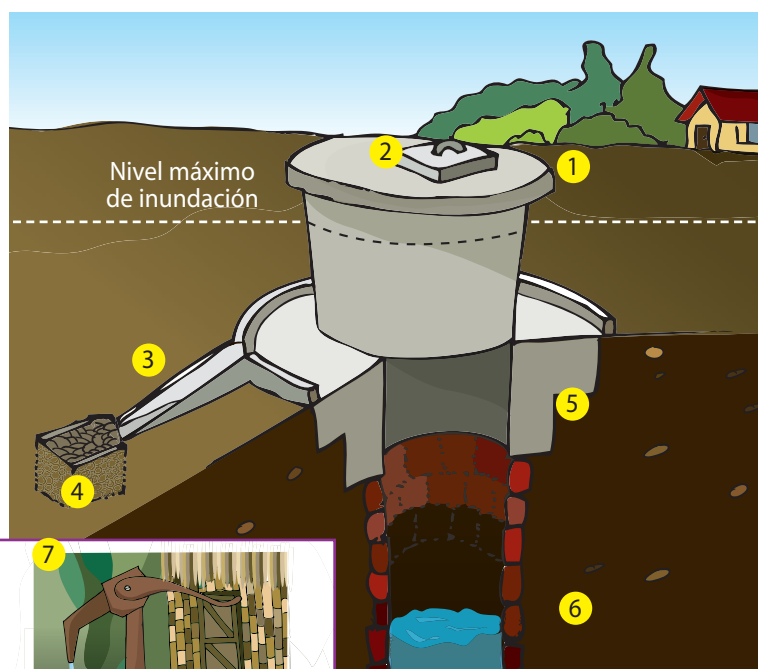


Figura 16
Propuesta para la reducción de la vulnerabilidad en pozos someros

- 1) Boca de pozo elevada con respecto al nivel máximo de inundación.
- 2) Tapa sanitaria para evitar el ingreso de agua contaminada en el pozo.
- 3) Drenaje para el agua que escurre alrededor del pozo.
- 4) Caja con grava para la infiltración del drenaje.
- 5) Anillos de concreto armado para reforzar la boca del pozo.
- 6) Protección de las paredes del pozo.
- 7) Bomba manual recomendada como mecanismo de extracción del agua del pozo.

⁷ En algunos casos y sobre todo en el medio rural, es difícil que esta información se encuentre documentada, por lo que muchas veces es necesario recopilar dicha información del conocimiento de los pobladores, instituciones y autoridades locales. Una de las metodologías para ello son los mapas comunitarios de riesgo. Para mayor información sobre la elaboración de mapas comunitarios de riesgo, se recomienda consultar: *Guía del capacitador: Aprendiendo a conservar el agua y proteger nuestra microcuenca*, SANBASUR-IMA, 2005. Disponible en: <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc16423/doc16423.htm>

- ✓ Para evitar la erosión alrededor de la unidad, instalar una losa alrededor del pozo, la misma que facilite el drenaje de la zona circundante.
- ✓ Instalar bombas manuales para la extracción del agua y distribución a la población. De este modo, además de proteger la estructura, se reducirá el riesgo de contaminación del agua en el interior del pozo.
- ✓ Tomar en cuenta otras recomendaciones:
 - Realizar la cloración del agua antes de que ésta sea consumida por la población, incluso en condiciones normales y, de manera especial, después de un desastre realizar una desinfección completa para recuperar la operatividad.
 - Vigilar y restringir la existencia de puntos de contaminación (letrinas, botaderos de basura, etc.) cerca de la ubicación del pozo. Las distancias recomendadas son: letrinas: 20 m, tanques sépticos: 30 m, botaderos y otras fuentes de contaminación: por lo menos 60 m.
 - Asegurar la vigilancia continua del agua al interior del pozo, para advertir la presencia de contaminantes bacteriológicos y el monitoreo de otros parámetros como la salinidad del agua.

Fuentes superficiales. Pozos y galerías de infiltración

Algunos sistemas que recolectan el agua de las fuentes superficiales como ríos y lagos, mediante pozos o galerías de infiltración, construidos cerca de las orillas del curso de agua, pueden ser amenazados por fenómenos que incrementan el cauce o causan la erosión de sus riberas.

Descripción de los daños (Fig. 17)

- Erosión de taludes a las orillas del cauce de los ríos, lo que produce el desprendimiento del terreno alrededor de las estructuras y daños en la unidad.
- La verticalidad de los muros en los pozos y/o cámaras de reunión de galerías filtrantes son afectados por la erosión y asentamiento del terreno, produciendo fracturas y grietas en la estructura.
- Deterioro de la calidad del agua en el pozo por el ingreso de lodo en las unidades. Para recuperar el uso de la fuente es necesario efectuar trabajos de limpieza al interior del pozo; en algunos casos, el impacto obliga a abandonar la fuente debido a la contaminación producida.

- Restricción del servicio hasta que los trabajos de rehabilitación sean realizados, en el caso en que ésta fuera la única fuente disponible.

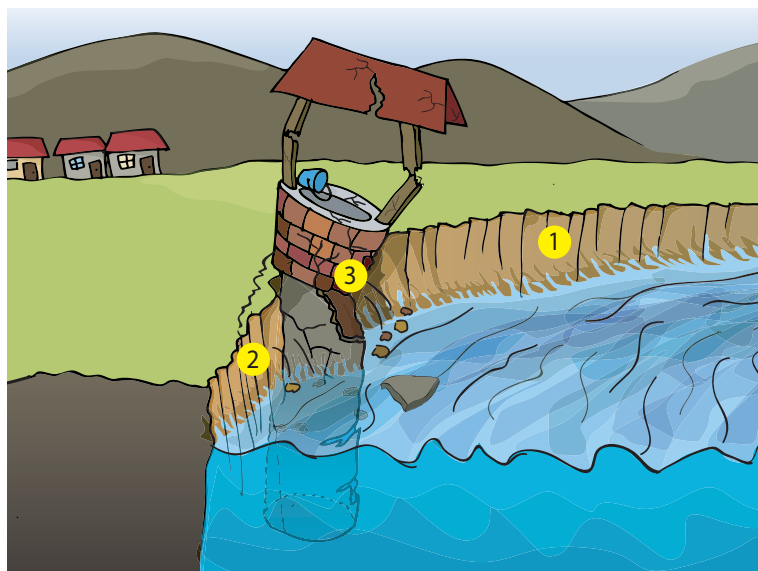


Figura 17
Daños por erosión de pozos en las riberas de los ríos

1) Erosión de los taludes en las orillas del río. 2) Daños estructurales en el pozo debido al asentamiento y desprendimiento del terreno. 3) Ingreso de agua de calidad no adecuada del interior del pozo.

Causas identificadas



El incremento del caudal y la velocidad del agua, así como los escombros y sedimentos en los ríos y quebradas, a consecuencia de lluvias intensas y deslizamientos, que pueden ser producto de tormentas y/o huracanes u otros fenómenos como El Niño.



El incremento del caudal y el arrastre de sedimentos y de escombros que agudizan la erosión de los taludes. Este problema es mayor cuando dichos taludes no cuentan con ningún recubrimiento (deforestación) o en zonas donde periódicamente se desbordan los ríos.



La cercanía de la estructura construida al borde del río, para aumentar el caudal recolectado, incrementa la vulnerabilidad del componente, debido a la erosión constante de las orillas de los ríos.

Las márgenes externas en las curvas de los ríos o meandros son zonas donde predomina la erosión (Fig. 18). Algunos ríos en las zonas de selva presentan este comportamiento como una constante, pudiendo cambiar parte de su cauce como consecuencia de la erosión y sedimentación en sus orillas.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ Manejar las condiciones de riesgo al nivel de la microcuenca para reducir los problemas de deslizamiento, erosión en las riberas de los ríos, etc. De manera específica, para la reducción de la erosión se pueden instalar medidas de recubrimiento de taludes o usar técnicas de estabilización como las siguientes:
 - Muros de gaviones como protección de taludes o disipadores de energía a lo largo del río.
 - Trinchos u otras medidas para la reducción de la erosión en cárcavas.
 - Restablecimiento de la cobertura vegetal en las orillas de los ríos.

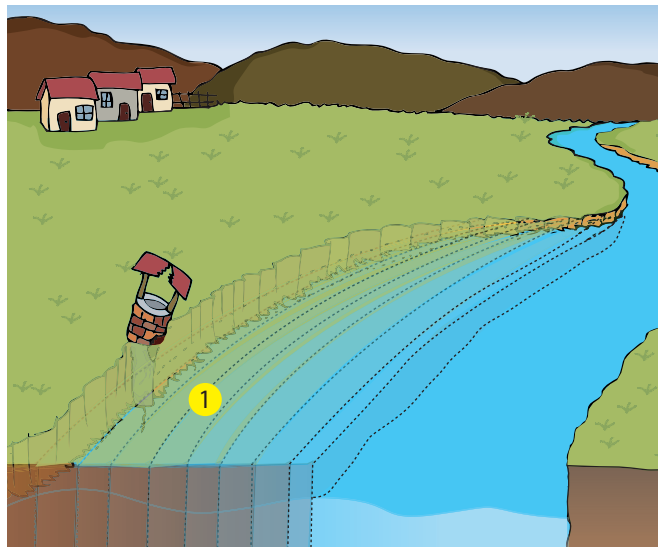


Figura 18
Problemas de ubicación
en la orilla de los ríos

Erosión gradual de los taludes del río que reduce la distancia entre el pozo y las riberas. 1) La orilla externa en las curvas de los ríos se ve mayormente erosionada.

- ✓ Para proteger la calidad del agua, elevar la boca del pozo por encima del nivel del terreno, como mínimo 30 centímetros sobre el nivel máximo de inundación, para evitar el ingreso del agua al pozo.
- ✓ Efectuar trabajos permanentes de limpieza del río y reforzamiento de riberas, especialmente antes y después de las épocas de crecientes en que suelen presentarse lluvias, avalanchas y crecidas de los ríos.
- ✓ Cuando sea necesario construir una nueva unidad o reconstruir una afectada, tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:
 - Recopilar información local sobre las variaciones del cauce en los últimos años; se puede usar información local a través de mapas comunitarios de riesgo.⁸

⁸ Para mayor información sobre la elaboración de mapas comunitarios de riesgo se recomienda consultar: *Guía del capacitador: Aprendiendo a conservar el agua y proteger nuestra microcuenca*, SANBASUR-IMA, 2005. Disponible en: <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc16423/doc16423.htm>

- Construir la unidad en los tramos rectos del cauce y alejada del borde del río (la distancia mínima estará limitada por la disponibilidad de espacio existente).⁹

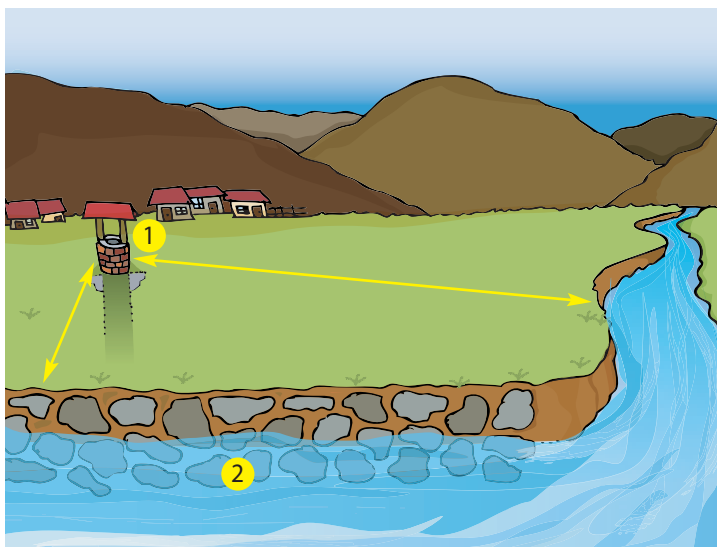


Figura 19
Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

1) Pozo retirado de la margen del río. 2) Protección de los taludes contra la erosión.

Fuentes superficiales. Protección de captaciones superficiales (obras de toma)

La recolección de agua de fuentes superficiales, como ríos o canales, consiste en represar el agua mediante una barrera transversal al cauce (presa o barraje), desde donde se deriva una tubería (o canal) que conduce el caudal a la población. Generalmente los daños reportados en este tipo de captación llevan consigo la afectación del tramo inicial de la línea de conducción.

Descripción de los daños

- Azolve de la presa por la acumulación de lodos, lo que reduce su capacidad y obstruye los primeros tramos de la línea de conducción.
- Fisuras y filtraciones en la estructura de la presa por el impacto directo de rocas y escombros, que debilitan su resistencia y pueden hacerla colapsar.
- Deslizamientos e inundaciones de mayor magnitud aguas abajo, si se destruye la presa, lo que puede afectar áreas más grandes dentro de la microcuenca.

⁹ Para conseguir agua de buena calidad se recomienda una distancia promedio de 15 m, sin embargo, depende de la topografía, el espacio disponible y el tipo de terreno existente.

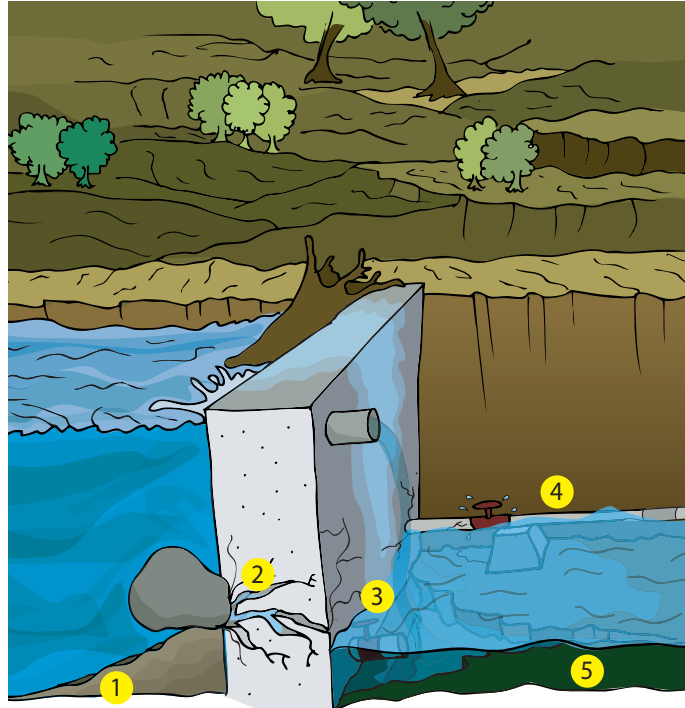


Figura 20
Daños en captación
de agua superficial

Adaptado de: *Prevención de desastres en acueductos rurales*. FICR, sin publicar.

1) Almacenamiento de lodos al interior de la presa. 2) Impacto directo con rocas y escombros. 3) Válvula para evacuar lodos con capacidad insuficiente. 4) Tramo inicial de la tubería de conducción. 5) Cárcavas en la base de la presa por la erosión del agua sobre el cauce.

Causas identificadas

- Los deslizamientos, avalanchas, *huaycos* y/o taludes que arrastran rocas y otros escombros hacia los ríos y cursos de agua e incrementan la cantidad de sólidos.
- Un diseño estructural inadecuado o con refuerzos insuficientes hacen que la presa sea poco resistente a las presiones y fuerzas que se generan por el impacto de rocas y escombros.
- Si los vertederos de rebose no son adecuados para el caudal excedente en épocas de máxima creciente, la presa puede resultar afectada.
- Un sistema de evacuación de lodos insuficiente que no permite un correcto desfogue de los mismos y reduce la capacidad de almacenamiento de la presa.
- La erosión del cauce (cuando esta zona no está correctamente protegida) puede llegar a comprometer la estabilidad de la presa debido al asentamiento.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ Reducir la velocidad de las rocas y escombros y la fuerza del impacto sobre la estructura de la presa, con la instalación de disipadores de energía a lo largo del cauce como espigones de gaviones.
- ✓ Para evitar que la vulnerabilidad se extienda a la línea de conducción, controlar que la unidad de captación derive el agua necesaria a través de un canal lateral que evite el ingreso de sólidos (provisto de una ventana o rejilla) y cuyos extremos estén protegidos contra la erosión (muros de concreto).
- ✓ Para prevenir la erosión en la base, recubrir el cauce con emboquillado de piedra, antes y después de la presa.¹⁰
- ✓ Observar que la coronación de la presa cuente con un vertedero con capacidad suficiente para evacuar el exceso de agua en épocas de crecida.
- ✓ Vigilar que la presa cuente con un sistema de evacuación constante de lodos (tuberías instaladas en el fondo de la presa o compuertas). Además, instalar una compuerta para las labores de limpieza y mantenimiento periódico, así como también luego de la ocurrencia de un fenómeno.

