

# Vulnerabilidad de los sistemas de acueductos rurales: cómo identificarla

Vulnerability of rural water systems: how to identify it

Alfonso Navarro-Garro<sup>1</sup>  
Freddy Araya-Rodríguez<sup>2</sup>  
Daniel Pérez-Murillo<sup>3</sup>  
Cristian Moreira-Segura<sup>4</sup>  
Mauricio Estrada-Ugalde<sup>5</sup>

Fecha de recepción: 4 de noviembre del 2012  
Fecha de aprobación: 5 de febrero del 2013

Navarro-Garro, A; Araya-Rodríguez, F;  
Pérez-Murillo, D; Moreira-Segura, C; Estrada-  
Ugalde, M. Vulnerabilidad de los sistemas  
de acueductos rurales: cómo identificarla.  
*Tecnología en Marcha*. Vol. 26, N° 3. Pág 63-74

- 1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Seguridad Laboral e Higiene Ambiental. Costa Rica. Correo electrónico: [alnavarro@itcr.ac.cr](mailto:alnavarro@itcr.ac.cr)
- 2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: [freddyaraya1966@gmail.com](mailto:freddyaraya1966@gmail.com)
- 3 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: [dfperez@gmail.com](mailto:dfperez@gmail.com)
- 4 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: [cristianmoreiras@gmail.com](mailto:cristianmoreiras@gmail.com)
- 5 Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica. Correo electrónico: [mauricioestr@gmail.com](mailto:mauricioestr@gmail.com)

## Palabras clave

Vulnerabilidad; sistemas de acueductos rurales; fenómenos naturales y creados por el ser humano; educación; gestión ambiental

## Resumen

Este análisis tuvo como objetivo determinar la vulnerabilidad de las nacientes y las respectivas zonas de amortiguamiento de 24 sistemas de acueductos rurales de la zona Huetar Norte, específicamente en San Carlos, Costa Rica. Se trabajó con una muestra estadística de organizaciones que suministran el agua de consumo a las comunidades. Estos sistemas son desarrollados y operados por las Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales (ASADAS).

La propuesta evalúa cualitativamente los componentes de varios sistemas de acueductos rurales, los cuales están conformados por nacientes, tanques de almacenamiento y la red de distribución. Para determinar la evaluación de vulnerabilidad se realizó una encuesta entre los miembros de las ASADAS y se tomó en cuenta el estado de la infraestructura de los acueductos. También se realizaron muestreos de agua para determinar las variables de tipo físico-químico y biológico.

El análisis contempló las variables que representan vulnerabilidades para el sistema. Entre las variables creadas por el ser humano se encuentran las relacionadas con el crecimiento agrícola, ganadero y urbano, que afectan de forma directa o indirecta los sistemas e incluso son una amenaza para su buen funcionamiento y permanencia en el tiempo. Otras variables analizadas son las generadas por la misma naturaleza, tal es el caso de sismos, terremotos, vulcanismo, inundaciones y deslizamientos.

Otro de los aspectos analizados fue la educación y la gestión ambiental dentro de las mismas ASADAS. El análisis permitió determinar cualitativamente la vulnerabilidad que representan los fenómenos creados por el ser humano y la naturaleza para los sistemas de acueductos rurales; además, se determinó la ausencia de programas educativos y de gestión ambiental por parte de las ASADAS.

## Key words

Vulnerability; rural water systems; natural and man-made phenomena; education; environmental management

## Abstract

The analysis in this study aims to determine the vulnerability of rural water systems in the area and specifically in Zona Huetar Norte, San Carlos, Costa Rica, where we worked with a statistical sample of organizations that supply drinking water to their communities. The systems are developed and operated by Rural Water Management Boards or ASADAS.

The proposal seeks to qualitatively assess the different components of a rural water system, which is formed by springs, storage tanks and a distribution network. To determine the vulnerability assessment surveys were conducted, applied both to members of the ASADAS as well as the aqueducts infrastructure under study. We also sampled water from different aqueducts, where determined variables of physical-chemical were and biological.

This analysis looked variables, which represent or make the system vulnerable. Within these variables created by humans, growths are agriculture, livestock and urban, which affect directly or indirectly and even systems are a threat to their proper functioning or persistence over time. Other variables analyzed are those generated by the very nature, such is the case of earthquakes, earthquakes, volcanoes, floods and landslide. Another aspect was analyzed, education and environmental management, internal to the ASADAS.

The qualitative analysis revealed the vulnerability representing the phenomena created by man and nature, for rural water systems, as well as determining the absence of any educational program and environmental management by the administrative boards of Rural Water.

## Introducción

Los sistemas de acueductos rurales de la zona norte de Costa Rica, y específicamente del cantón de San Carlos, son vulnerables a los fenómenos creados por el ser humano y la naturaleza. Además, las asociaciones administradoras de los sistemas de acueductos deben valorar los procesos educativos y de gestión ambiental como parte del quehacer de una Junta Administradora de Acueductos Rurales (SIR-ZEE, 2012).

Cualquier sistema de acueducto tiene implícito un nivel de vulnerabilidad, además enfrenta una serie de amenazas, tanto provocadas por el ser humano como por la misma naturaleza. Sin embargo, la vulnerabilidad se torna grave cuando los individuos o la sociedad se exponen sin evaluar las amenazas y sus consecuencias a corto, mediano o largo plazo (Auge, 2004).

