



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.

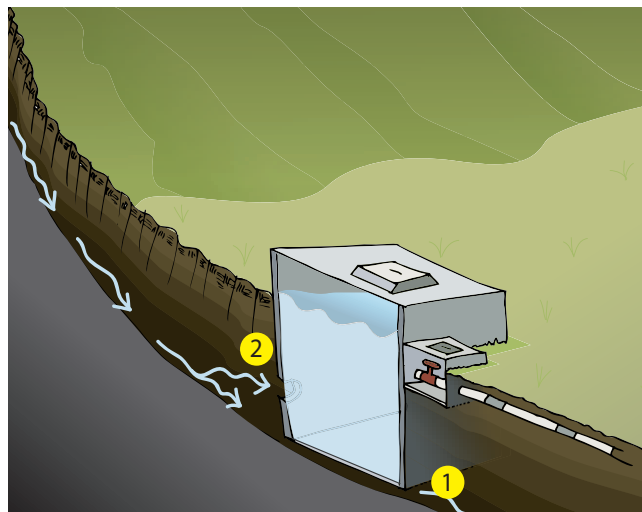


Figura 12
Captación de manantiales.
Problemas en la ubicación
de la unidad

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.

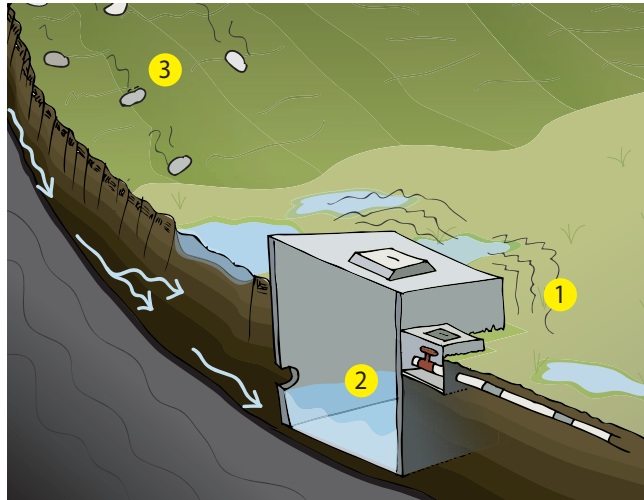


Figura 13
Captación de manantiales.
Daños y causas identificadas

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.

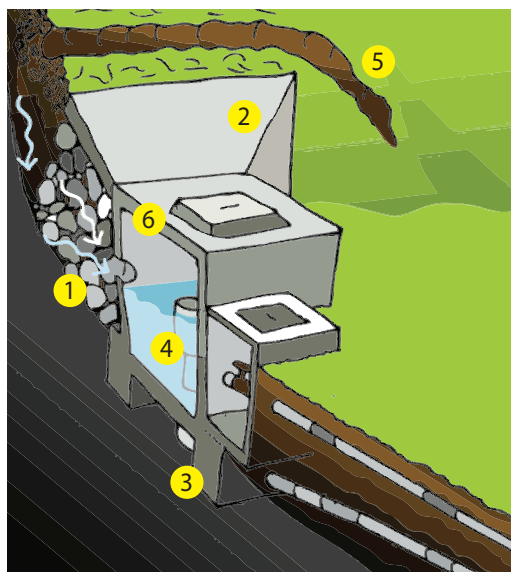


Figura 14
Captación de manantiales.
Propuestas para reducir la vulnerabilidad

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.