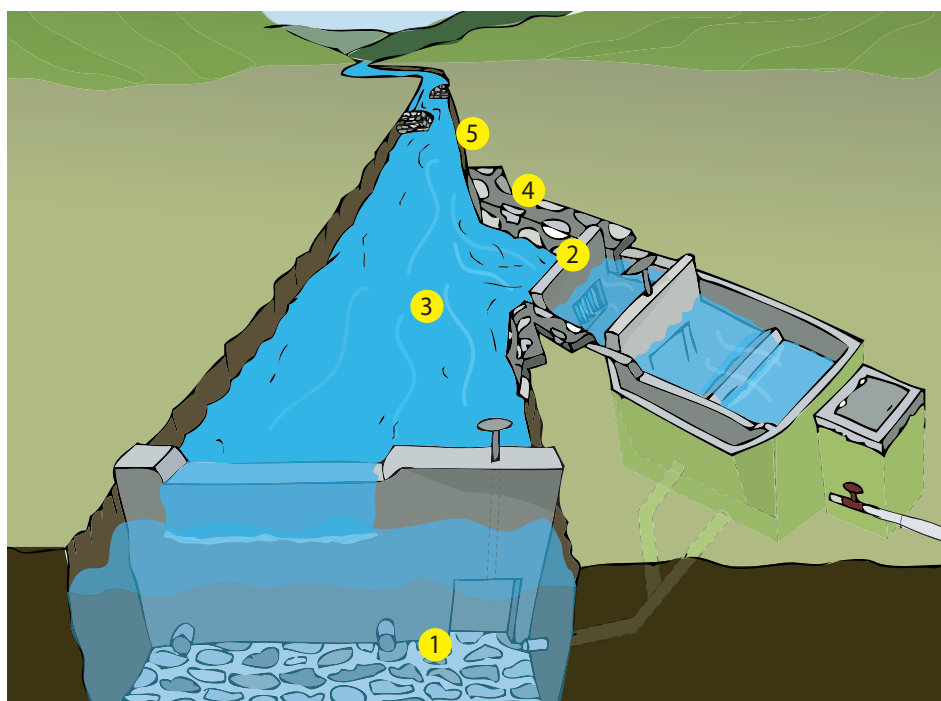


Figura 21
Propuesta para la
reducción de la vulnerabilidad en captaciones
superficiales

1) Compuerta para la evacuación de lodos. 2) Ventana de captación de agua hacia el sistema. 3) La obra de toma se ubica en un tramo recto del río. 4) Protección de taludes contra la erosión. 5) Los disipadores de energía también retienen escombros y evitan el impacto directo con la presa.

10 Se recomienda que el cauce sea recubierto en una longitud de 2 a 3 metros, antes y después de la ubicación de la presa.

- ✓ Vigilar que la unidad sea capaz de evacuar el exceso de agua y retornarla al río, a través del rebose.
- ✓ Realizar periódicamente el mantenimiento y la limpieza de la presa, en especial antes y después de la temporada de lluvias.

• Impacto en líneas de conducción, impulsión y/o aducción

La mayoría de sistemas incluye una gran extensión de tuberías, que forman parte de las líneas de conducción, bombeo, aducción y redes de distribución. Estas tuberías están expuestas a amenazas que derivan de la topografía, existencia de depresiones, terrenos deleznable, entre otros. Ante un desastre natural, estos componentes son, por lo general, los más afectados.

Daño en cruces elevados sobre quebradas y/o ríos

Cuando la topografía del terreno obliga a cruzar la tubería a través de ríos, quebradas secas u otra depresión en el terreno, una de las opciones es la instalación de un paso elevado.

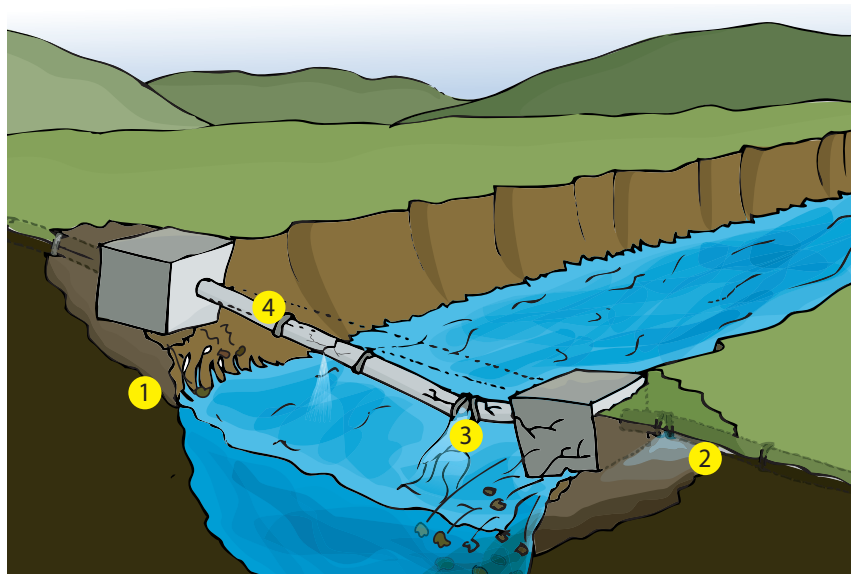


Figura 22
Daños en paso elevado sobre quebrada

Adaptado de: *Aprendiendo a conservar el agua y proteger nuestra microcuenca*, SANBASUR-IMA, 2005.

1) Erosión de taludes y socavación de los apoyos. 2) Humedecimiento alrededor de los apoyos debido a las fugas. 3) Desacople y pérdida de agua. 4) Tubería de PVC de baja resistencia al impacto.

Descripción de los daños

- Principalmente rotura de la tubería en el tramo expuesto, desacople de uniones y pérdida de agua; de manera especial en las uniones y los extremos del tramo expuesto.
- Interrupción del servicio por las fugas y la pérdida de agua.
- Erosión de los taludes por el agua que escapa por las fisuras y roturas, lo que puede producir el desplazamiento de los apoyos y agravar los daños.
- Asentamiento de los bloques de apoyo o anclajes y rotura de las tuberías por flexión.

Causas identificadas

- Las lluvias intensas, que pueden ser estacionales o por efecto de huracanes, fenómeno de El Niño, etc., aumentan el caudal de los ríos y producen el arrastre de lodos y escombros que socavan la base de los apoyos del paso aéreo. También puede ocurrir en cruces de quebradas secas debido a deslizamientos.
- El uso del PVC en pasos elevados no es recomendable. Este material se deteriora en la intemperie y puede aumentar la vulnerabilidad del sistema.
- Los escombros, como árboles y otros objetos flotantes, pueden impactar la tubería y romperla, cuando ésta no se encuentra a una altura suficiente.
- Los soportes de la tubería, que se encuentran ubicados muy cerca del borde de los taludes, pueden deslizarse junto con el terreno. En algunos casos, el peso de los bloques o anclajes es suficiente para generar el deslizamiento, especialmente en terrenos con poca resistencia.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ Elevar la tubería sobre el nivel máximo del río, con una altura suficiente para evitar ser golpeada por los escombros que podría arrastrar. Para determinar este nivel se necesita coordinar con la población local, en especial cuando se carece de registros.
- ✓ Vigilar que la tubería sea de material resistente a la intemperie como hierro galvanizado, polietileno u otro similar. En esas condiciones el PVC no es recomendable pues, al estar expuesto a la luz del sol, reduce su resistencia.
- ✓ Ubicar los soportes alejados del borde de los ríos o las quebradas que cruzan. Esta distancia depende de la disponibilidad de espacio en cada caso particular y de la cohesión y resistencia del terreno.

- ✓ Observar que la longitud de la tubería que se encuentra colgada esté suspendida con cables lo suficientemente resistentes para soportar el peso. Si las longitudes son mayores, se deben utilizar estructuras especiales con cables y péndolas sujetos a bloques de anclaje.
- ✓ Proteger a los taludes de la erosión producida por el incremento del caudal y la socavación de la base de los apoyos de los tramos aéreos; para ello se pueden usar:
 - Muros de gaviones como protección de taludes o disipadores de energía a lo largo del río.
 - Trinchos u otras medidas para la reducción de la erosión en cárcavas.
 - Restablecimiento de la cobertura vegetal en las orillas de los ríos.

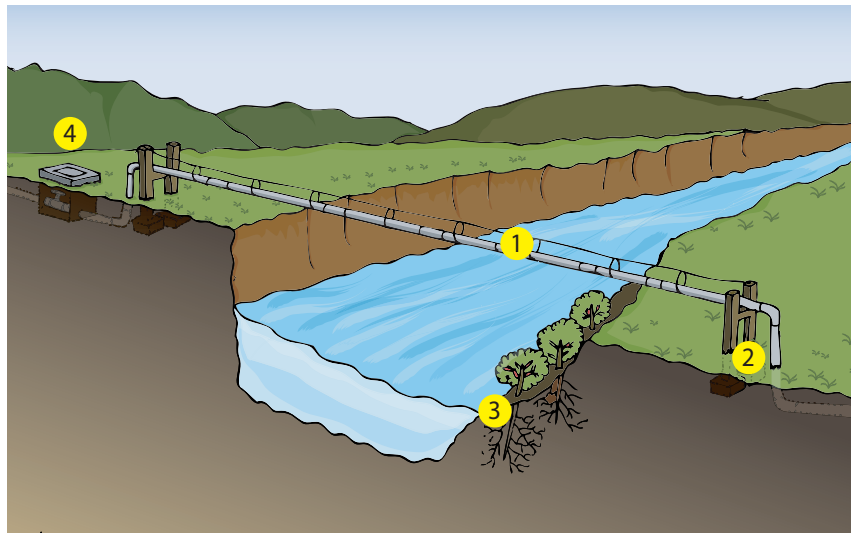


Figura 23
Propuesta para la reducción
de la vulnerabilidad en cruce
aéreo de quebrada

1) Nivel de la tubería, suspendida por cables, sobre el nivel máximo del río (incluidos escombros).
2) Estructuras de apoyo retiradas del borde del río. 3) Estabilización de taludes restableciendo cobertura vegetal. 4) Válvula de corte para facilitar el mantenimiento.

- ✓ Acoplar la tubería para reducir los costos de instalación, en caso de que existan otros cruces de quebrada (por ejemplo, puentes peatonales o vehiculares).
- ✓ Para facilitar el mantenimiento incluir una válvula de corte antes del paso elevado. El manejo de este tipo de válvulas se debe realizar con mucha precaución, debido a que un cierre brusco de la válvula puede producir la explosión de la tubería.

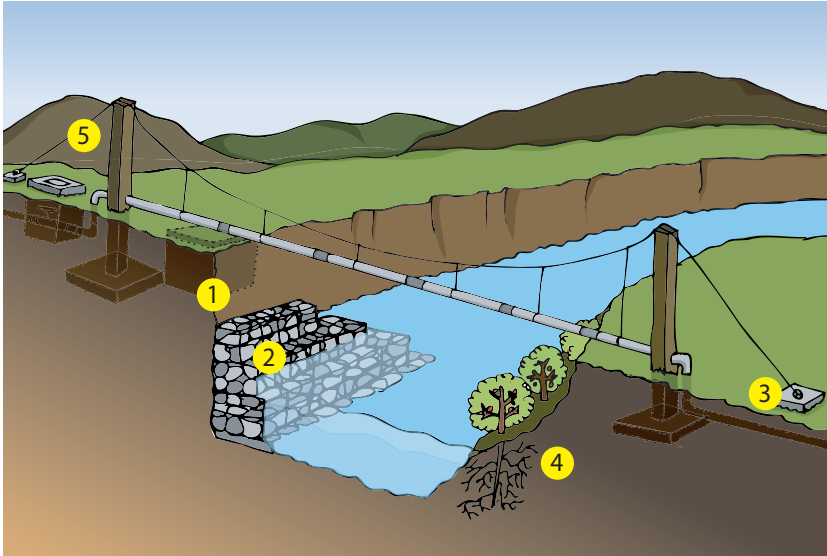


Figura 24
Reducción de la vulnerabilidad en cruce aéreo de quebrada. Propuestas adicionales

1) Ubicación vulnerable de los bloques anteriores. 2) Muros de gaviones para prevenir la erosión del talud. 3) Bloque de anclaje para los cables de sujeción. 4) Estabilización de taludes restableciendo cobertura vegetal. 5) Válvula de corte para facilitar el mantenimiento.

Daño en tuberías enterradas en quebradas y/o cárcavas

Cuando se requiere que la tubería cruce hondonadas y quebradas, es posible instalarla en el fondo del cauce, sobre todo cuando no es profundo y de poca longitud (cárcavas). También es adecuado cuando los cauces u hondonadas son muy extensos y el uso de pasos elevados no es recomendable o factible. Al estar por debajo del terreno, la vulnerabilidad del componente aumenta cuando la erosión producida por la escorrentía llega a descubrir la tubería.

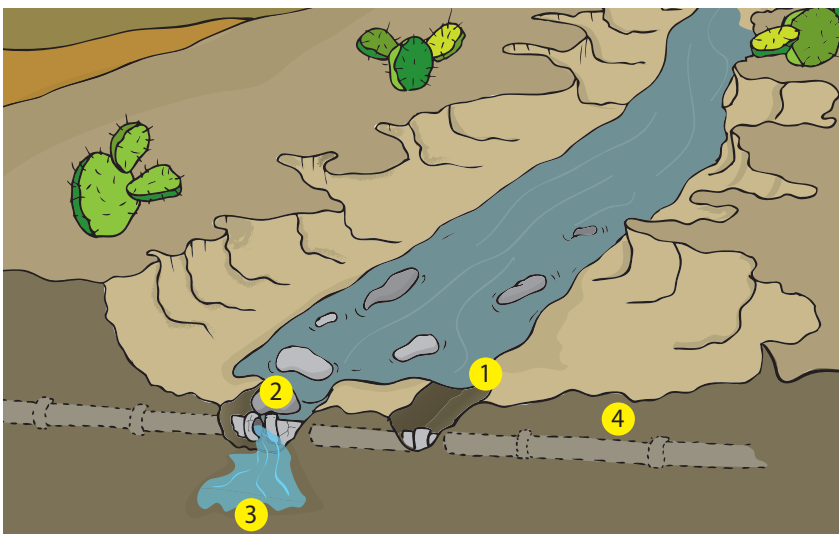


Figura 25
Daños en tuberías enterradas en el cauce de quebradas o cárcavas

1) Cárcava erosionada por la escorrentía del agua sobre la base del cauce. 2) Impacto directo de las rocas sobre la tubería. 3) Desacople y fuga de agua. 4) Poca profundidad de instalación.

Descripción de los daños

- Roturas de la tubería, desacople en las uniones y fugas del agua, que agravan el problema de erosión y la formación de cárcavas.
- Humedecimiento del terreno debido a las fugas de agua, que puede causar problemas de estabilidad del terreno.
- Ingreso de agua y lodo en la línea de conducción, que contamina y obstruye tramos posteriores de tubería.
- Suspensión del servicio debido a los daños en los componentes (líneas de conducción, aducción, bombeo).

Causas identificadas



El deslizamiento de agua y lodo producto de lluvias intensas, que pueden ser estacionales y recurrentes o por efecto de otros fenómenos como El Niño, tormentas, etc.



El escurrimiento puede generar nuevos cauces (cárcavas) o erosionar la base de las cárcavas o cauces existentes y dejar al descubierto la tubería enterrada, especialmente cuando no se tienen accesorios para el corte del flujo del agua en casos de emergencia.

La poca profundidad de la tubería enterrada facilita que la escorrentía de agua en la quebrada la deje al descubierto.