Si bien existen amenazas y con ellas vulnerabilidad, es responsabilidad de las ASADAS evaluar dichas variables y buscar su eliminación, reducción o mitigación, de manera tal que no redunden en un problema de contaminación del agua o ausencia de esta, dado que el agua es esencial para la supervivencia del ser humano y las especies vegetales, animales y otros sistemas propios de los suelos, el aire y del agua misma (CATIE, 2009).

La determinación de la vulnerabilidad de los sistemas debido a las causas apuntadas, así como la educación y los procesos de gestión ambiental, hacen ver a la sociedad la necesidad de conservar los diferentes ecosistemas a lo largo del tiempo. Esto quiere decir su desarrollo en un medio ambiente sostenible desde diferentes puntos de vista: económicos, sociales, culturales, tecnológicos, científicos y ecológicos, entre otros, para resolver los problemas de vulnerabilidad de las presentes y futuras generaciones (Mendoza, 2012).

Según estadísticas del informe del Estado de la Nación correspondiente a 2011, la densidad de personas por kilómetro cuadrado era de 90,3; por otro lado, como consecuencia demográfica, los empleos crecieron en un 94%.

Además del crecimiento demográfico, también hubo un crecimiento de la infraestructura en cuanto a vivienda, comercio, industria y otras actividades propias de una sociedad en desarrollo. Entre 1997

y 2011, el sector construcción experimentó un aumento del 65% en los metros cuadrados de construcción a nivel nacional, lo cual conlleva un cambio en el uso del suelo.

En cuanto a la inversión pública, en vivienda se invirtieron 12961 millones de colones en 1990, mientras que para 2011 la suma fue de 428414 millones de colones, sin tener en cuenta el sector privado en cuanto a vivienda, comercio, industria y otras actividades (Estado de la Nación, 2013).

Las provincias con mayor desarrollo de infraestructura fueron San José y Alajuela, con un crecimiento del 17% entre los años 2011 y 2012 (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2013).

Al mismo tiempo, también crecen otros sectores como respuesta a la necesidad de bienes y servicios de la población, tal es el caso de la actividad ganadera, la cual genera un impacto en el medio ambiente, que se muestra en un deterioro en la calidad del recurso hídrico, dado el cambio que se hace en el uso del suelo para la obtención de potreros, establos y los mismos asentamientos humanos (Auquilla, 2005).

Asimismo, también crece el sector agrícola, lo cual conlleva cambios en el uso del suelo, pues se tala el bosque y se deterioran otros recursos naturales como el recurso hídrico, la flora y la fauna. El cambio del uso del suelo y la limitada disponibilidad de este hacen que se generen otros fenómenos sociales, tales como la migración de personas a otras tierras con diferente vocación o uso (Auquilla, 2005).

Para suplir las necesidades ganaderas se recurre a la tala del bosque, lo cual genera otros problemas ambientales, tales como el efecto invernadero y el cambio climático, debido al incremento de gases como monóxido de carbono, dióxido de carbono y óxido de nitrógeno, entre otros. También se registra una pérdida de biodiversidad, como consecuencia del cambio constante en el uso de los suelos.

En la agricultura de la zona Huetar Norte se desarrollan procesos o prácticas de monocultivo que afectan la vida silvestre y el recurso hídrico y causan un desequilibrio general en los recursos naturales. De hecho, la piña es uno de esos monocultivos. En 2002, este cultivo ocupaba un área de 11000 hectáreas y para 2012 aumentó a 45000 hectáreas, es decir, en un periodo de 10 años alcanzó más

de un 300% del área ocupada y sigue aumentando (Vindas, 2012).

Otro de los monocultivos que se desarrollan con fuerza es el de la naranja. El 93% de la producción nacional de naranjas se genera en la zona Huetar Norte (Centro para la Formación Empresarial, 2004).

Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2007), tanto las áreas protegidas como otros espacios naturales igualmente valiosos están gravemente amenazados por el avance de algunas actividades, especialmente las productivas. En este sentido, la principal problemática ambiental de la región tiene que ver con el cambio en el uso del suelo, la deforestación, la degradación de humedales y los incendios forestales.

La metodología que se siguió para llevar a cabo este estudio es la de tipo cualitativo, exploratorio e interpretativo. El estudio del agua, además de la preocupación por su vulnerabilidad, conlleva un interés por las cuestiones éticas, ecológicas, y específicamente por la educación y la gestión ambiental. El auge y la atención social e intelectual a estas cuestiones no solo responde a un interés social o una moda cultural, sino que se trata de demandas sociales urgentes desencadenadas por las constantes situaciones sociales y ambientales, las cuales se toman preocupantes (Nuévalos, 2005).

El método utilizado para determinar la vulnerabilidad de los sistemas y su administración frente a los fenómenos naturales y los creados por el ser humano fue el estudio de la reducción-deterioro de sus diferentes componentes, debido al crecimiento o presión ejercida sobre el sistema de suministro de agua para el consumo humano y su administración. Así, se determina su estado y se analiza si existe una respuesta ante la problemática; además se examinan los aspectos administrativos de las ASADAS.