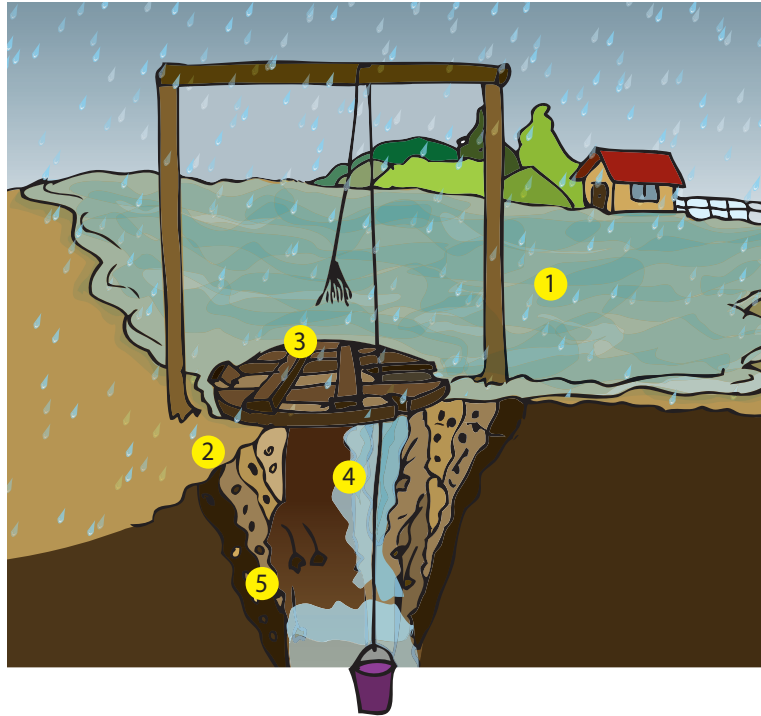


Figura 15
Pozos someros.
Daños por inundación

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.

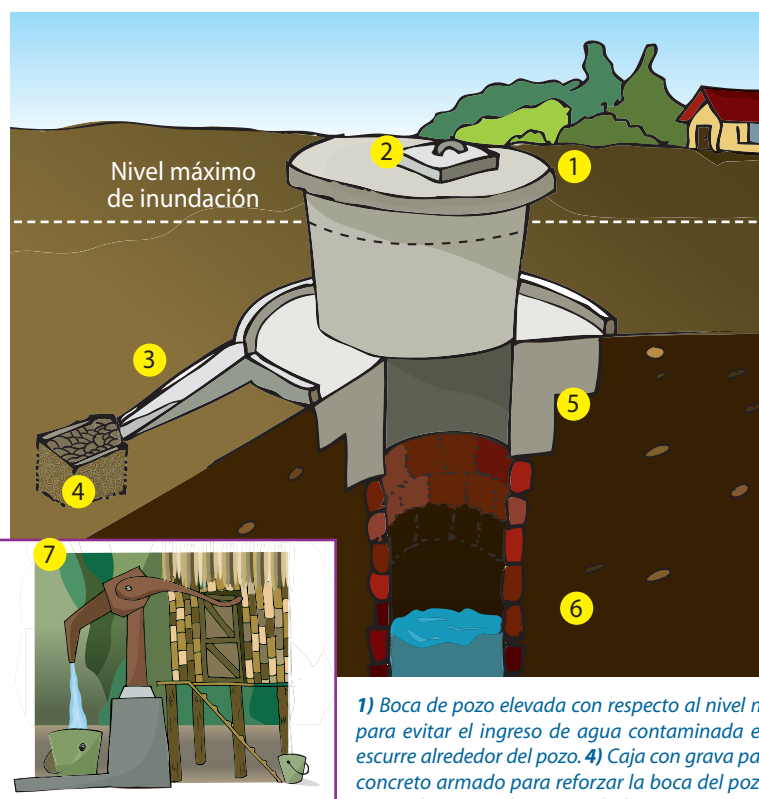


Figura 16
Propuesta para la reducción de la vulnerabilidad en pozos someros

- 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.