La poca resistencia del PVC (mayoritariamente usado en la instalación de tuberías en los sistemas de agua) ante el impacto de las rocas produce fracturas, desacoples, así como el arrastre de la tubería por el agua y lodo especialmente cuando existen uniones artesanales o deficientes en la tubería.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad¹¹

- ✓ Profundizar el enterramiento de la tubería de acuerdo a normas y tipo de suelo para evitar que la erosión alcance el nivel de la tubería.
- ✓ Reponer el terreno en la zanja para que se compacte correctamente y reducir el proceso de erosión.
- ✓ Proteger la tubería enterrada:
 - Recubrirla con una viga de concreto armado por debajo de la quebrada en todo su recorrido (Fig. 27).
 - Recubrir el fondo del cauce mediante emboquillado en piedra. Éste debe ser instalado 1 metro antes y 1 m después del trazo de la tubería (Fig. 26).

¹¹ Las medidas que se presentan buscan obtener una solución integral del problema, no necesariamente indican recomendaciones estrictas a seguir; se pueden utilizar las primeras como medidas de rápido impacto y complementarse con las otras en un plazo mayor.

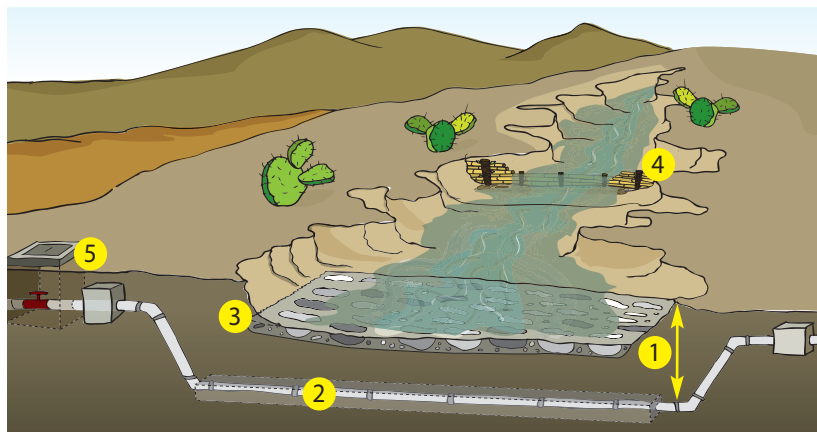


Figura 26
Reducción de la vulnerabilidad para tramos enterrados en cruce de quebradas

- 1) Tubería instalada a mayor profundidad bajo el cauce.
- 2) Protección de viga de concreto armado.
- 3) Recubrimiento del cauce con emboquillado de piedra.
- 4) Trinchos para el control de la erosión.
- 5) Válvula de corte para facilitar el mantenimiento en casos de emergencia.

- ✓ Tomar algunas medidas adicionales para reducir el problema de erosión en la quebrada.
 - Instalar trinchos de madera, muros de piedra u otros para reducir la velocidad del agua y el arrastre de rocas y sedimentos.
 - Reducir los problemas de erosión de suelos dentro de la cuenca (con medidas de reforestación y protección de taludes), controlando la formación de cárcavas producidas por la erosión.
- ✓ Limpiar el cauce es importante para reducir la vulnerabilidad del sistema, especialmente antes y después de la temporada de lluvias y tormentas.
- ✓ Para facilitar el mantenimiento incluir una válvula de corte antes del paso subfluvial. Los codos deben tener un ángulo de 135 grados, para evitar obstrucciones por sedimentos en la parte más baja del tubo, donde el mantenimiento es imposible realizar.

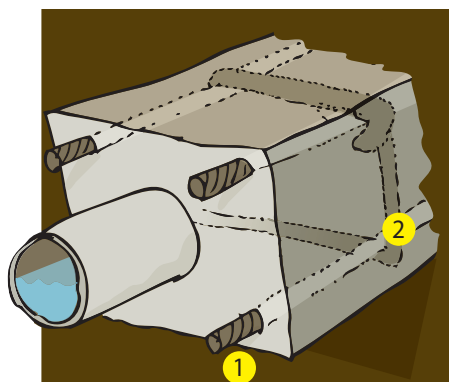


Figura 27
Detalle de protección de la tubería con viga de concreto

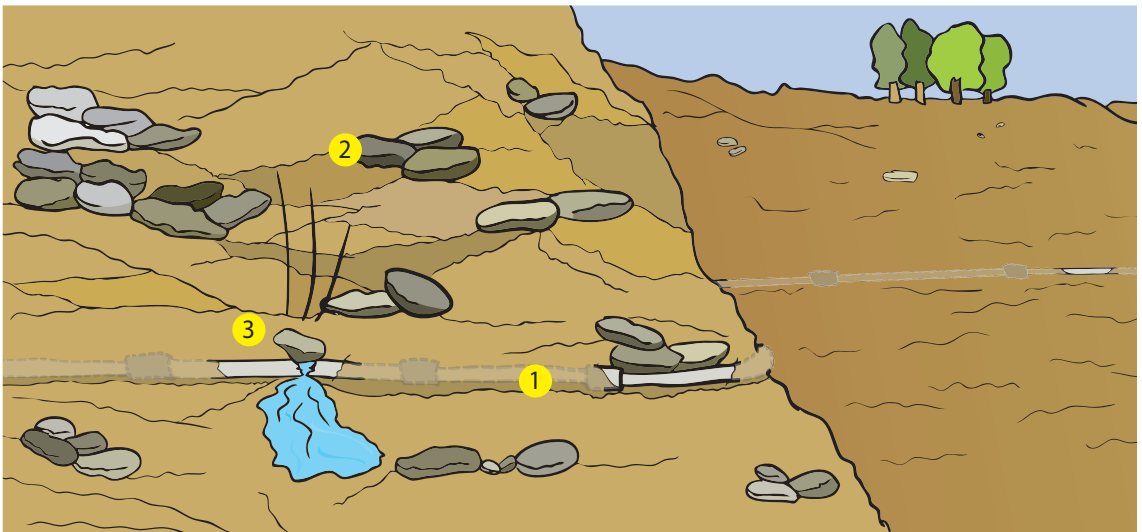
- 1) Varillas de refuerzo para el recubrimiento de concreto.
- 2) Estribos de refuerzo.

Daños en tuberías por el impacto de rocas

Sobre todo en terrenos con pendientes pronunciadas, la existencia de rocas sueltas es una amenaza recurrente sobre las líneas de conducción, aducción o bombeo. Los daños, producto del impacto de dichas rocas, pueden interrumpir el servicio de manera frecuente y causar molestias en los usuarios.

Figura 28

Daños en tuberías por aplastamiento debido a la caída de rocas



1) Poca profundidad de instalación (recubrimiento superficial o exposición de las tuberías de PVC). **2)** Presencia de rocas sueltas sobre la instalación de la tubería y riesgo de desprendimiento de las mismas. **3)** Impacto sobre el cuerpo de la tubería. Roturas y fugas.

Descripción de los daños

- Roturas, desacople de tuberías y fugas de agua por el impacto de rocas y materiales deslizantes.
- Humedecimiento del terreno, asentamientos y deslizamientos, debido a las fugas producidas por las roturas de la tubería.
- Ingreso de lodo y sedimentos al interior de las líneas de conducción, aducción o bombeo, que pueden contaminar el agua y obstruir los tramos posteriores.
- Restricción o interrupción del servicio debido a las roturas y fugas.
- Deterioro de la calidad de vida y riesgos para la salud, asociados con la reducción de la cobertura y el racionamiento.

Causas identificadas



Las tuberías de las líneas de conducción, aducción o bombeo se encuentran instaladas a poca profundidad o expuestas sobre la superficie del terreno, en algunos casos debido a las características del suelo rocoso que no permite la excavación de zanjas de profundidad adecuada para la protección de la tubería.

El PVC (de uso generalizado para la instalación de tuberías) es un material frágil frente al impacto. Cuando se expone al sol (como en las tuberías instaladas superficialmente) se vuelve mucho más frágil y aumenta la vulnerabilidad del componente.



La presencia de rocas sueltas en las laderas, sobre la ubicación de la tubería, aumenta la vulnerabilidad de los tramos que se encuentran expuestos.



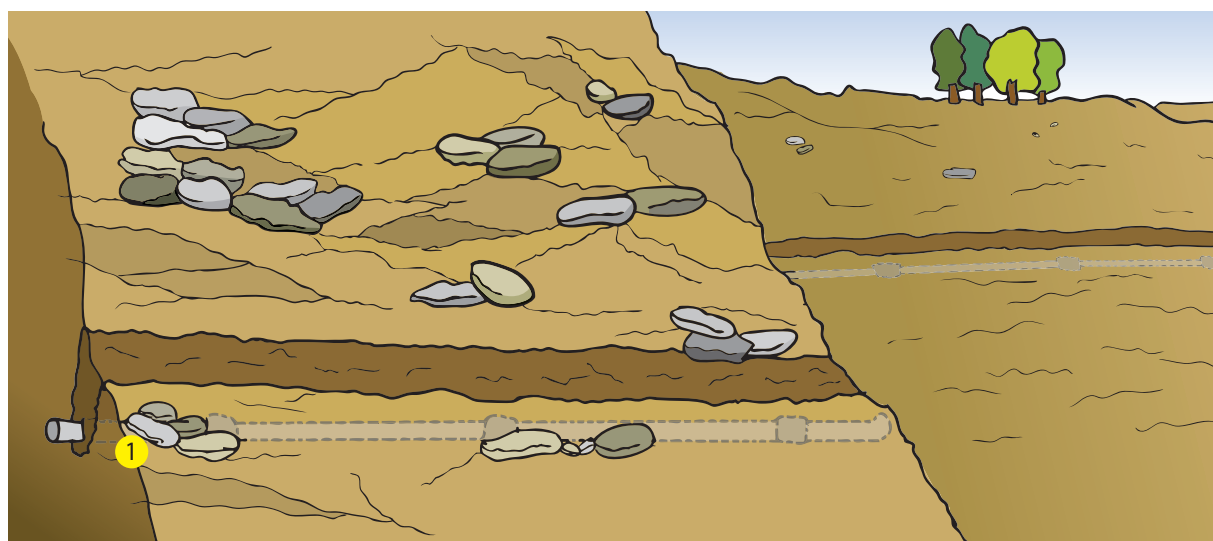
Los fenómenos naturales, como sismos o deslizamientos, hacen que las rocas se desprendan y golpeen las tuberías, aunque también muchas veces esas caídas pueden ser espontáneas debido a pequeñas vibraciones.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ Instalar la tubería, cuando es de PVC, por lo menos a 60 cm de profundidad, teniendo que incrementarse hasta 1,00 a 1,20 m, en función de las amenazas presentes en la localidad (Fig. 29).

Figura 29

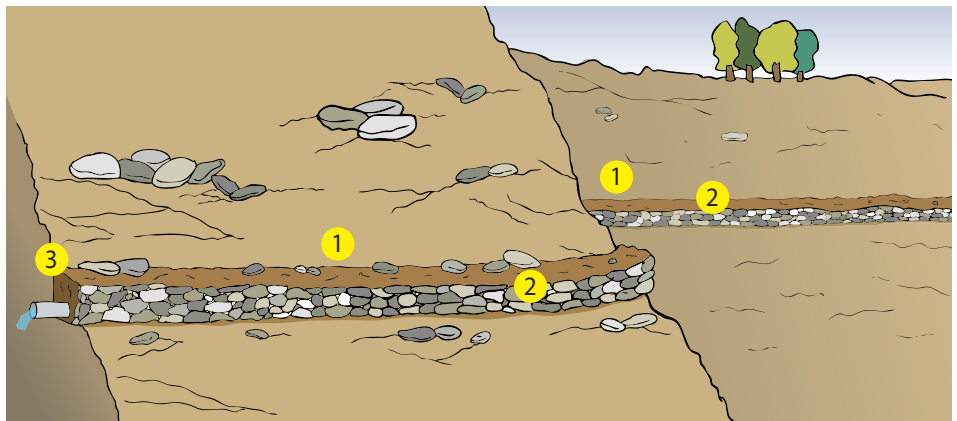
Instalación de tubería a mayor profundidad



- 1) Profundidad de instalación de tuberías de PVC para proteger de la caída de rocas.
- 2) El material de relleno de las zanjas debe ser compactado adecuadamente.

- √ Cuando no es posible profundizar la tubería (por terreno rocoso u otro impedimento) recubrirla por encima del nivel del suelo. Se requiere:
 - Modificar la geometría de la ladera, generando una plataforma plana o terraza.
 - Construir muros de piedra para sostener la tubería y el material de relleno.
 - Instalar la tubería y el material de cobertura dentro de la plataforma formada, procurando que se cumpla con el enterramiento mínimo (Fig. 30).

Figura 30
Instalación de tubería protegida



1) Terraza construida para la instalación de tubería. **2)** Muro de piedras como soporte del material de relleno. **3)** Material de relleno para la protección de tubería.

- √ Cuando no sea factible aplicar las recomendaciones anteriores, utilizar tuberías flexibles (polietileno) o aquellas resistentes al impacto (hierro dúctil, hierro fundido u otro), debidamente ancladas o sujetas al terreno; sin embargo, la resistencia de estos materiales tiene sus limitaciones cuando las amenazas son mayores.
- √ Remover las rocas sueltas en las zonas cercanas de la ubicación de las tuberías.
- √ Finalmente, si no es posible proteger la tubería, reducir el riesgo de caída de rocas, o cuando éste es muy alto, evaluar la posibilidad de modificar el trazado de la tubería por una zona de menor riesgo.

Tuberías instaladas en terrenos deleznable

Otras amenazas que pueden presentarse son los terrenos delezna- bles en el recorrido de las líneas de conducción; es decir, aquellos terrenos que no tienen resistencia adecuada y están propensos a deslizamientos. Cuando se encuentra instalada la tubería en estas condiciones, es vulnerable a deslizarse junto con la masa de suelo.

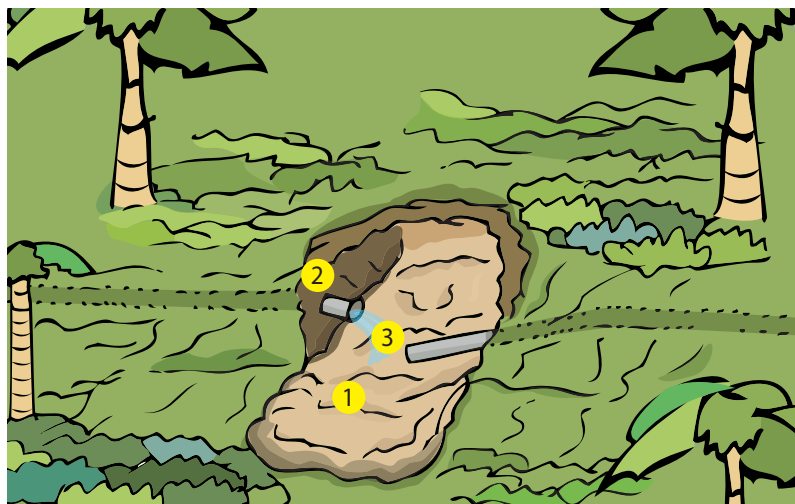


Figura 31
Daños en tubería instalada en terrenos deleznales

1) Deslizamiento de terreno deleznable o poco resistente. 2) Desacople, rotura de tuberías y fuga de agua. 3) Desplazamiento de tubería, desacople de uniones y suspensión del servicio.

Descripción de los daños

- Asentamiento y desplazamiento de la tubería por deslizamiento del terreno, lo que produce roturas y fugas debido a la flexión.
- Restricción o interrupción del servicio, debido a las roturas y fugas.
- Posibilidad de ingreso de lodo en la tubería y la obstrucción en tramos posteriores.

Causas identificadas

La baja resistencia del terreno en algunos tramos de las líneas de conducción, aducción o bombeo.



Los fenómenos como lluvias intensas que aumentan la humedad del suelo reducen su resistencia y desencadenan deslizamientos.



Otros fenómenos, como terremotos, también pueden ser desencadenantes de estos movimientos.

El humedecimiento excesivo del terreno debido al mal manejo por parte de actividades humanas (riego excesivo, mal drenaje de otras unidades, etc.).

La deforestación del terreno y un mal manejo de las microcuencas.

En el planteamiento del proyecto, el trazado incorrecto de la tubería por zonas con presencia de terrenos deleznales.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad¹²

- ✓ Construir un sistema de anclaje para sostener la tubería, apoyándola sobre pilotes cimentados en terreno firme. Para ello se necesita profundizar dichos pilotes por debajo de la capa de terreno deleznable.
- ✓ Construir un paso elevado que atraviese la zona vulnerable y que esté cimentado en terreno firme. Dicho paso debe tener una altura suficiente para evitar los daños producidos por el impacto de los escombros arrastrados.