## Materiales y métodos

Auge (2004) define la vulnerabilidad como “una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales”.

Durante el proceso se hizo un análisis de las ASADAS participantes mediante una encuesta a tres miembros de cada una, para un total de 72 personas entrevistadas. La encuesta contempló los aspectos

de vulnerabilidad percibidos por los entrevistados sobre los diferentes componentes del sistema. Entre las variables utilizadas están los fenómenos naturales y los creados por el ser humano. Las variables relacionadas con los fenómenos naturales incluyen fuertes sismos, terremotos, inundaciones, deslizamientos y actividad volcánica; mientras que entre las relacionadas con el ser humano están la agricultura, la ganadería y el crecimiento urbano.

El análisis de la vulnerabilidad contempla las nacientes de agua para el consumo humano, así como su almacenamiento previo al suministro en tanques y la misma red de distribución para los usuarios. También se analizan los aspectos administrativos de las organizaciones responsables de suministrar el agua para consumo humano.

Para desarrollar el estudio sobre la vulnerabilidad de los sistemas de suministro de agua para el consumo humano, se tomó una muestra estadística aplicando el método de muestra sin ajustar ( $n'$ ):

$$n' = \frac{S^2}{V^2}$$

Donde:

$n'$  = Muestra sin ajustar

$S^2$  = Varianza de la muestra

$V^2$  = Varianza de la población

$S^2$  Varianza de la Muestra, es la probabilidad de ocurrencia esperada de la variable que se pretende medir:

Así tenemos que:  $S^2 = p(1 - p)$  tal que  $p$  = probabilidad de ocurrencia, si la misma es estimada en un 95%  $p = 0,95$ , sustituimos los valores en consecuencia y así sucesivamente.

$V^2$  Varianza de la Población, es el margen de error estándar con el que se quiere trabajar para proyectar los resultados.

La muestra es una proporción de los 220 acueductos de la zona norte de San Carlos, correspondiente a una muestra de 17 ASADAS, sin embargo, al momento de socializar la propuesta ante dichas organizaciones, un total de 24 ASADAS solicitan participar en el proyecto y con ellas se desarrolla el estudio. La población en estudio comprende un promedio de 86130 habitantes, los cuales hacen uso de los servicios brindados por las diferentes administraciones de los acueductos rurales.

En cuanto a los fenómenos naturales, se evaluaron aspectos tales como terremotos, vulcanismo, inundación y deslizamiento, que en épocas pasadas y recientes afectaron las zonas de amortiguamiento en donde se encuentran las nacientes de agua para el sistema de abastecimiento de las comunidades participantes en el proyecto.

Para la variable riesgo y vulnerabilidad por fenómenos creados por el ser humano se analizaron los procesos de la agricultura, la ganadería y el urbanismo que pudieran estar afectando las nacientes, por su cercanía a estos sistemas o por la ocupación de suelos y bosques, reduciendo las zonas de protección. También se sometieron a análisis de laboratorio una serie de muestras de agua con el fin de determinar aspectos de contaminación fecal, la cual tiene relación con la reducción de las zonas de amortiguamiento y la misma contaminación por desechos orgánicos. También se analizaron temas de educación y gestión ambiental, además de otras variables como administración, aspectos sociales y datos generales de la ASADA. Antes de hacer uso del instrumento, se validó con un grupo de ASADAS diferentes a las del estudio.

La entrevista estructurada se probó en acueductos rurales similares de la zona sur de Costa Rica (Paso Real, Boruca, Palmar Sur, Uvita, San Buena y Sierpe, entre otros). El instrumento cuenta con 65 preguntas desarrolladas en 10 subtemas, relacionados con los aspectos humanos y propios de la naturaleza que generan vulnerabilidad a los sistemas de acueductos.

La primera etapa contiene una breve explicación del objeto del estudio. En la segunda etapa se recolectó la información de la ASADA (nombre, dirección, teléfonos, correo electrónico, presidente de cada organización, etc.) Asimismo, se trataron los mencionados aspectos de fenómenos naturales que en el pasado afectaron las nacientes, los sistemas de almacenamiento y las redes de distribución.

También se analizan aspectos como los fuertes vientos y la caída de árboles, que pueden afectar los diferentes sistemas de los acueductos.

En cuanto a la infraestructura, se analizan las condiciones físicas de nacientes, tanques de almacenamiento y redes de distribución, tomando en cuenta el estado de los sistemas, tales como

las paredes de los tanques, las tapas tubería y las válvulas para el manejo del suministro del agua.

Otros temas abordados incluyen la cantidad de abonados por ASADA, la morosidad por falta de pago de estos, el tipo de administración con que opera cada organización y la forma de desarrollar sus proyectos, tanto administrativos, como ambientales y de educación para la protección del recurso hídrico.

## Resultados

Se determinó que la vulnerabilidad es el resultado de las deficiencias que se encontraron en el sistema de captación, ubicado en las zonas de amortiguamiento. Si bien el sistema está compuesto por las nacientes, los tanques de almacenamiento, la red de distribución y la administración de todo el sistema por parte de las ASADAS, la vulnerabilidad se encuentra en las nacientes ubicadas en las zonas de amortiguamiento.