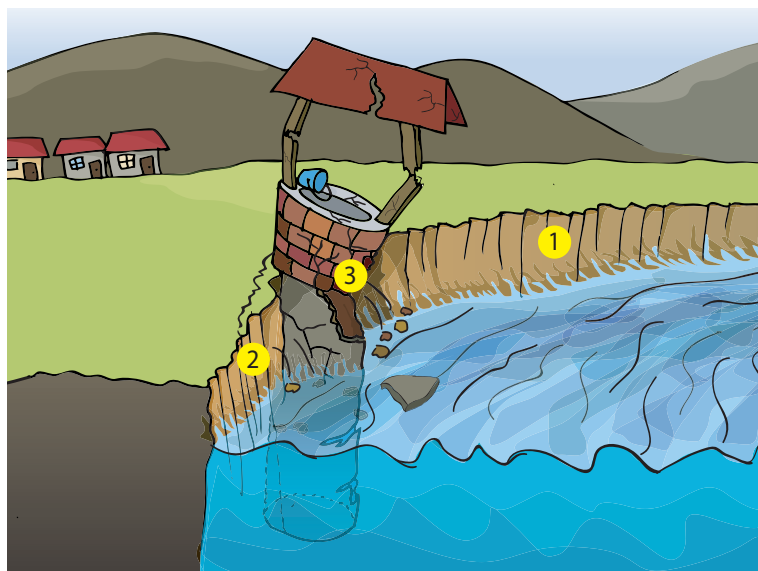


Figura 17
Daños por erosión de pozos en las riberas de los ríos

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.

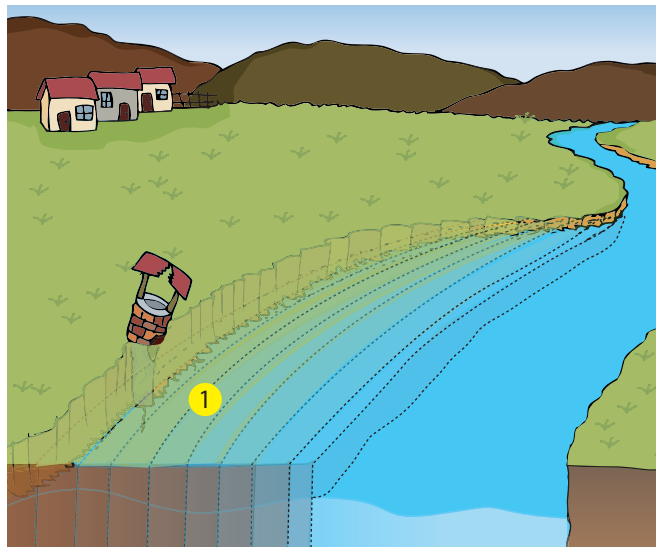


Figura 18
Problemas de ubicación
en la orilla de los ríos

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

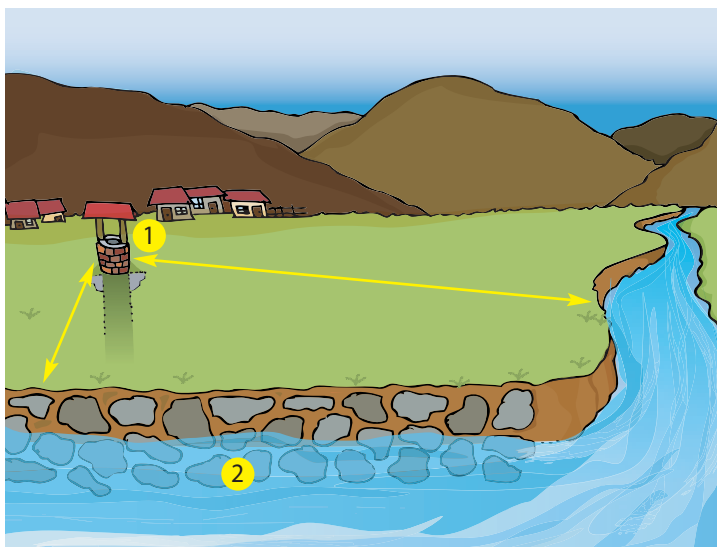


Figura 19
Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

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.