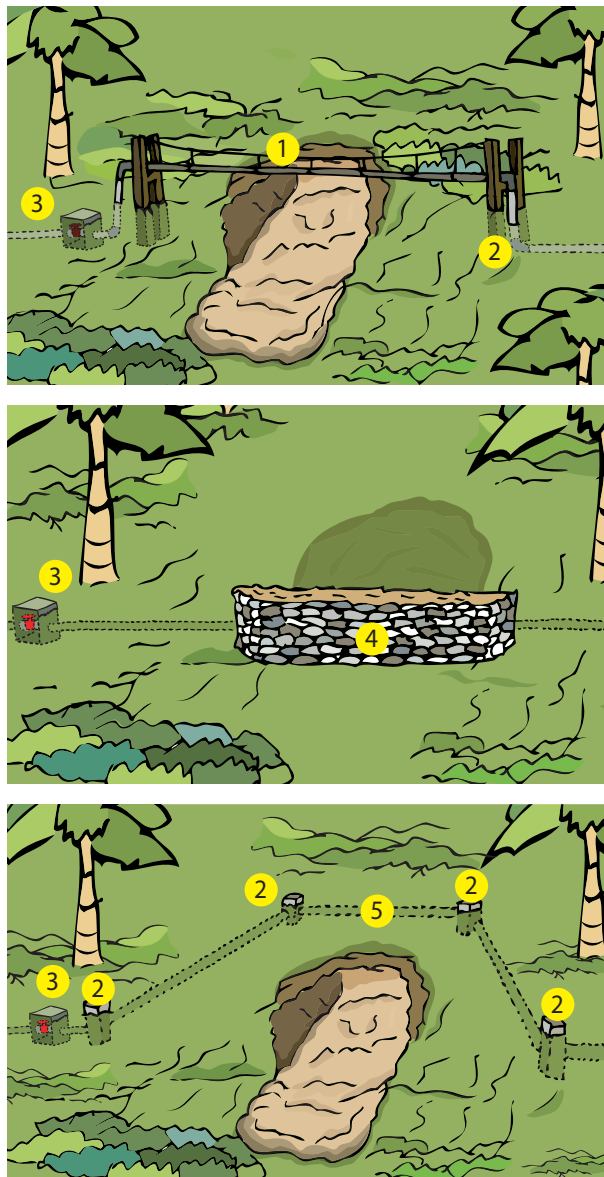


Figura 32
Propuestas para la reducción
de la vulnerabilidad

1) Tubería elevada sobre el terreno deleznable. 2) Apoyos cimentados en terreno estable (no deleznable). 3) Válvula de corte para operación en condiciones de emergencia. 4) Estructuras de retención (muros de gaviones). 5) Cambio en el trazado de tubería alrededor de terreno deleznable.

12 Las que se muestran son medidas alternativas y no necesariamente constituyen una serie de pasos a seguir. Dependiendo de los recursos con los que se cuente y las condiciones en cada caso, podrían aplicarse más de una de las recomendaciones planteadas.

- ✓ Para la construcción del paso elevado tomar en cuenta las medidas mencionadas anteriormente (*Daños en cruces elevados sobre quebradas y/o ríos*, pág. 43 y 44), de manera que la vulnerabilidad no se incremente.
- ✓ Construir estructuras de retención (muros de gaviones, de concreto, trinchos) que permitan contener el suelo poco resistente o con tendencia a deslizarse.
- ✓ Observar que estas estructuras de retención incluyan sistemas de drenaje para evacuar el agua contenida en el terreno y mejorar su estabilidad.
- ✓ Si ninguno de los métodos anteriores es posible, son muy costosos, o cuando se planea reconstruir el componente afectado, evaluar la posibilidad de modificar el trazado de la tubería por una zona de menor riesgo.
- ✓ Verificar que el cambio de trazo incluya las medidas de anclaje o enterramiento de la tubería en terreno no deleznable.
- ✓ Procurar que ambos lados de la línea de conducción se encuentren reforestados a lo largo de su recorrido, pues este problema puede ocurrir en zonas aún no identificadas.

Daño en tuberías empotradas

Al ingreso y salida de los componentes del sistema (captación, reservorio, plantas de tratamiento, etc.) es necesario que las tuberías crucen los muros de las cajas de válvulas de estos componentes (en algunos casos estas juntas requieren ser impermeables). En estos puntos de cruce, que son especialmente vulnerables, pueden ocurrir daños debido a la vibración o desplazamiento de los accesorios.

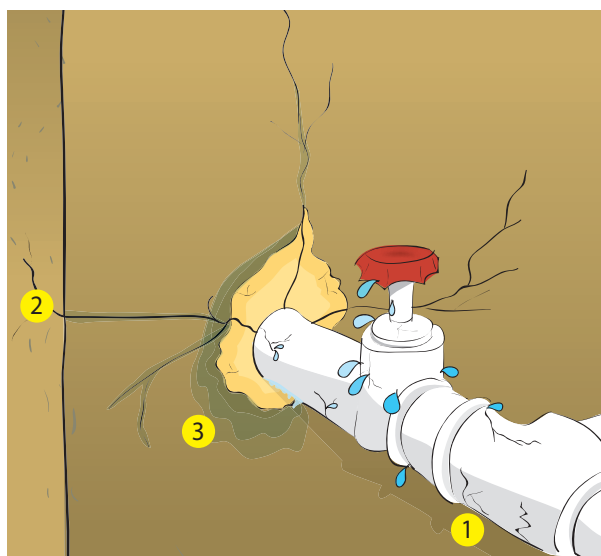


Figura 33
Daños en tuberías empotradas

1) Daños en los accesorios de la tubería debido a la vibración o asentamiento del terreno. 2) Daños en la estructura de la unidad. 3) Filtraciones en las juntas y fisuras.

Descripción de los daños

- Rotura de tubería, fugas en las uniones o accesorios existentes.
- Fisuras en muros de las casetas de válvulas, estaciones de bombeo, etc., donde se tienen estos accesorios empotrados. Cuando esto sucede en las juntas impermeables (como a la salida de un reservorio), filtraciones al interior de la caja de válvulas que pueden llegar a inundarlas.
- En algunos casos, riesgo para los operadores del sistema y los equipos o accesorios instalados por las fisuras de la estructura.
- Restricción o interrupción del servicio debido a roturas y fugas.

Causas identificadas



Los sismos u otras actividades (como uso de explosivos o el propio bombeo) pueden causar vibraciones en la estructura y los accesorios.



Asentamiento del terreno alrededor de la estructura, lo cual sucede por el humedecimiento y socavación debajo de los cimientos de la misma, por ejemplo, luego de una inundación.

El empotramiento directo de la tubería en las paredes, debido a la rigidez distinta entre estos materiales, puede producir daños debido a las vibraciones.¹³ Cuando la rehabilitación consiste solo en resanar y reponer el enlucido del muro, la vulnerabilidad aumenta, y se pueden producir daños más graves si el evento se repite.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ Reemplazar el empotramiento de manera que no exista contacto directo entre el muro y la tubería, instalando niples (neplos) concéntricos (generalmente de acero o hierro fundido).
- ✓ Cuando se requiera que la tubería atraviese el muro de manera impermeable, como a la salida de reservorios, cámara húmeda en las cajas de captación y otras estructuras complementarias, tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:
 - En el vaciado o fundido de los muros incluir un niple de acero de mayor diámetro que la que atraviesa el muro, con elementos de sujeción soldados (paletas empotradas en el muro).
 - Rellenar el espacio vacío entre la tubería y el niple con juntas de material asfáltico (sellador impermeable).

¹³ Generalmente la tubería, por ser el material más frágil, presenta los daños más severos; sin embargo, las estructuras también pueden afectarse.

- Para tuberías menores a 6" se recomienda utilizar como elementos de sujeción platinas incrustadas al niple (Fig. 34).
- Para diámetros mayores a 6" se recomienda utilizar una corona concéntrica soldada al niple y empotrados en la pared de la unidad.

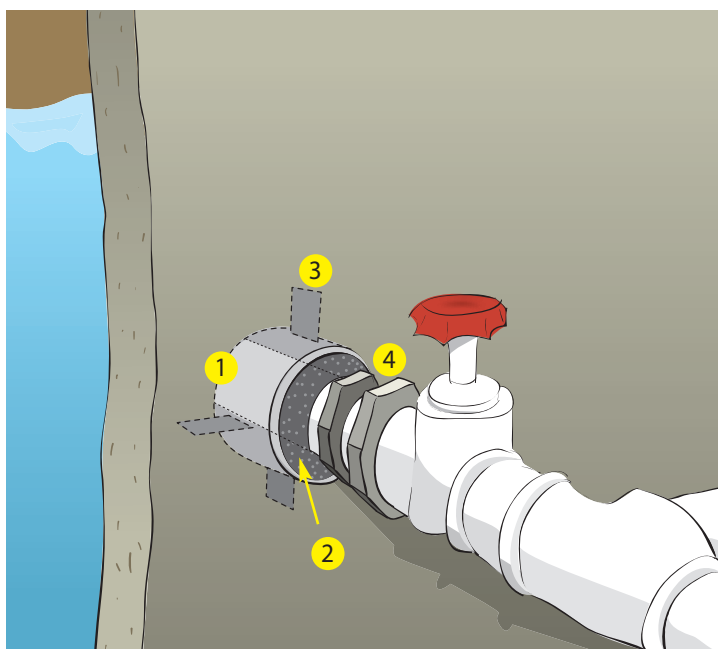


Figura 34
Propuesta para reducir la vulnerabilidad en tuberías empotradas

1) Niple/neplo empotrado de mayor diámetro que la tubería de servicio. 2) Junta impermeable de material asfáltico. 3) Elementos de sujeción (paletas) soldadas al niple/neplo y empotradas en los muros. 4) Unión universal para facilitar el montaje y desmontaje de los accesorios.

- ✓ Cuando no se requiere la impermeabilidad de la junta, tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:
 - En el vaciado de los muros incluir un niple de mayor diámetro que la que atraviesa el muro.
 - Una vez atravesado el muro, rellenar el espacio vacío con elementos de material flexible (anillos de hule, poliestireno, etc.) u otro de consistencia blanda.
- ✓ Para mayores facilidades en el mantenimiento y la reparación, instalar uniones universales entre el muro y los accesorios inmediatos.

• Impacto sobre equipos y otras estructuras complementarias

Los sistemas de agua involucran una serie de estructuras civiles como reservorios, cajas rompepresión y de válvulas, equipamiento y otros, que se encuentran ubicadas a lo largo del sistema, muchas veces emplazadas en zonas de amenaza, donde pueden verse afectadas por fenómenos naturales.

Erosión de cimientos y asentamiento del terreno

La erosión de taludes puede afectar las estructuras emplazadas en zonas de ladera con fuerte pendiente, donde la formación de cárcavas debilita la resistencia del terreno y compromete la estabilidad de la unidad o unidades.

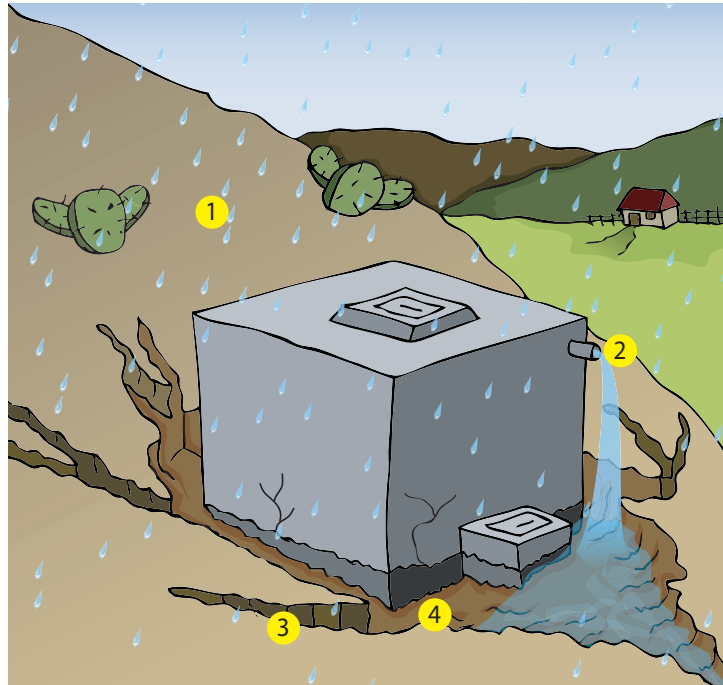


Figura 35
Problemas de erosión
en estructuras civiles

1) Terreno en pendiente pronunciada y expuesto a la erosión. **2)** La ubicación de la descarga de la tubería de rebose es incorrecta. **3)** Cárcavas generadas por escurrimiento superficial y rebose. **4)** Asentamiento del terreno, fisuras y daños a la estructura.

Descripción de los daños

- Asentamiento de la unidad, daños en las válvulas y accesorios de ingreso.
- Fracturas y fisuras en las paredes de la unidad, que pueden causar filtraciones, humedecimiento del terreno y saturación del mismo.
- Posibilidad de colapso de la estructura y, dependiendo de la pendiente y ubicación del componente, probabilidad de un deslizamiento de mayor magnitud.

Causas identificadas



El incremento de lluvias, deslizamientos y escurrimiento superficial sobre terreno de baja resistencia.

El escurrimiento de agua alrededor de la estructura, agravado por la deforestación (falta de cobertura vegetal) de laderas, intensifica la erosión y reduce la capacidad del terreno.



El humedecimiento excesivo del terreno que provoca el asentamiento y la pérdida de resistencia del terreno. Los sismos y terremotos, que producen la vibración del terreno, pueden acelerar este asentamiento.

Las fallas técnicas como la incorrecta descarga de la tubería de rebose y/o limpieza, cerca de la unidad en cuestión (Fig. 35); el escurrimiento del agua de rebose, así como la escorrentía superficial generan cárcavas en el terreno; la mala cimentación de las unidades, especialmente en aquellas de dimensiones mayores (como los reservorios y cajas de captación).

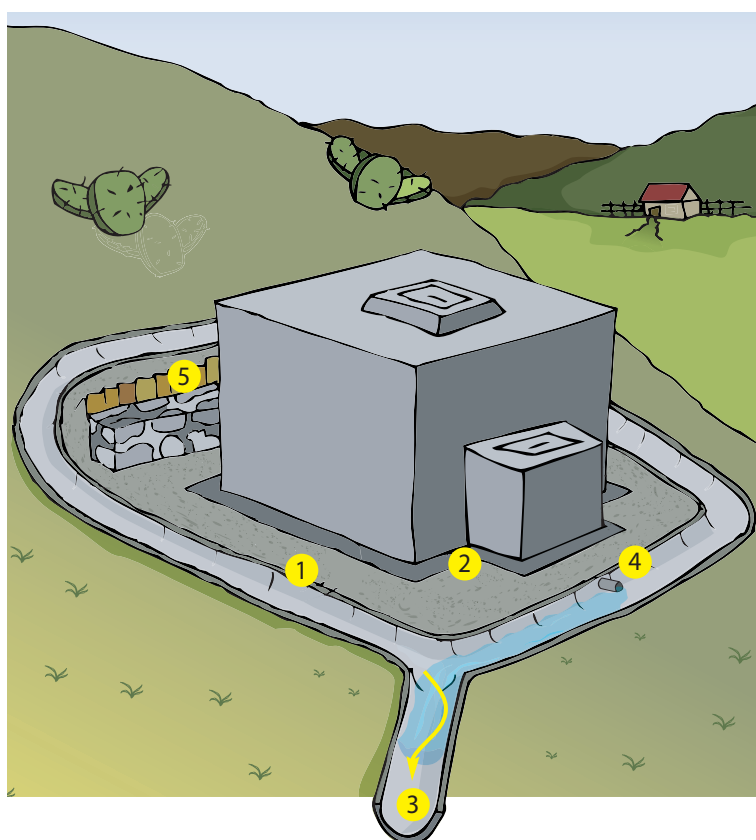


Figura 36
Recomendaciones para la reducción de vulnerabilidad

Adaptado de: *Prevención de desastres en acueductos rurales*. FICR, sin publicar.