En cuanto al muestreo y análisis del agua, se realizaron pruebas físicoquímicas y biológicas a nivel de laboratorio, aplicando métodos validados para dichas pruebas. De un total de 353 muestras de agua, 74 resultaron con coliformes fecales totales, lo cual supera los límites permitidos para el agua de consumo humano. El 21% de las muestras mostró coliformes fecales totales (ver Cuadro 1).

Los parámetros físicoquímicos se encuentran dentro de los estándares establecidos para el agua de consumo humano. Solamente en un acueducto se detectó presencia de arsénico en concentraciones

Cuadro 1. Coliformes fecales totales determinados en 6 diferentes muestreos entre 2009-2011

Número de muestras	Número de muestras con coliformes	Porcentaje de muestras contaminadas
47	28	60
51	7	14
66	17	26
68	8	12
48	5	11
73	9	13

Fuente: Navarro 2012

superiores al estándar para la calidad del agua de consumo humano.

Posteriormente al muestreo de las aguas, se determinaron las principales causas del mayor consumo, entre las cuales se encuentra el crecimiento urbano, el regadío de terrenos, el desperdicio desmedido del agua y el mayor desarrollo industrial.

En cuanto al crecimiento urbano, el 40% de los encuestados manifestó que es el factor más relevante, seguido por el aumento de la población, el regadío de terrenos y el crecimiento industrial. Los entrevistados manifestaron que estos aspectos son los principales causantes del mayor consumo de agua (ver figura 1). Según el informe del Estado de la Nación (2011), la densidad de la población costarricense ha aumentado paulatinamente. Para 1990 la densidad era de 59,8 habitantes por km<sup>2</sup>, para 2011 se incrementó a 90,3 personas por km<sup>2</sup>. Este mismo crecimiento ha permitido que los empleos pasen de ser 52 631 en 1994 a un total de 102 274 para finales de 2011.

Así como se determina un crecimiento demográfico y de empleos en la sociedad, también se ha experimentado un crecimiento en la infraestructura, tanto urbana como rural, para satisfacer las necesidades de la población creciente y demandante de los mismos recursos naturales para su supervivencia. El aspecto de la infraestructura contempla la construcción de vivienda, instalaciones comerciales, oficinas, industrias y otras instalaciones o locales para suplir las necesidades de la sociedad.

Para 1997, los metros cuadrados de construcción registrados a nivel de municipalidades fueron 1 759 721 m<sup>2</sup>, ya para 2011 se reportó un total de 2 909 211 m<sup>2</sup>. Esta situación no solo muestra las necesidades de una sociedad creciente demográficamente, también hace ver la utilización de otros espacios e incluso la modificación del uso del suelo. Este crecimiento también hace resaltar la inversión en el sector público, en donde el estado invierte fondos por un monto de 12 961 millones de colones en el año 1990 y una inversión de 428 414 millones para 2011. Estos últimos datos reflejan la inversión estatal en cuanto a crecimiento urbano; sin dejar de lado el sector privado, que también hace su gran aporte en el resto de sectores, como el comercio, industria y otros, que incluso supera estas cifras (Estado de la Nación, 2013).

Por otro lado, el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2013) reporta durante los años 2011 y 2012 un total de 2 109 853 m<sup>2</sup> en la provincia de San José y 1 483 113 m<sup>2</sup> en la provincia de Alajuela; en esta última se encuentra buena parte de la Región Huetar Norte. Este desarrollo representó un crecimiento del 17% en los años mencionados.

En cuanto al tipo de obra, en su mayoría corresponden a vivienda, con 2916 144 m<sup>2</sup>, con un crecimiento del 15% respecto al año anterior (2011). Este tipo de infraestructura se desarrolla principalmente en San José, Alajuela, Heredia y en menor escala en el resto de las provincias (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2013).

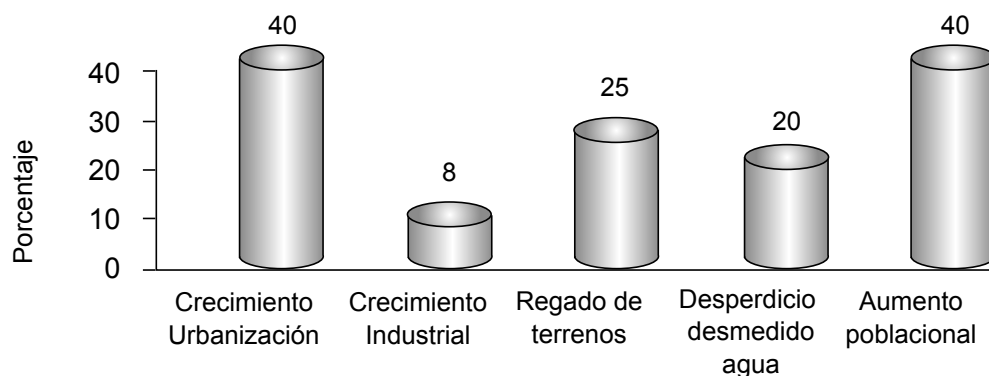


Figura 1. Principales causas de mayor consumo de agua, Junio 2012.

Fuente: Navarro, 2012.