1) Terreno de resistencia apropiada y adecuadamente compactado. 2) Cimentación adecuada de la unidad. 3) Cunetas de coronación con descarga en quebradas, canales de regadío, etc. 4) Tubería de rebose y limpieza con descarga adecuada para evitar erosión. 5) Estructuras de retención cuando se modifica la geometría de la pendiente.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ Para evitar que el escurrimiento del agua de lluvia humedezca y erosione el terreno circundante a la unidad, construir zanjas de recolección de agua de lluvia y escorrentía superficial (cunetas de coronación). (Ver *Cunetas de coronación*, pág. 71 y 72).

- ✓ Evitar la descarga directa de la tubería de rebose y limpiar alrededor de la estructura. Se recomienda que ésta descargue, junto con la tubería de limpieza, en una canaleta (por ejemplo: las zanjas de recolección del agua de lluvia) para luego evacuar el agua excedente en un canal, quebrada o curso de agua, de manera que no escurra por la superficie del terreno y cause problemas a la integridad de la estructura.
- ✓ Para la construcción de unidades nuevas o reconstrucción de unidades afectadas, verificar que la resistencia del terreno sea la conveniente para la instalación de la estructura y esté apropiadamente compactado. En todo caso, la cimentación debe ser adecuada según el terreno existente (ver tabla 3 *Valores de resistencia de diversos tipos de terreno*, pág. 77).
- ✓ Si se requiere modificar la pendiente del terreno para lograr una plataforma plana y estable, instalar estructuras de retención (gaviones, muros de concreto, otros) para dar estabilidad al talud y evitar que este material se deslice.
- ✓ Al nivel de microcuenca, reducir el problema de deforestación de laderas (por quema de pastos, tala excesiva, etc.) y, de esta manera, reducir los problemas de erosión, formación de cárcavas e inestabilidad del terreno.
- ✓ Instalar cercos perimétricos a las unidades para prevenir que sean manipulados por personas extrañas y proveerlos de protección adicional.
- ✓ Para evitar fugas por fisuras en la construcción de unidades nuevas o reconstrucción de unidades afectadas, considerar técnicas constructivas como ferrocemento, pues evitan considerablemente los problemas de filtraciones y, al ser estructuras bastante elásticas, incluso son resistentes a sismos.

Protección de equipos de bombeo y otros controles eléctricos

En los sistemas donde se requiere contar con equipos de bombeo electromecánicos, se deben incorporar medidas para su protección, especialmente en la zona rural, donde es más difícil encontrar capacidades para su mantenimiento y reparación.

Generalmente en sistemas grandes, las bombas se ubican en casetas de bombeo; en sistemas pequeños suele ubicarse incluso a la intemperie, en un lugar cercano al pozo.

Descripción de los daños

- La calidad del agua en los pozos puede afectarse por el ingreso de lodo debido a la inundación.

- Posible daño y colapso en los paneles de control y sistemas eléctricos.
- Suspensión del servicio de equipos de bombeo, paneles de control y otros elementos del sistema por largos períodos, cuando no se cuentan con las capacidades para repararlos a nivel local.

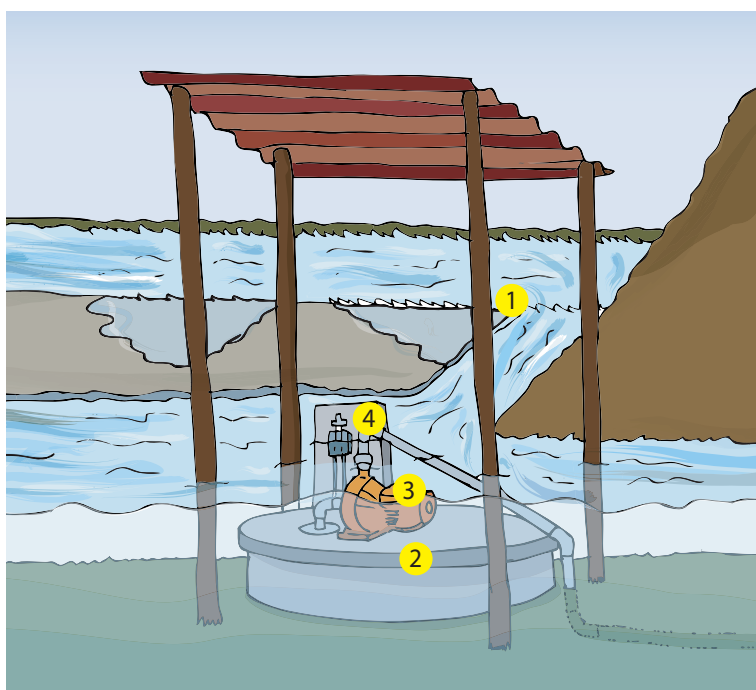


Figura 37
Daños en equipos de bombeo

1) Inundaciones producidas, por ejemplo, por los desbordos de ríos o canales. 2) Boca del pozo bajo el nivel máximo de inundación. 3) Daños en equipos de bombeo. 4) Daños en tableros eléctricos.

Causas identificadas



El incremento de lluvias, por fenómenos mayores como tormentas, fenómeno de El Niño, entre otros, es responsable de las inundaciones que pueden afectar las estaciones y equipos de bombeo. Las inundaciones pueden ser ocasionadas por los deslizamientos, desbordos de ríos, canales, etc.



La ubicación del equipo de bombeo, tableros de control y sistemas eléctricos, al descubierto y por debajo del nivel de inundación, hace que éstos sean afectados por el agua y el lodo.



La «boca del pozo» no se encuentra protegida contra el ingreso de agua y lodo, con lo cual se contamina la fuente.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ Proteger las bombas, los paneles de control, las instalaciones eléctricas y cualquier otro material, del agua y del lodo con los que pueden entrar en contacto al ocurrir una inundación.
 - Construir una plataforma para instalar los equipos de bombeo, paneles y otros, la cual debe encontrarse por lo menos 30 cm por encima del nivel máximo de inundación.¹⁴ En algunos casos pueden usarse bombas sumergibles, sin embargo, se debe tener en cuenta que éstas son susceptibles a los daños por el ingreso de lodo.
 - En aquellos sistemas más grandes donde existen casetas de bombeo, además de la plataforma, verificar que el ingreso de la caseta esté sobre el nivel máximo de inundación.
 - Elevar la boca del pozo al nivel de la posición del equipo de bombeo, para evitar el ingreso de agua y lodo que puedan contaminar el interior del mismo y deteriorar la calidad del agua.
 - Instalar los controles eléctricos, cuando existen, en un tablero elevado sobre el nivel máximo de inundación.
- ✓ Para nuevas casetas o reconstrucción de las existentes, elegir el emplazamiento en zonas no inundables.

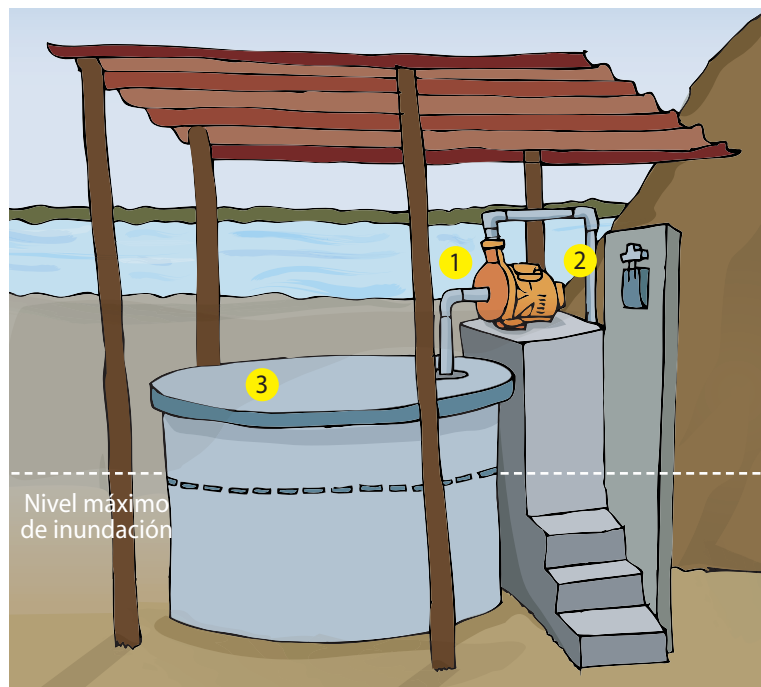


Figura 38
Medidas para la protección de equipos de bombeo

1) Equipo de bombeo elevado en plataforma por encima del nivel máximo de inundación (NMI). 2) Los controles eléctricos deben instalarse en un tablero sobre el NMI. 3) Boca del pozo elevada por encima del NMI (mínimo 0,30 m).

14 Dicho nivel será determinado de la información histórica (recomendable: 50 años). En el medio rural es común que se use el conocimiento local de la propia población; se pueden usar mapas comunitarios de riesgos para que el personal técnico pueda levantar dicha información.

- ✓ Si no es posible, construir las instalaciones internas por encima del nivel máximo de inundación. Para ello será necesario que la caseta, en su conjunto, se encuentre elevada del nivel normal del terreno. Para ello el piso de la caseta debe apoyarse sobre pilotes o un terraplén correctamente cimentado y de material compacto.

Sistemas de saneamiento y disposición de excretas

Al igual que los sistemas de abastecimiento de agua, los de saneamiento (alcantarillado, plantas de tratamiento) y disposición de excretas (in situ secas, in situ húmedas) también pueden afectarse por la ocurrencia de un desastre natural. Sin embargo, además del impacto por la reducción y suspensión de estos servicios, éstos tienen el riesgo adicional de convertirse en focos de infección y transmisión de enfermedades de origen hídrico.

• Obstrucción y colapso de tuberías en los sistemas de alcantarillado

La obstrucción de un tramo de la red de alcantarillado afecta también la zona que se encuentra alrededor; interrumpe el servicio y, sobre todo, pueden generarse focos infecciosos por el rebalse del agua residual a través de los buzones y/o pozos de revisión.

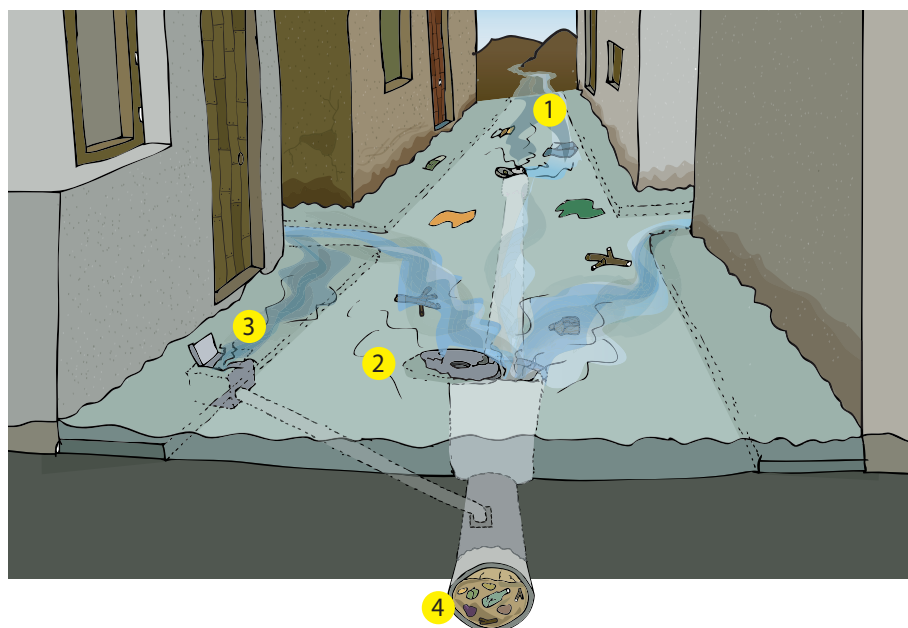


Figura 39
Impacto de las inundaciones en las redes de alcantarillado

1) Inundación producida por desborde de ríos, deslizamiento u otra acción generada por el ser humano. 2) Tapas de buzones de inspección en mal estado que permiten el ingreso de agua. 3) Ingreso de agua y lodo a través de las conexiones domiciliarias de desagüe. 4) Obstrucción de tubería con lodo y escombros.

Descripción de los daños

- Obstrucción de las redes de alcantarillado (tuberías y buzones y/o pozas de inspección) y suspensión del servicio.
- Almacenamiento de las aguas residuales dentro del sistema, alrededor de la obstrucción y rebalse a través de buzones.
- Esparcimiento del desagüe, combinado con el agua de inundación, por las calles y posible ingreso a las viviendas o contaminación de estructuras de almacenamiento de agua (pozos o cisternas). Cuando esto sucede existe un gran riesgo para la salud por la transmisión de enfermedades como diarrea, afecciones a la piel, etc. y la aparición de vectores (moscas, ratas, etc.).
- Contaminación por el ingreso de aguas residuales en las redes de distribución de agua.

Causas identificadas



Las lluvias intensas, pudiendo ser estacionales o producidas por tormentas o fenómenos como El Niño.

El desborde de ríos, canales de regadío u otra fuente de agua, debido al incremento de lluvias, deslizamientos, etc.



En zonas de actividad volcánica, la caída de cenizas y posteriores lluvias han provocado la colmatación de las tuberías de alcantarillado.

Falta de sistemas de drenaje en la localidad para la evacuación de las aguas de lluvia.



Mal mantenimiento de las tapas de los buzones de inspección y uso inadecuado del sistema de alcantarillado (disposición de residuos sólidos o descarga del agua de la inundación).

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ Contar con sistemas de drenajes adecuados que permitan evacuar el agua de lluvia.
- ✓ Procurar la ubicación de las instalaciones sanitarias dentro de las viviendas sobre el nivel de inundación.
- ✓ Realizar labores de mantenimiento y reposición de tapas dañadas de buzones, para evitar el ingreso de lodo y sedimentos en el sistema de alcantarillado.
- ✓ Limpiar los colectores de manera rutinaria como parte del mantenimiento del sistema para evitar que éstos reduzcan su capacidad.

- ✓ En caso de caída de cenizas, recolectar la ceniza para evitar que, al caer la lluvia, ingresen a través de los buzones.
- ✓ Para impedir que los daños en el alcantarillado afecten la calidad del agua potable, tomar en cuenta lo siguiente:
 - Separar adecuadamente las tuberías de agua y alcantarillado,¹⁵ las cuales no pueden ser ubicadas en la misma zanja. Se recomiendan lados opuestos en las vías o calles de la localidad.
 - Cuando no se puedan cumplir con las recomendaciones mínimas (por presencia de rocas, falta de espacio u otro obstáculo insalvable) verificar que la tubería de agua esté recubierta en toda la zona de interferencia.
- ✓ En caso de no ser factible el drenaje natural de las aguas de lluvia, como en zonas inundables, descartar esta opción de saneamiento.

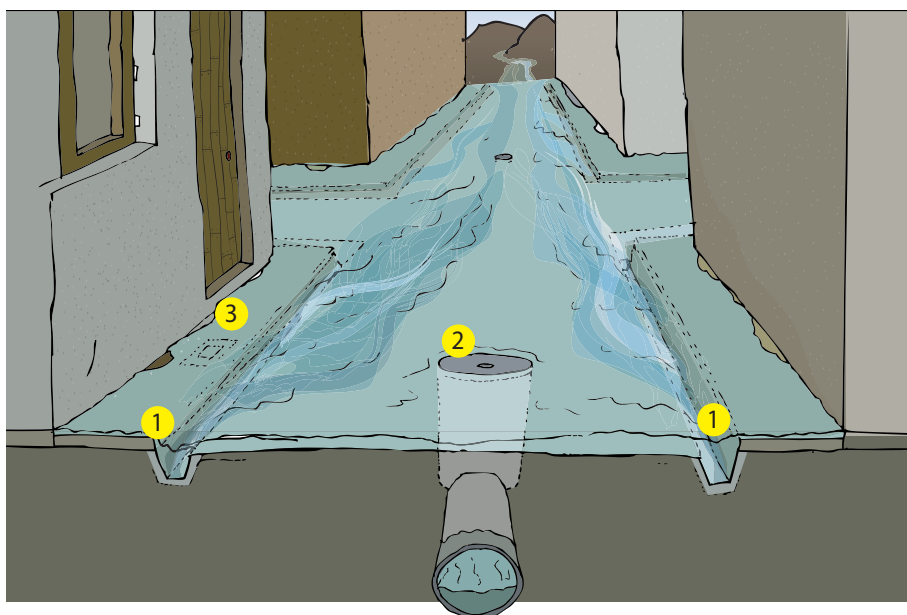


Figura 40
Propuesta para la reducción de la vulnerabilidad en sistemas de alcantarillado

1) Cunetas para el drenaje para aguas de lluvia. 2) Tapas de buzones de inspección operativas y en buen estado. 3) Cajas de registro/revisión de conexiones domiciliarias en buen estado.