Costa Rica no solo muestra un crecimiento urbano con infraestructura, también se percibe que ha llegado a la etapa de territorio concluido, en donde no hay zonas baldías, abiertas a la colonización y protegidas del impacto de las actividades económicas, así como sociales. Por tanto, el desempeño ambiental del país va estar en función de administrar el cambio social y sus contingencias ambientales (*La Nación*, 2013).

Así como el crecimiento urbano genera cambios en el uso del suelo, también lo hace el sector ganadero, el cual suma el impacto al ambiente y a las zonas de amortiguamiento de las nacientes de agua para consumo humano. Un estudio realizado en la subcuenca del río Jabonal en Esparza relacionó la calidad del agua y el uso del suelo dedicado a la ganadería, mediante el monitoreo de ocho quebradas en sus nacientes y un bosque primario. El resultado de la investigación confirmó la contaminación del agua por el cambio del uso del suelo en las fincas ganaderas, siendo los potreros, establos y asentamientos humanos los que más contribuyeron a la problemática (Auquilla, 2005).

Además del crecimiento urbano y la ganadería, la agricultura es otra actividad que genera deterioro a nivel del bosque y las zonas de protección del agua de las nacientes utilizadas para el consumo humano. La limitada disponibilidad de suelos para la agricultura mecanizada, así como el crecimiento urbano, han provocado migraciones espontáneas hacia otras tierras con vocación agrícola, generando una tala indiscriminada de bosque desde la década de 1950 hasta nuestros días. Esta ha contribuido directamente a la degradación de los suelos, el agua y en general de la biodiversidad, tanto en las faldas montañosas como en los valles intermontanos (Auquilla, 2005).

Según Morera (2013), la destrucción de los bosques es causa de gran preocupación por las siguientes tres razones: la primera es que la destrucción de los bosques libera 25-30% anual de monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrato y otros gases que contribuyen al efecto invernadero, los cuales recalientan el globo terráqueo. En segundo lugar, hay una gran pérdida de biodiversidad como consecuencia del cambio constante en el uso del suelo. La tercera razón es la degradación del suelo por la erosión, la destrucción de la fertilidad y la invasión urbana e industrial.

La agricultura de monocultivo es otra actividad que no solo altera la condición del suelo en sí sino que afecta su uso, y con ello el bosque y las zonas de protección del recurso hídrico (Vindas, 2012).

A continuación, se dan las cifras del crecimiento en el área del sector de la piña en Costa Rica. Para el año 2002 se sembraban 11 000 ha y para 2012, 45 000 ha, empleando directamente un total de 27 000 trabajadores. El 99% de la producción se destina a la exportación, quedando solamente un 1% para el consumo interno (Vindas, 2012).

Por otro lado, en la región Huetar Norte también se cultiva el 93% de toda la naranja que se produce en el país. En cuanto a la superficie cultivada con este cítrico, en el año 1995 se destinaban 22 000 ha y para 2003, 26 000 ha (Centro para la Formación Empresarial, 2004).

A continuación, se presenta un gráfico con cada una de las variables analizadas, como parte del resultado de las respuestas de los encuestados, representada porcentualmente, según cada una de las variables tratadas.

En cuanto a la calidad del agua, el 72% de los administradores de los sistemas consideran que no es potable, como indica la figura 2.

Otra serie de aspectos analizados durante el proceso fueron la afectación de eventos naturales tales como fuertes lluvias, vientos, inundaciones y deslizamientos, los cuales generaron daños en los sistemas de captación de agua, así como en tanques de almacenamiento o en la red de distribución. Lo anterior no solamente debido a deslizamientos o al aumento de los caudales de agua en los ríos, también se da la caída de árboles sobre la infraestructura, dañándola. Al igual que se identificaron daños por eventos hidrometeorológicos, también los hubo de tipo tectónico, como fuertes sismos, terremotos. Los de origen volcánico generaron sismos y lluvia de cenizas y lluvia ácida.

En la figura 3 se presenta la caída de árboles a un lado de una naciente, situación que también es probable que suceda con los deslizamientos de terrenos o bien una inundación que afecte el sistema de captación de agua para el consumo humano, dado que las fuentes o captaciones se encuentran en pendientes y áreas altas con el fin de aprovechar la gravedad. Dicha condición genera vulnerabilidad de los sistemas.

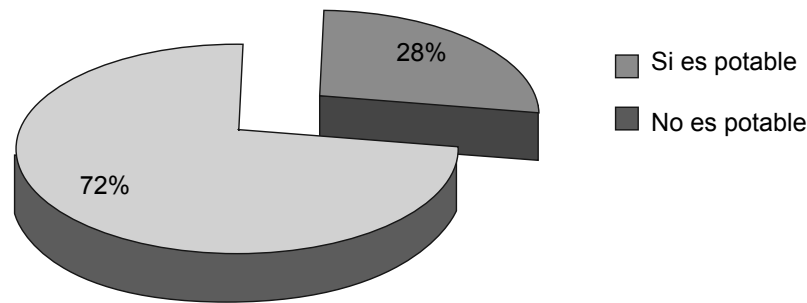


Figura 2. Proporción de individuos que consideran que el agua es potable. Junio 2012. Fuente: Navarro, 2012.



Figura 3. Caída de árboles al lado de una naciente. Fuente: Navarro, 2012.