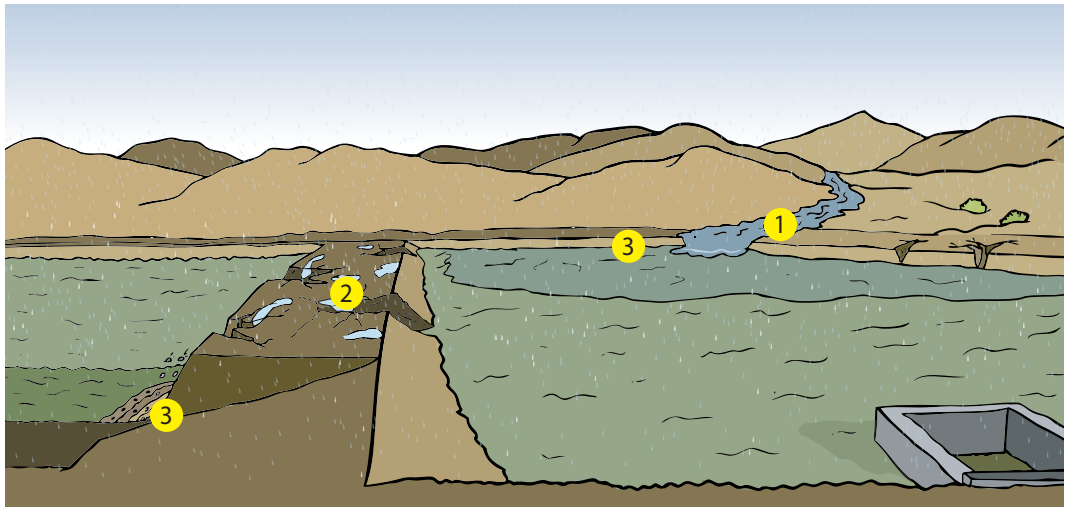
• Impacto en lagunas de estabilización en sistemas de tratamiento de aguas residuales

En sistemas de saneamiento centralizado, las aguas residuales se descargan en plantas de tratamiento, ubicadas en zonas bajas en las afueras de la localidad, lo cual previene la descarga directa en los ríos. Cuando se producen daños en estos componentes, los desagües son descargados directamente en los cuerpos de agua, generando impactos ambientales y efectos en la salud pública.

¹⁵ Se recomienda respetar las distancias mínimas de las normas de cada país. En caso de que éstas no estén indicadas se pueden asumir distancias mínimas de: horizontal mín.: 1 m y vertical mín.: 0,50 m.

Figura 41

Daños en lagunas de estabilización debido a lluvias e inundaciones



1) Escorrentía superficial producto de lluvias intensas, desbordos y otros. 2) Erosión en los taludes debido a la escorrentía y la falta de recubrimiento. 3) Ingreso de sedimentos y azolve de la laguna.

Descripción de los daños

- Ingreso de lodos y sedimentos en las lagunas, que reducen su capacidad de almacenamiento y la eficiencia del proceso de tratamiento.
- Erosión de los bordes y taludes de las lagunas que ponen en riesgo la estabilidad de la laguna.
- Contaminación de las aguas del río o quebrada al que descargan, dado que el proceso de tratamiento no puede cumplirse por los daños en las lagunas. La contaminación del curso de agua receptor afecta a una población mayor que aquella que ve interrumpida el servicio de saneamiento.
- Proliferación de vectores y enfermedades en la población afectada y otras localidades en la microcuenca.

Causas identificadas



El incremento de las lluvias, sobre todo debido a fenómenos como El Niño, tormentas y huracanes.

También puede darse por deslizamientos.

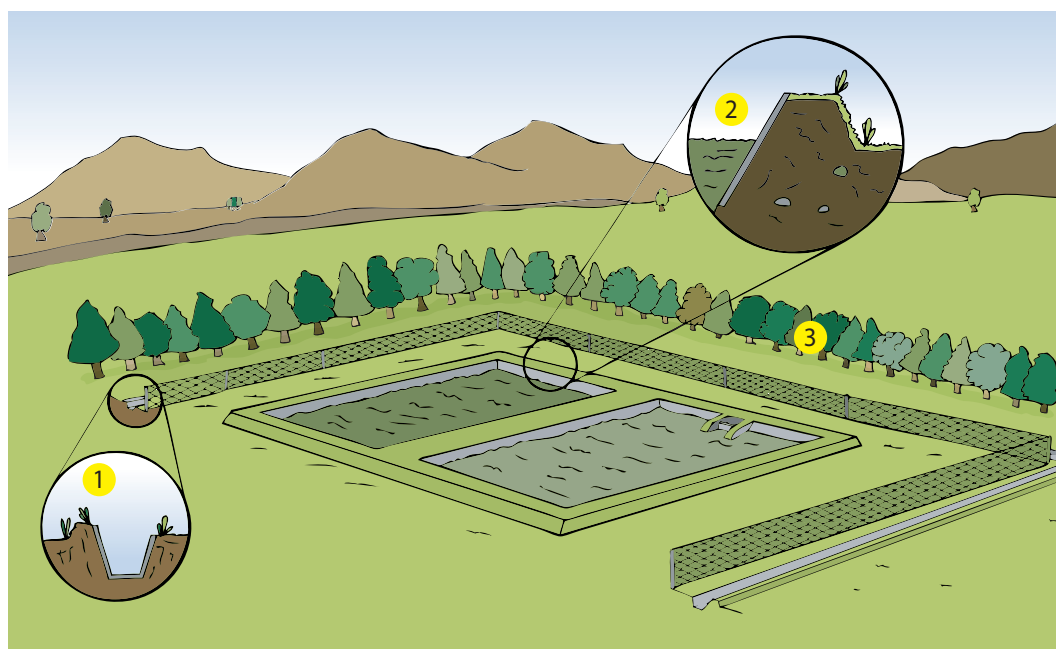


Cuando los bordes y taludes de la laguna se encuentran desprotegidos contra la erosión producida por el agua, se generan cárcavas sobre su superficie.

Inexistencia de un sistema para evacuar el agua de lluvia que escurre en el terreno cercano a la ubicación de la planta.

Problemas en la ubicación de las lagunas como la construcción en el área de influencia de las quebradas.

Figura 42
Medidas para la reducción de la vulnerabilidad en lagunas de tratamiento de aguas residuales



1) Canaletas para la recolección y drenaje para aguas de lluvia. **2)** Protección de los bordes de la laguna con concreto y recubrimiento exterior con pasto y/o grama. **3)** Malla de cerco perimétrico y barreras vivas alrededor de la planta de tratamiento.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ Construir canaletas de recolección de lluvia alrededor de las instalaciones de la planta, para evitar que el escurrimiento erosione los bordes de la laguna o permita el ingreso de sólidos. Estas canaletas deberán ser recubiertas con concreto o enrocado.
- ✓ Proteger los taludes de la laguna con material impermeable (por ejemplo: arcilla); las orillas y los bordes de la laguna deben ser recubiertos con concreto simple o emboquillado de piedra y los bordes externos con pasto o grama para reducir la escorrentía y erosión del terreno alrededor de las lagunas.
- ✓ Cuando se requiera, cercar el área mediante muros de malla que eviten el ingreso de personas ajenas. Además, procurar incluir barreras vivas alrededor de la laguna para reducir los problemas de erosión.
- ✓ En la construcción de nuevas lagunas o la reconstrucción de las afectadas, tener en cuenta la ubicación de las mismas, considerando la margen de erosión de los ríos, las zonas propensas a inundaciones y las áreas de influencia de las quebradas.

✓ Verificar la capacidad y resistencia del suelo mediante pruebas o estudios geotécnicos, así como la impermeabilidad adecuada del terreno.

• Impacto en letrinas y sistemas sépticos

Cuando no existe alcantarillado ni sistemas de tratamiento centralizado es común el uso de letrinas y sistemas sépticos en las zonas rurales y, por lo general, se ubican cerca de las viviendas. En todos ellos se requieren excavaciones en el terreno para la infiltración del agua residual, por lo que pueden afectarse con facilidad debido a lluvias, inundaciones u otros fenómenos.

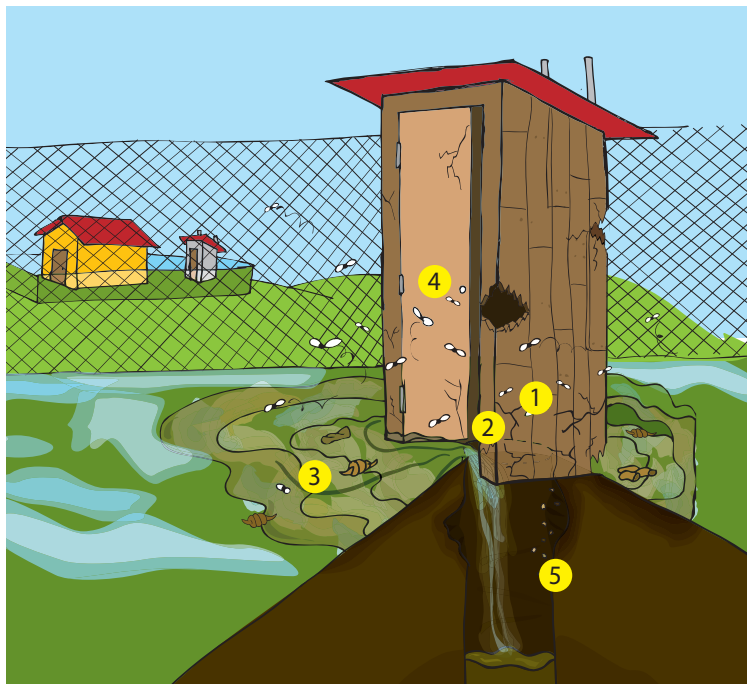


Figura 43
Impacto en letrinas
por inundación

1) Daños en la estructura de la caseta. 2) Ingreso de agua de lluvia en el hoyo. 3) Debido a la inundación, el contenido de la letrina puede salir del hoyo. 4) Proliferación de vectores. 5) Derrumbe dentro del hoyo y asentamiento del terreno.

Descripción de los daños

- Inundación del hoyo de las letrinas cuando las lluvias son de gran magnitud o se producen inundaciones en la localidad.
- Cuando se inunda por completo, el contenido de la letrina puede salir del hoyo, contaminando el ambiente y poniendo la salud de la población en peligro.
- Posibilidad de derrumbe del hoyo, sobre todo en zonas arenosas o con suelos de poca resistencia y asentamiento del terreno, lo que afectaría la caseta.

- Posibilidad de contaminación de algunas fuentes o sistemas de agua (como pozos someros) por los daños en letrinas.

Causas identificadas



El incremento de las lluvias, sobre todo debido a fenómenos como El Niño, tormentas y/o huracanes.



El nivel de la losa por debajo del nivel máximo de inundación produce el ingreso de agua al hoyo.

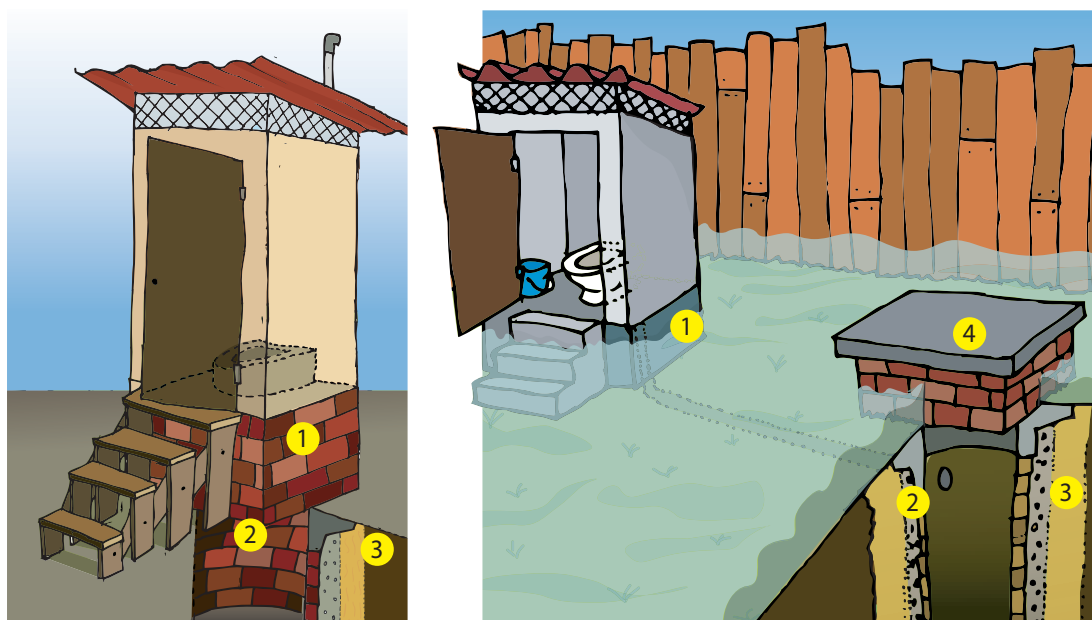
La ubicación del hoyo, por debajo del nivel del terreno, incrementa la vulnerabilidad ante inundaciones.



Las paredes del hoyo no se encuentran protegidas, por lo que la baja resistencia y el humedecimiento del terreno son los causantes de los derrumbes.

Figura 44

Reducción de la vulnerabilidad en letrinas y sistemas sépticos

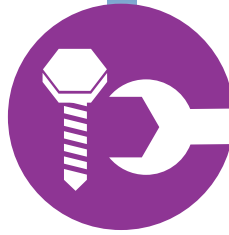


- 1) Elevación de la caseta y la losa sobre el nivel de inundación.
- 2) Cubierta y refuerzo de mampostería para evitar derrumbes.
- 3) Doble recubrimiento de grava y arena para reducir la carga contaminante del agua que se infiltra.
- 4) Elevar el ingreso de la tapa o cubierta en pozos de infiltración.



Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ En zonas expuestas a inundaciones de manera periódica (fenómeno de El Niño, tormentas o huracanes), elevar la caseta y losa por encima del nivel máximo de inundación.
- ✓ Asimismo recubrir el interior de la letrina con una doble capa de grava y arena, para reducir la carga contaminante del agua que se infiltra y evitar la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales.
- ✓ Para evitar derrumbes construir el brocal y la losa con materiales resistentes, y las paredes con materiales ligeros, adecuados y disponibles.
- ✓ En caso de pozas de infiltración, sumideros o pozos negros, verificar que la cubierta del pozo o losa de cubierta esté por encima del nivel máximo de inundación, para evitar que el agua que pueda inundar la zona ingrese al sistema.



CAPÍTULO 4

Elementos técnicos que contribuyen a la reducción de la vulnerabilidad

A continuación se presentan algunas recomendaciones para la implementación de las medidas de prevención y mitigación expuestas a lo largo del documento. Estas indicaciones no son restrictivas y su uso es variable de acuerdo a las condiciones y materiales disponibles localmente.

Cunetas de coronación

Las cunetas o zanjas de coronación son canales que se construyen para desviar el agua que se escurre sobre la superficie y consecuentemente para evitar la erosión del terreno, especialmente en zonas de mucha pendiente o donde se ha efectuado el corte del terreno para la instalación de alguna estructura (unidad de captación, reservorio, etc.).

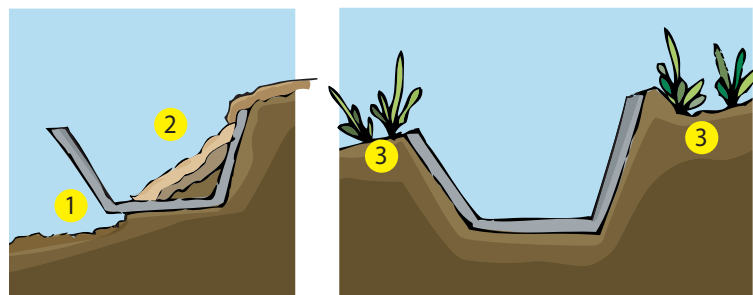


Figura 45
Erosión en cunetas de coronación

1) Erosión o asentamiento del terreno bajo la cuneta. **2)** Azolve de la cuneta por el arrastre de sedimentos. **3)** Medidas de reducción de la erosión: reforestación de los bordes de la cuneta con especies nativas de la zona.