También se identificaron factores ocasionados por el ser humano. Dentro de estas variables se determinó el mal uso del agua y la falta de protección de los sistemas para evitar el ingreso de fauna silvestre o animales domesticados, los cuales contaminan el recurso. Otros aspectos identificados fueron los generados por la agricultura y la ganadería.

Existen otras deficiencias que son ocasionadas por el ser humano, pero estas se dan como parte de la administración de los sistemas de acueductos, tal es el caso del tipo de captación y la ausencia total de tratamiento del agua o de cloración en la mayoría de los sistemas. Además, las aguas residuales se vierten al medio ambiente sin ningún tipo de tratamiento, causando la contaminación de otros cuerpos de agua.

El factor humano tiene mucha influencia sobre los acueductos rurales, por la forma en que se

administra el recurso hídrico. Por ejemplo, no se le da un adecuado mantenimiento a la infraestructura del sistema.

Un aspecto relevante en el proceso de evaluación es la ausencia de programas de gestión ambiental, ya que la totalidad de las administraciones de los acueductos rurales participantes en la investigación no cuenta con este tipo de programas. En el cuadro 2 se detallan los porcentajes en que se registraron las diferentes variables mencionadas.

## Discusión

Al abordar el tema de la vulnerabilidad de los sistemas de acueductos rurales para la zona norte de San Carlos, vemos que no existe una relación entre la producción o crecimiento de estos sistemas y las demandas constantes del servicio de agua potable para las actividades humanas. Los acueductos rurales tienen una antigüedad promedio de 24 años; no fueron diseñados para la demanda moderna actual, que es acelerada y en grandes volúmenes. Esta condición genera la vulnerabilidad del sistema en sí, dado que no responde a una necesidad actual de crecimiento.

El crecimiento urbano y el aumento poblacional son dos variables que demandan grandes cantidades de agua, haciendo que los acueductos se tornen deficitarios, no solo por los volúmenes reducidos de agua producida sino por la antigüedad del sistema, el cual presenta constantemente fallas de diversa naturaleza o presenta una capacidad que no satisface la creciente demanda.

Una de las amenazas de alto impacto en cuando a la vulnerabilidad del sistema es la presencia de



contaminación fecal en el 21% de las muestras analizadas de los acueductos en estudio. Pero también existen otras variables que suman y vuelven los sistemas más vulnerables, como es el caso de la degradación de los recursos hídricos y sus áreas de protección, que se ven reducidos cada día por el crecimiento urbano, agrícola y ganadero (Arias, 2011).

En el año 2010 se evalúa la potabilidad del agua suministrada por 1067 ASADAS, de las cuales el 56,4% (602) ofrecen agua potable y el restante 43,7% (465) ofrecen agua no potable, teniendo en cuenta que se evalúa la potabilidad desde la perspectiva microbiológica y específicamente para determinar la presencia de coliformes fecales (Áreas, 2011).

Debe tenerse en cuenta que la potabilización de agua en un sistema se evalúa en función de procesos de desinfección y la presencia o no de coliformes fecales, sin considerar otras variables como metales pesados u otros contaminantes diferentes a los biológicos (Áreas, 2011).

Las variables que se analizan a continuación están dadas según el porcentaje de cada una de ellas, es decir, el porcentaje resultante es por variable, en donde hay dos proporciones, la que se da y la que no se da según cada rubro evaluado.

Otra de las variables analizadas son las fuertes lluvias, dado que en un 20% de los sistemas han experimentado daños por esta causa; además, las lluvias causan deslizamientos del terreno, así como la caída de árboles sobre las nacientes, los tanques de almacenamiento y la red de distribución.

El mal uso del agua por parte de los usuarios es otra de las variables y representa el 80%.

Además, se encontró que el 84% de las captaciones es superficial, es decir, el recurso es captado a cielo abierto, quedando las fuentes expuestas al tránsito de animales tanto silvestres como domésticos e incluso de personas, lo cual conlleva la posibilidad de contaminación del agua.

Los sistemas se tornan vulnerables a la contaminación no solo de tipo biológico sino también químico, debido a la creciente actividad agrícola y ganadera en

Cuadro 2. Deficiencias determinadas en los sistemas de los acueductos en estudio. Junio 2012.

Vulnerabilidad de los sistemas por	Porcentaje
Problemas con el sistema por fuertes lluvias	20
Mal uso del agua por parte de la población	80
Captación de aguas superficiales	84
Aguas superficiales sin ningún tipo de tratamiento	56
Deslizamientos de suelos en las nacientes	32
Deslizamientos de suelos en los tanques de almacenamiento	48
Sistemas sin protección ante el ingreso de animales	32
Sistemas sin tratamiento de agua (cloración)	92
Aguas residuales sin tratamiento que contaminan otras aguas	84
Sistemas de captación que requieren mejoramiento	72
Ausencia de programas de gestión ambiental	100
Fallas tectónicas en los sistemas de acueductos	25
Daños causados por terremotos o sismos	14
Inundación de los sistemas de acueductos	22
Sistemas de acueductos afectados por fuertes vientos	30
Contaminación de fuentes por agricultura, ganadería y urbanismo	15
Mantenimiento deficiente	23
Sistemas de acueductos afectados por vulcanismo	14

Fuente: Navarro, 2012.

las cercanías de los acueductos. De hecho, las mismas ASADAS catalogan el agua como un producto que puede estar expuesto a la contaminación. Los sistemas, en sus nacientes y en los mismos tanques de almacenamiento, no cuentan con mecanismos de protección para impedir el acceso tanto de animales como de microorganismos y personas.