- Normalmente son de forma rectangular, pero también pueden ser trapezoidales, si se requiere un mayor tamaño.
- Deben estar ubicadas en la parte superior del corte del terreno o alrededor de la estructura, en forma circular o recta (transversal a la escorrentía), según sea necesario.
- Es importante sembrar especies nativas a ambos lados de la cuneta (Fig. 45) para evitar que el agua erosione bajo la cuneta y ésta se azolve con sedimentos.
- Si la pendiente es mayor que 2 % (desnivel de 2 cm por cada metro de canal), es necesario que el canal tenga recubrimiento de concreto simple o enrocado. Para pendientes mayores, las zanjas deben ser escalonadas con emboquillado de piedra bajo la caída (Fig. 46).

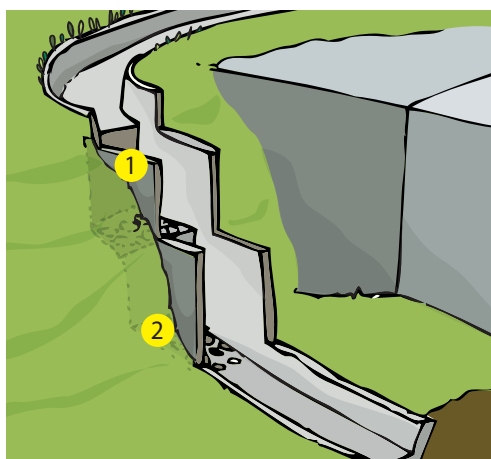


Figura 46
Cunetas de coronación

1) Cuneta de coronación escalonada. 2) Protección de emboquillado de piedra.

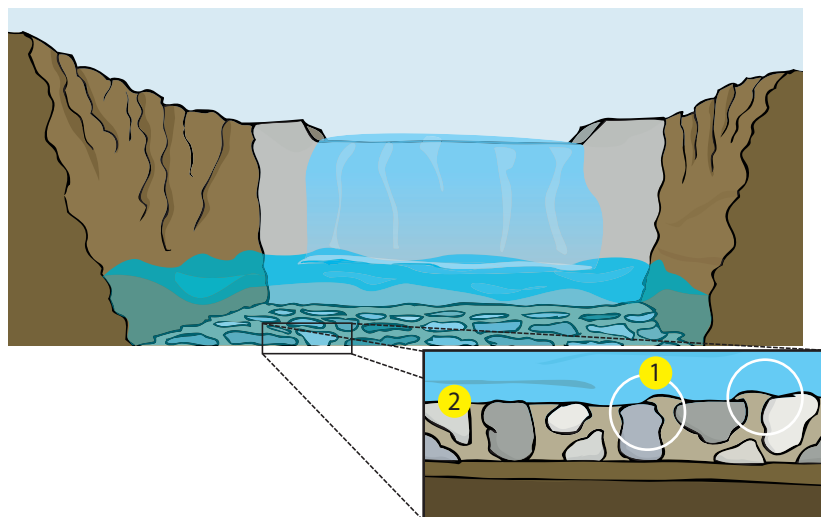
Emboquillados en piedra

Se refiere al recubrimiento de las superficies expuestas directamente a la caída del agua para evitar la erosión del suelo en ese punto. También se usan para evitar la erosión acelerada en el interior de las cunetas o sobre las superficies de escurrimiento.

- Las piedras pueden ser canto rodado o material de cantera (labrado o no). No es importante que tengan una forma específica, pero sí una superficie plana. Sus dimensiones deben estar alrededor de 10 ó 20 cm de diámetro.
- Las piedras deben ser duras, sin rajaduras ni otra imperfección que pudiera disminuir su resistencia. La densidad mínima será de 1,60 ton/m³.

- La superficie de las piedras debe estar libre de tierra arcilla o cualquier material extraño. Antes de colocarlas, deben lavarse y rechazar las piedras cuyos defectos no se remuevan con agua y cepillo.
- La colocación de las piedras se hará sobre la superficie de concreto y emboquillado con mortero.¹⁶ Las superficies planas deben ir hacia el exterior.
- La separación entre piedras no debe ser menor de 3 cm ni mayor de 5. Este espacio debe quedar completamente lleno con mortero, el cual debe penetrar como mínimo 1,5 cm debajo de la superficie.
- Se debe remover el mortero en exceso en la superficie y hacer coincidir con la superficie exterior de las piedras.

Figura 47
Emboquillado de piedra.
Reducción de la erosión
debido a la caída de agua



1) Mal emboquillado. El mortero sobresale de la superficie del emboquillado. 2) Buen emboquillado. La superficie exterior del emboquillado debe ser plana, al igual que los bordes de las rocas que lo conforman.

Gaviones¹⁷

Son estructuras flexibles de retención, simples de construir y mantener, y de menor costo que otras opciones (concreto). Pueden usarse para el control de la erosión en ríos y quebradas, y retención para la estabilización de terrenos deleznable. Son mallas de alambre llenas con piedras de canto rodado.

- La malla utilizada es de orificios hexagonales (menor a 10 cm), con uniones de triple torsión y alambre galvanizado con doble revestimiento electrolítico, resistente al empuje e intemperie.

¹⁶ El concreto tendrá las proporciones 1: 4.5 (cemento: arena gruesa) con una resistencia de 175 kg/cm². Proporciones del mortero para el emboquillado 1:3 (cemento: arena fina).

¹⁷ Una guía para la instalación de gaviones, paso a paso, se encuentra disponible en: www.lemac.com.mx/versioningles/folleto/gavion-folleto.pdf

- Las celdas son prismáticas, generalmente de 2 m x 1 m x 1 m y deben ser armadas en el sitio. El alambre de las costuras (esquinas y anclaje entre canastas) es de mayor diámetro que en la malla.
- Los gaviones necesitan una superficie plana para su apoyo. En el caso de estar ubicados en un cauce, las celdas de la base deben apoyarse por debajo de la base del mismo y luego de instalada rellenar los bordes para evitar la socavación.

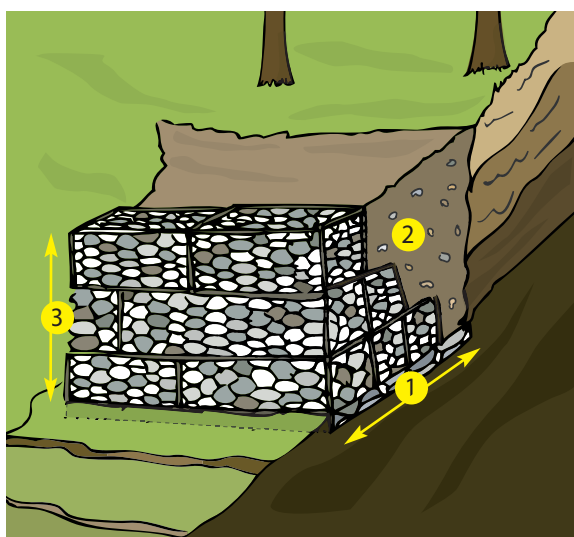


Figura 48
Celdas para muros de gaviones

1) Contrafuerte en la base de los gaviones. 2) Relleno entre muro de gaviones y talud. 3) Altura máxima de gaviones = 8 metros.

- El tamaño de las piedras debe ser de 15 a 30 cm y su densidad mínima 1,25 ton/m³, evitando material de contenido calcáreo.
- Los gaviones deben rellenarse de forma manual. Las piedras de menor tamaño se colocan en el centro, mientras que las más grandes junto a la malla, minimizando la cantidad de vacíos. Si durante el relleno las celdas pierden su forma, se deberá retirar el material relleno, reparar, reforzar y volverlo a colocar.
- Al apilar los gaviones se debe considerar el traslape entre celdas para dar mayor rigidez al muro. Para estructuras de retención, la altura máxima será de 8 metros y se deben considerar contrafuertes para proporcionarles anclajes en el suelo, detrás del muro. La longitud de estos contrafuertes deben ser del 60 % de la altura.
- El espacio existente entre el muro de gaviones y la superficie del talud debe completarse con material de relleno.

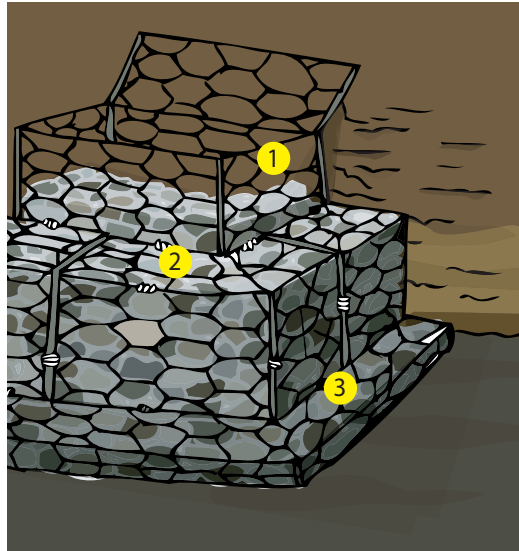


Figura 49
Celdas para muros de gaviones

1) Malla de alambre galvanizado, resistente a la intemperie, de orificios hexagonales. Celdas de 2 x 1 x 1 m. 2) Traslape en la instalación de gaviones. 3) Instalado sobre una base plana.



Trinchos

Los trinchos son muros construidos para reducir la velocidad del agua y provocar la sedimentación de sólidos. Se usan para el control de la erosión y la formación de cárcavas. Aunque pueden ser de cemento, gaviones, madera, el término *trinchos* se refiere generalmente a barreras vivas, compuestas por material vegetal que rebrota fácilmente.

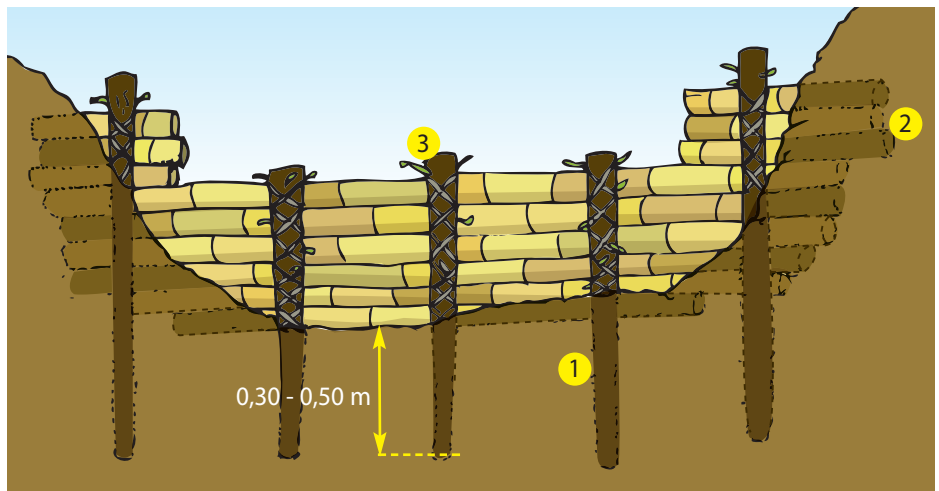


Figura 50
Implementación de trinchos o barreras vivas

1) Estacas verticales hincadas en el terreno. 2) Travesaños horizontales empotrados en el talud. 3) Vertedero para el paso de escorrentía superficial (profundidad mínima de enterramiento = 0,30 m).

- Construcción de trinchos para el control de cárcavas:
 - Instalar un entramado de troncos verticales y horizontales perpendiculares al cauce.
 - Utilizar estacas verticales de una especie vegetal joven y de rápido rebrote. Deben enterrarse en el fondo del cauce (0,30 a 0,50 m).
 - Los travesaños horizontales deben ser de guadúa o bambú. Deben ir empotrados en los taludes del cauce.
 - La altura del trincho no debe sobrepasar los 0,50 m por encima del cauce.
 - Para alturas mayores deberá cubrirse el cauce, aguas abajo, con emboquillado de piedra.
 - Debe tener un vertedero en la parte superior, cuya longitud debe ocupar casi todo el cauce (80 %). Las contracciones a cada lado deben elevarse entre 0,30 a 0,50 m del vertedero.
 - La distancia entre trinchos debe ser tal que la base del anterior coincida con el vertedero del siguiente.
- También puede ser construido para la retención y estabilización de taludes como soporte de terrazas de andenería o en combinación con muros de gaviones o concreto.

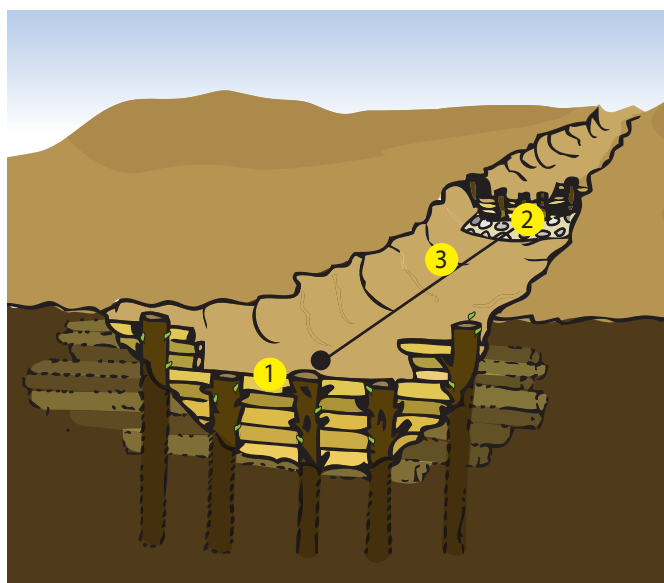


Figura 51
Distancia entre trinchos para el control de cárcavas

1) Vertedero. 2) Emboquillado de piedra. 3) El nivel del vertedero coincide con la base del anterior.



Resistencia del terreno

La resistencia del terreno es un factor determinante en la vulnerabilidad de los componentes de los sistemas de agua y saneamiento, sobre todo en estructuras civiles como reservorios, unidades de tratamiento, tanques sépticos y otras unidades de peso y volumen apreciable que puedan presentar problemas de asentamiento del terreno.

Para reducir estos riesgos y los daños en el componente es necesario identificar la resistencia del terreno y verificar que sea la que se requiere para soportar la estructura a construir. En el medio rural, se puede usar la siguiente tabla como referencia:

Tabla 3. Valores de resistencia de diversos tipos de terreno	
Tipo de terreno	Resistencia admisible (kg/cm ²)
Suelo fangoso	0,0
Arcilla blanda (plástica)	0,5
Arena	1,0
Arena y grava	1,5
Arena y grava cimentada con arcilla	2,0
Suelo duro (esquisto, pizarra, roca)	5,0

La tabla anterior se refiere a valores estimados para **suelos secos**. Si los suelos son húmedos, esta resistencia disminuye pudiendo generar problemas, como en el caso de arcillas expansivas. En todo caso, cuando la estructura es de mayor envergadura es necesario medir la resistencia in situ.

Glosario

Aguas subsuperficiales. Fuente de agua subterránea que se encuentra cerca de la superficie del terreno, a poca profundidad y que puede aflorar espontáneamente (manantial) o ser fácilmente extraída por medio de pozos excavados o perforados. En algunos casos, cuando existe una contaminación de esta fuente antes del punto en que es aprovechada, se requerirá de un tratamiento mayor que el de simple desinfección.

Otros términos utilizados: **agua subálvea.**

Alcantarillado condominial. Alcantarillado en el cual el diámetro de las tuberías es igual o mayor que 6", requiere de excavaciones menos profundas y un menor número de buzones que el alcantarillado simplificado, aunque un mayor número de cajas de inspección. El nivel de participación del usuario en la operación y mantenimiento del sistema es mayor que en los sistemas convencionales y simplificados y su costo de instalación es menor.

Alcantarillado convencional. Recolección de las aguas residuales a través de una red de tuberías, cuyo diámetro es igual o mayor a 8", con velocidades mayores a 0,6 m/s. Consta de una red de tuberías que requieren profundas excavaciones para su instalación y de buzones ubicados cada cambio de dirección, cambio de desnivel, cruce de tuberías o cada 100 m como máximo. La participación del usuario en el mantenimiento del sistema es mínima o nula.