En cuanto al tratamiento del agua para eliminar la contaminación orgánica o por microorganismos, como la bacteria del tipo coli y otras, el 92% de los sistemas no cuenta con ningún tipo de tratamiento, como por ejemplo, la cloración.

El estudio de vulnerabilidad por las variables definidas (ganadería, agricultura, urbanismo, vulcanismo, sismos, inundaciones y deslizamientos) también deja en evidencia que hay otra variable no abordada en el estudio, como es la disposición final al medio ambiente de aguas residuales de pilas y baños sin ningún tipo de tratamiento, lo cual genera vulnerabilidad en los sistemas de agua para el consumo humano.

Esta situación se registra en el 100% de los usuarios de las ASADAS participantes en el estudio. Solamente se tratan las aguas grises de los servicios sanitarios, mediante tanques sépticos. Pero estos tanques sépticos y sus aguas ya saturan los centros de población urbana y reflejan otro problema de contaminación del medio ambiente y del mismo recurso hídrico.

En Costa Rica solo el 3,6% de la población cuenta con un tratamiento adecuado de las aguas residuales (Áreas, 2011).

Todas estas aguas, eliminadas de una u otra forma, discurren a otros cuerpos de agua, como pequeños ríos, los cuales a su vez descargan en otros más grandes y estos a los mares y lagos, generando un problema de contaminación a otros niveles. Una buena parte de las aguas dispuestas al medio ambiente no cuenta con tratamiento alguno, infiltrándose en la superficie.

Otro fenómeno que impacta los acueductos de tipo natural, propio de la zona, es la actividad volcánica, que ha generado lluvia ácida, cenizas y movimientos sísmicos.

El análisis realizado de los diferentes acueductos rurales determinó que ninguna de las ASADAS en estudio cuenta con un programa de gestión

ambiental. Tampoco existen actividades educativas de formación, información y capacitación que permitan generar valores, actitudes y comportamientos de protección ambiental y en este caso particular de protección del recurso hídrico.

El Cuadro 2 presenta las evidencias porcentuales de cada ítem consultado y analizado al 100% en las ASADAS en estudio. El resultado de cada ítem es el porcentaje de una condición desfavorable o favorable que determina la vulnerabilidad o la deficiencia del sistema. Por ejemplo, "Agua superficial sin ningún tipo de tratamiento = 56%". Esta condición nos indica que los sistemas son deficientes en cuanto al tratamiento del agua de consumo en un 56% y el restante 44% sí tienen alguna forma de tratamiento del agua para el consumo humano.

## Conclusiones

Está claro que las distintas actividades humanas (agricultura, ganadería y el mismo crecimiento de la población y los procesos urbanos) afectan los recursos naturales. El incremento en la intensidad de dichas actividades sin medidas de control hace que los sistemas de acueductos rurales administrados por las ASADAS sean vulnerables y corran el riesgo de ser impactados más gravemente cada día.

El estudio determinó que la administración de los sistemas de acueductos rurales es deficiente y vulnerable, dado que no cuentan con captaciones protegidas de las diferentes actividades humanas. También son vulnerables porque no cuentan con tratamientos básicos, como la filtración física de las aguas o su cloración. El mantenimiento de los sistemas es deficiente y deja en riesgo a los usuarios del servicio.

Si bien hay deficiencias a nivel del desarrollo y operación de los sistemas, también los usuarios contribuyen a su vulnerabilidad, dado el uso desmedido que hacen del agua. Un aspecto evidente del problema es la eliminación de las aguas residuales de pilas y baños al medio ambiente, sin previo tratamiento, generando aun mayor vulnerabilidad.

En cuanto a los fenómenos hidrometeorológicos, se constató que son muy frecuentes en la zona; siempre están presentes los fuertes vientos, las lluvias y con ellos las inundaciones y los deslizamientos de suelos. Todo este proceso propio de la naturaleza,

al igual que la actividad volcánica y los sismos, hace que los sistemas de acueductos sean vulnerables y se vean afectados en cualquier momento.

También queda en evidencia que no existen programas de gestión ambiental, lo cual hace que los ciudadanos no se preocupen por las futuras generaciones, haciéndolas aun más vulnerables que las presentes.

Los aspectos que más vulnerabilidad generan en los sistemas de acueductos rurales analizados son: el alto porcentaje de sistemas sin tratamiento básico del agua suministrada a la población, el mal uso del agua por parte del abonado, captaciones superficiales, deslizamientos en los sistemas de captación y almacenamiento, alto nivel de deterioro de los sistemas de captación por no contar con mantenimiento o por su antigüedad, la eliminación inadecuada de las aguas residuales a otros cuerpos de agua (ríos y quebradas) y la presencia permanente de coliformes fecales en los muestreos de las aguas.