Alcantarillado simplificado. Alcantarillado que difiere del sistema convencional en la simplificación y minimización del uso de materiales y criterios constructivos. Está formado por colectores de diámetros menor o igual a 6", con velocidades menores a 0,6 m/s. Requieren de excavaciones menos profundas y de un menor número de buzones que el alcantarillado convencional, además de emplear cajas de inspección o de limpieza. La participación del usuario en el mantenimiento del sistema es mínima o nula. El costo de construcción de este sistema es menor que el del alcantarillado convencional.

Azolve. Acumulación de material sólido y sedimentos en las presas, pozos, cajas de captación, etc., los cuales obstruyen el componente.

Otros términos utilizados: **azolvamiento, colmatación.**

Barraje. Muro construido a lo largo del cauce con el objetivo de elevar el nivel del agua del río para poder recolectarla e incorporarla al sistema.

Otros términos utilizados: **presa.**

Brocal. Anillo de protección ubicado en la parte superior del pozo (en sistemas de agua) y/o letrinas (en sistemas de saneamiento), que se emplea para estabilizar las paredes y sostener firmemente la estructura que se apoya en éste. Impide el ingreso de contaminantes y materiales extraños.

Buzones de inspección. Puntos de inspección a lo largo del recorrido de las redes de alcantarillado y colectores.

Otros términos utilizados: **pozos de inspección, pozos de revisión.**

Captación de aguas superficiales. Componente del sistema de abastecimiento de agua de fuente superficial destinado a la captación del agua necesaria para el abastecimiento de la población.

Otros términos utilizados: **captación de quebrada, obras de toma.**

Cárcavas. Zanjas provocadas por la erosión debido al escurrimiento de agua no permanente, como en el caso de lluvias en pendientes pronunciadas. Se caracterizan por la remoción de grandes cantidades de terreno e incremento de la erosión.

Otros términos utilizados: **barrancos, zanjas, hoyas, zanjones, zanjas, huaycos.**

Componente. Parte del sistema que opera independientemente pero está diseñado, construido y operado como parte integral del sistema. Ejemplos de componentes: captación, pozo, línea de conducción, reservorio, etc.

Cunetas de coronación. Canales que se construyen para controlar la erosión del agua sobre el terreno, especialmente en terrenos de mucha pendiente o donde se ha efectuado un corte del terreno para la instalación de alguna estructura (unidad de captación reservorio, etc.).

Otros términos utilizados: **zanjas de coronación, zanjas de recolección de agua de lluvia.**

Deforestación. Pérdida de la cobertura vegetal del suelo producto de la tala excesiva, quema de pastos, etc. Los problemas de erosión son más frecuentes en los terrenos deforestados por la poca resistencia al paso del agua sobre el terreno.

Deslizamiento. Movimiento de terreno deleznable, piedras, lodo debido a la acción de la gravedad, pendiente abajo. Puede darse de manera espontánea, por efecto de un sismo o por el humedecimiento del terreno.

Otros términos utilizados: **alud, huayco, lloclla, mazamorra.**



Emboquillado de piedra. Recubrimiento de la superficie del terreno con mortero y piedra contra la erosión del agua, tanto por la caída o el escurrimiento superficial.

Otros términos utilizados: **mampostería de piedra, enrocado.**

Foso negro o sumidero. Excavación en el terreno recubierta con mampostería, grava y arena, destinada para la disposición de orina, heces y aguas residuales en los sistemas de saneamiento in situ húmedo.

Gaviones. Muros flexibles compuestos por mallas de acero rellenas de rocas. Son muy recomendados para obras de protección de riveras de cauces afectados por socavación lateral de ríos y quebradas.

Lahares. Flujos de lodo, rocas y agua que se originan en las pendientes de los volcanes cuando el agua de lluvia se combina con las rocas y cenizas volcánicas o son inducidos por una erupción.

Mapa comunitario de riesgo. Herramienta para la identificación de los componentes, amenazas y vulnerabilidades de la comunidad y los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento. Para su elaboración es indispensable la participación de los miembros de la comunidad, instituciones y autoridades locales y la coordinación con otros actores importantes (oficinas locales de los sectores salud, vivienda, saneamiento, educación, entre otros).

Manantial. Fuente de agua subterránea que emana a la superficie de forma natural.

Otros términos utilizados: **afloramiento, nacimiento, ojo de agua, puquio.**

Material asfáltico. Material elástico, flexible e impermeable, utilizado para sellar las juntas entre tuberías y muros, especialmente a la salida de reservorios, cajas de captación y otros.

Mortero. Mezcla de cemento, arena y agua usado en albañilería para la construcción de paredes, enlucido y como elemento de unión entre bloques de albañilería, piedras y otros. Dependiendo de la resistencia que se necesite, las proporciones de arena y cemento son variables.

Niple. Fragmento de tubería de pequeña longitud (generalmente menor de medio metro), utilizado para la instalación de acoples o reparaciones de tramos pequeños en las líneas de conducción, aducción o bombeo; y también en la instalación de accesorios.

Otros términos utilizados: **neplo.**

Nivel máximo de inundación. Máximo nivel al que llegan las aguas debido al incremento de lluvias, crecidas de ríos, desbordes u otros, en un determinado lapso (recomendable 50 años). En el medio rural, donde la información documentada suele ser escasa, es posible determinarlo a partir de la información local, utilizando metodologías como los mapas comunitarios de riesgo.

Poliestireno. Material plástico espumado, usado como aislante térmico, acústico y en construcción.

Otros términos utilizados: **teknopor, telgopor, porespan, porexpan, poliexpan, goma espuma o corcho blanco.**

Pozo de absorción. Excavación en el terreno con la finalidad de promover la infiltración del agua residual en el terreno permeable.

Reservorio. Componente destinado al almacenamiento de agua antes de su distribución. Su función es regular las variaciones en el consumo de la población en el transcurso de un día. En los reservorios se realiza generalmente la desinfección del agua.

Otros términos utilizados: **tanque de reserva, almacenamiento, distribución o compensación.**

Sistema de abastecimiento de agua. Conjunto de componentes y actividades destinados a la provisión del servicio de agua potable a una población beneficiaria. Contempla la captación de la fuente, tratamiento (si es necesario), conducción, almacenamiento y distribución.

Otros términos utilizados: **acueducto.**

Socavación. Erosión causada por el agua por debajo de una estructura que produce el asentamiento del terreno, deja la unidad sin apoyo, la desestabiliza y causa daños estructurales.

Sostenibilidad. Mantenimiento de un nivel de servicio aceptable de abastecimiento de agua y saneamiento a lo largo de la vida útil o de diseño de los sistemas. Involucra los aspectos: técnico, social, económico/financiero, ambiental e institucional.

Tanque Imhoff. Unidad para el tratamiento centralizado de aguas residuales. Es una alternativa a las lagunas de estabilización porque se requiere de una menor área para su instalación. Debido a que los procesos de tratamiento son más sensibles, se requiere de un mayor nivel de operación y mantenimiento que en el caso de las lagunas.



Tanque séptico. Unidad para el tratamiento primario de las aguas residuales que combina los procesos de sedimentación y digestión de la materia orgánica. A diferencia de las lagunas y tanques Imhoff el proceso de tratamiento en los tanques sépticos es menor.

Tapa sanitaria. Dispositivo de cierre para el ingreso a pozos, cámaras de captación, cajas rompepresión, reservorios y otros destinados a impedir el ingreso de agua de escorrentía, lluvia y otros contaminantes y para proteger la calidad del agua almacenada en ellos. Son fabricadas de metal y recubiertas con pintura anticorrosiva para brindar mayor protección a la intemperie.

Trinchos. Pequeños muros transversales que se construyen en las cárcavas o quebradas para provocar la sedimentación y reducir la velocidad del agua, y en ciertos casos, para cortar la pendiente del terreno.

Otros términos utilizados: **compuerta, barricada.**

Tubería de rebose. Dispositivo empleado para evacuar el agua de un reservorio, captación, etc., que excede el nivel máximo de almacenamiento.

Vertedero. Estructura hidráulica destinada a permitir el paso, libre o controlado, del escurrimiento del agua superficial.

Otros términos utilizados: **vertedor.**

Bibliografía

- Agüero P., Roger. *Agua potable para poblaciones rurales*. Perú: Asociación de Servicios Educativos Rurales (SER); 1997.
- Argüello, Roberto A.; Jenkins, J. *Vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento en áreas rurales de El Salvador*. El Salvador: Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS); 2003. Disponible en: <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc14590/doc14590.htm>
- Asociación Nicaragüense de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ANISA). *Diagnóstico de la situación de los sistemas de abastecimiento de agua potable en las áreas afectadas por el Huracán Mitch - Informe final*. Nicaragua: Organización Panamericana de la Salud; 2000. Disponible en: <http://www.bvssan.incap.org.gt/bvsade/E/documentos.html>
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES). *Prevención y preparativos frente a huaycos e inundaciones en la cuenca del río Rímac desde la perspectiva municipal (Expedientes técnicos del proyecto)*. Lima, Perú: Centro de Estudios de Prevención y Atención de Desastres (PREDES), ECHO, MPDL; 2002.
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES). *Rehabilitación de pueblos afectados por el FEN 1998 en Piura*. (Expedientes técnicos del proyecto). Lima, Perú: Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES), PROSALUS; 2002.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-OPS/OMS). *Consideraciones para la selección de la opción tecnológica y nivel de servicio en sistemas de abastecimiento de agua*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural; 2006. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatp/e/tecnoapro/documentos/agua/ialgoagua.pdf>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-OPS/OMS). *Algoritmo para la selección de la opción tecnológica y nivel de servicio en saneamiento*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural; 2006. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatp/e/tecnoapro/documentos/sanea/ialgosanea.pdf>

- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-OPS/OMS). *Letrinas en zonas inundables*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural; 2006. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatp/e/tecnoapro/documentos/sanea/157doc-letrinaszonas inundables.pdf>
- Cruz Roja Guatemalteca. *Operación y mantenimiento de sistemas de agua - Módulo educativo*. Guatemala: Cruz Roja Guatemalteca. Unidad Técnica de Agua y Saneamiento; 2002. Disponible en: <http://www.cruzroja.org/salud/redcamp/docs/aguasan-h/Manual-OyM.pdf>
- Departamento de Ciencias Energéticas y Fluidas. *Evaluación de vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua. Comunidad el Morro*. San Salvador, El Salvador: Universidad Centroamericana José Simeón Cañas - Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS); 2002. Disponible en: <http://www.bvssan.incap.org.gt/bvsade/E/documentos.html>
- Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS). *Evaluación de daños y de la calidad de agua de Sololá*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala; 2005.
- Federación Internacional de la Cruz Roja y la Media Luna Roja. *Prevención de desastres en acueductos rurales*. Centro Regional de Referencia en Educación Comunitaria para la Prevención de Desastres; 2006 (sin publicar).
- Hernández, Henry. *Tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Desarrollo Económico, Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS); 2000. Disponible en: <http://www.disaster-info.net/desplazados/documentos/saneamiento01/index.htm>
- Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL). *Reporte de daños en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario (segundo informe)*. Managua, Nicaragua: Gobierno de Nicaragua; 1998. Disponible en: <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc13801/doc13801.htm>
- Oakley, S. *Lagunas de estabilización en Honduras - Manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad*. California, Estados Unidos: Universidad Estatal de California; 2005. Disponible en: <http://www.rrasca.org/pdf/laguna.pdf>

- Ochoa A., Rodolfo. *Lecciones aprendidas en los servicios de agua y saneamiento*. Tegucigalpa: Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS); 2000. Disponible en: <http://www.bvssan.incap.org.gt/bvsade/E/documentos.html>
- Ochoa A., Rodolfo y Rojas, Gladis. *Diagnóstico de los sistemas de abastecimiento de agua y alcantarillado después del Huracán Mitch*. Tegucigalpa, Honduras: Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS); 2002. Disponible en: <http://www.bvssan.incap.org.gt/bvsade/E/documentos.html>
- Organización Panamericana de la Salud. *Impacto del fenómeno El Niño 1997-1998 en la infraestructura de agua y alcantarillado. La experiencia del Ecuador*. Ecuador: Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS); 2000. Disponible en: http://www.crid.or.cr/crid/CD_Agua/pdf/spa/doc14591/doc14591.htm
- Organización Panamericana de la Salud. *Manual para la mitigación de desastres naturales en sistemas rurales de agua potable*. Costa Rica: Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS); 2001. Disponible en: <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc9816/doc9816.htm>
- Organización Panamericana de la Salud. *Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*. Washington DC: Organización Panamericana de la Salud; 1998. Disponible en: <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc10153/doc10153.htm>
- Programa Nacional de Agua Potable. *Obras de reconstrucción de la infraestructura de saneamiento en las ciudades afectadas por el fenómeno El Niño (Recopilación de expedientes técnicos)*. Lima, Perú: Programa Nacional de Agua Potable (PRONAP); 2002.
- PROVIAS Rural. Programa Caminos Rurales. *Manual ambiental para la rehabilitación y mantenimiento de caminos vecinales y de herradura*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Proyecto Especial de Infraestructura y Transporte Rural: 2005, pág. 45-47.
- Proyecto Jalda. *Estudio de validación de desarrollo rural participativo basado en la conservación de suelos y aguas. cartilla 5: zanjas de coronación, cartilla 7: control de cárcavas*. Sucre: Agencia de Recursos Verdes del Japón (J-GREEN); 2003. Disponible en: http://www.green.go.jp/gyoumu/kaigai_s/manual/bolivia/index.html

- Rivera P., José H. *Construcción de trinchos vivos para aguas de escorrentía en bioingeniería tropical andina. Control de la erosión y estabilización de movimientos masales*. Colombia: CIPAV; 2001. Disponible en: http://www.geocities.com/biotropico_andino/cap12.pdf
- Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres (SINPAD). *Daños ocurridos en sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento (Recopilación de bases de datos y fichas técnicas de rehabilitación)*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI); 2006.
- SANBASUR - IMA. *Aprendiendo a conservar el agua y proteger nuestra microcuenca. Manual de capacitación a JASS*. Cusco, Perú: Ministerio de Salud, Gobierno Regional del Cusco, Dirección Regional de Educación; 2005. Disponible en: <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc16422/doc16422.htm>
- SANBASUR - IMA. *Aprendamos a conservar el agua y proteger nuestra microcuenca. Guía del capacitador*. Cusco, Perú: Ministerio de Salud, Gobierno Regional del Cusco, Dirección Regional de Educación; 2005. Disponible en: <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc16423/doc16423.htm>
- Suárez D., Jaime. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Ediciones UIS; 1998.
- Trelles B., Jesús. *Reducción del impacto de los fenómenos sísmicos en la sostenibilidad de los sistemas rurales de abastecimiento de agua potable. Tesis de Ingeniería*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería; 2006.
- USAID. *Methods of Developing of Surface Water - Technical Note N° RWS.1.M - Water for the World*. Washington DC: USAID; 1982. Disponible en: <http://www.lifewater.org/resources/rws1/rws1m.htm>
- Wisner, Ben y Adams, John. *Environmental health in emergencies and disasters. A Practical Guide*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud (OMS); 2002. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/emergencies/emergencies2002/en

Inundaciones, deslizamientos, tormentas, erupciones volcánicas y terremotos son algunos fenómenos que, a lo largo de los años, han causado daños en la infraestructura de los sistemas de agua y saneamiento en el ámbito rural, produciendo el deterioro de la calidad de estos servicios y, por consiguiente, la reducción de los beneficios logrados con su instalación.

El presente documento presenta los principales impactos de los fenómenos naturales en los sistemas rurales de agua y saneamiento y propone medidas para reducir las vulnerabilidades que originan estos daños, con la finalidad de que se incluyan en la planificación, diseño y construcción de esta infraestructura y en los procesos de rehabilitación y/o reconstrucción, cuando los daños ya han sido reportados.

Esta guía didáctica ofrece recomendaciones y soluciones técnicas aplicables con las tecnologías ya existentes, orientadas a la protección de las estructuras físicas, el mantenimiento y la continuidad y calidad de los servicios. Está dirigida a los profesionales y técnicos del sector de agua y saneamiento, personal de operación y mantenimiento de entidades administradoras y proveedoras de los servicios de agua y saneamiento en zonas rurales, así como a las autoridades locales.

Esta publicación puede consultarse en Internet en:
www.paho.org/desastres
www.disasterpublications.info/spanish/



**Organización
Panamericana
de la Salud**

Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud

COMISIÓN EUROPEA



Ayuda Humanitaria

ISBN 978-9976-45-126-7



9 789978 459287