La vulnerabilidad de los sistemas se pudo determinar con la ayuda de encuestas realizadas a diferentes miembros de las ASADAS y la evaluación física de los componentes de cada acueducto (nacientes, tanques de almacenamiento y red de distribución). El análisis del aspecto administrativo se hizo en base a las encuestas, tanto a miembros de las Juntas Administradoras (Presidente, Secretario, Tesorero y otros) como a otros integrantes de la organización (secretarias, fontaneros, etc.).

## Agradecimientos

A los miembros de ASADAS participantes en el proyecto y a todos los operadores de sistemas de acueductos rurales, por su ayuda y colaboración desinteresada durante el periodo en que se recolectaron los datos y la información requerida para la investigación.

A las secretarias de las ASADAS, por su colaboración y aporte a la información requerida para el desarrollo del proyecto.

## Bibliografía

Andrade, L. (2002). Territorio y Ganadería en la Patagonia Argentina Desertificación y Rentabilidad en la Meseta Central de San Cruz. Redalyc III. Obtenido desde

<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=11112309>

Arias, L. (2011). *Sector Agua Potable y Saneamiento*. No. XVII. San José: Consejo Nacional de Rectores.

Auge, M. (2004). *Vulnerabilidad de Acuíferos. Conceptos y Métodos*. No. 1. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Aquilla, R. (2005). *Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica*. No. 1. Turrialba: CATIE.

Barrantes, R. (2008). *Investigación Un Camino al Conocimiento*. 1 ed. San José: UNED.

Castro, G. (2009). *Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales*. 28 ed. México: Carlos Vicente y otros.

Centro para la Formación Empresarial (2004). *Perfil de Producto Naranja 2004*. Obtenido el 12 de marzo de 2013 desde <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000142.pdf>

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2013, 11 de marzo). Obtenido desde <http://www.cfia.or.cr/noticias.htm>

Comisión Nacional de Emergencias (2012, 3 de noviembre). *Amenazas naturales cantón de San Carlos*. Obtenido desde <http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/sancarlos.htm>

Estado de la Nación (2013, 11 de marzo). *Estadísticas sociales*. Obtenido desde <http://www.estadonacion.or.cr/estadisticas/costa-rica/compendio-estadistico/estadisticas-sociales>

Hahn, H. (2003). *Manejo Integral del Riesgo por Comunidades y Gobiernos*. Obtenido el 1 de octubre de 2011 desde <http://www.gtz.de/de/dokumente/es-informe-componente-iii.pdf>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2007). *Dinámicas Territoriales en la Zona Norte de Costa Rica*. Obtenido el 12 de marzo de 2013 desde <http://www.iica.int/Esp/regiones/central/cr/Publicaciones%20Oficina%20Costa%20Rica/Dinamicas-Zona-Norte.pdf>

La Nación (2013, 11 de marzo). *Resumen del sexto informe sobre el Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. Altibajos en la gestión ambiental. Obtenido el 11 de marzo de 2013 desde [http://www.nacion.com/ln\\_ee/2000/octubre/24/cap4.html](http://www.nacion.com/ln_ee/2000/octubre/24/cap4.html)

Manson, R. (2004). *Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México*. Redalyc 10, 3-20.

Mendoza, M. (2008). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano; aplicación y determinación de medidas de adaptación en la subcuenca del río Copán, Honduras*. No. 1. Turrialba: CATIE.

Morera, J. (2013). *Agricultura, recursos naturales, medio ambiente y desarrollo sostenible en Costa Rica*. Obtenido el 11 de marzo de 2013 desde [http://www.mag.go.cr/rev\\_mesov11n01\\_179.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_mesov11n01_179.pdf)

Riojas, C. (2001). *Reseña de El Agua y su Historia. México y sus desafíos hacia el siglo XXI*. Redalyc 13. Obtenido desde <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=13602509>

Rosales, E. (2012). Conocimientos y valores ambientales que caracterizan la práctica educativa de los docentes de la Escuela Técnica Policial (PM) Comisario "Eduardo Meza Istúriz". *Revista Universitaria de Investigación y Diálogo Académico* 7, 110, 122.

SIR-ZEE (2012, 2 de julio). SIRZEE: *Información digital para el desarrollo económico*.

Sosa, G. & Jiménez, F. (2010). Fuentes de agua para consumo humano en la microcuenca La Soledad, Honduras. Caracterización de los acueductos y evaluación de prácticas agrosilvopecuarias. *Recursos Naturales*

y *Ambiente* 60. Obtenido desde [http://www.catie.ac.cr/BancoConocimiento/R/revistas\\_rna\\_56-57\\_articulo\\_12/revistas\\_rna\\_56-57\\_articulo\\_12.asp?CodIdioma=ESP](http://www.catie.ac.cr/BancoConocimiento/R/revistas_rna_56-57_articulo_12/revistas_rna_56-57_articulo_12.asp?CodIdioma=ESP)

Vega, E. & Vega, M. (2005). *Vulnerabilidad ante desastres naturales. Cómo actuar?* No. 1. San José: Universidad de Costa Rica.

Vindas, L. (2012). Si el mercado está pidiendo más piña, pues sembramos más piña. *El Financiero*. Obtenido el 11 de marzo de 2013 desde [http://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/mercado-pidiendo-pinna\\_0\\_158384169.html](http://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/mercado-pidiendo-pinna_0_158384169.html)