

Los costos sociales de la contaminación hídrica en la microcuenca del río Las Cañas

The social costs of water pollution in the microbasin of Las Cañas River

José Ricardo Calles-Hernández¹

Investigador asociado de la Utec

ricalher@gmail.com

Recibido: 05/03/2015 - Aceptado: 20/06/2015

Resumen

El comportamiento de la morbilidad por IRC en la microcuenca del río Las Cañas se explica, al menos en un 50 %, por factores ambientales como la concentración de nitrógeno (nitrato y nitrito) en las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano y al caudal de vertido evidenciado en los municipios de Apopa, Soyapango y Tonacatepeque. No obstante, la relación entre las concentraciones de sustancias (químicas y orgánicas) y la morbilidad por insuficiencia renal crónica (IRC) es explicada, en un 95 %, cuando se asocian variables relacionadas con la edad y el consumo de agua de la población afectada. El costo social de la morbilidad por IRC, atribuible a la concentración de sustancias contaminantes identificadas en las fuentes de agua para abastecimiento para consumo humano analizadas en los municipios antes referidos equivale a US\$271.870.272.60 por año.

Palabras clave

Valoración económica, servicio ecosistémico, gestión hídrica.

Abstract

In at least 50% of cases, the ESRD morbidity in Las Cañas River microbasin is explained by environmental factors such as the concentration of nitrogen (nitrate and nitrite) in sources of water for human consumption, and the discharge rate evidenced in the municipalities of Apopa, Soyapango and Tonacatepeque.

However, the relationship between the concentrations of (chemical and organic) substances and end-stage renal disease (ESRD) morbidity is explained, 95% of the time, by the association of age-related variables and water consumption of the affected population. The social cost of ESRD morbidity attributable to the concentration of pollutants identified in water sources is equivalent to US \$ 271.870.272.60 per year.

Keywords

Economic assessment, ecosystemic service, water management.

¹ Ingeniero agrónomo, investigador asociado de la Universidad Tecnológica de El Salvador, en la Dirección de Investigaciones. Correo electrónico ricalher@gmail.com

Introducción

Los recursos naturales del área metropolitana de San Salvador (AMSS) están sometidos a diferentes presiones antrópicas, como son el manejo inadecuado de desechos sólidos, el vertido de aguas residuales (sin previo tratamiento), la expansión de áreas para el desarrollo urbano en zonas ocupadas por ecosistemas de gran valor desde el punto de vista ecológico (bosque, cafetal y agro-ecosistemas), entre otras presiones.

Un territorio estratégico desde el punto de vista económico y comercial, localizado dentro del AMSS, es la microcuenca del río Las Cañas, ya que allí se realizan actividades industriales y comerciales bastante importantes a escala nacional; asimismo, posee un alto potencial agrológico y áreas con una buena capacidad de infiltración hídrica. En ella, aún se localizan espacios naturales con vegetación forestal que delimitan áreas en donde se desarrollan actividades agropecuarias, como la siembra de granos básicos y pastos naturales.

No obstante, las presiones antrópicas han generado efectos negativos sobre la calidad del agua en la microcuenca. En el 2011, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) calculó un índice de calidad ambiental (y sanitaria) del agua que fluye sobre ese territorio, obteniendo como resultado una clasificación bajo la categoría de *Pésima*, es decir que "imposibilita el desarrollo de vida acuática", evidentemente debido al nivel de contaminación con sustancias tóxicas que presenta, entre ellas metales pesados.

Esta condición del recurso hídrico genera un costo social no cuantificado y mucho menos internalizado en las actividades productivas que se desarrollan en el territorio. Sin embargo, como primer paso en ese proceso es posible establecer, con la significancia estadística suficiente, la relación que existe entre la contaminación y la afectación de la salud humana en un territorio caracterizado por el desarrollo industrial, agropecuario y urbano.

En este artículo se demuestra que mediante un análisis dosis-respuesta es posible calcular ese costo social de la contaminación hídrica, lo cual podría ser útil para proponer algunas recomendaciones de control y regulación de la contaminación en la microcuenca, en el entendido de que el

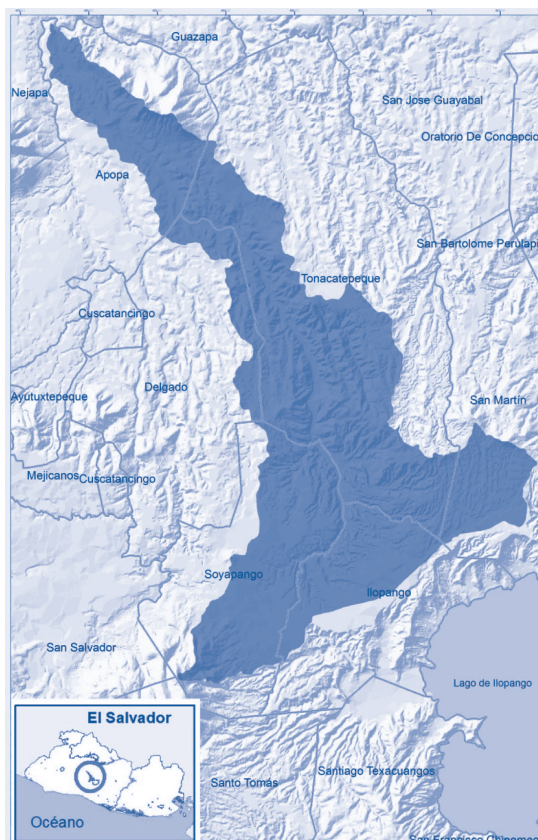
valor financiero calculado no representa un obstáculo para la gestión responsable y compartida del territorio y su capital natural y social. Por el contrario, el proceso metodológico de la investigación, así como los resultados que se obtengan, debe ponerse a disposición de los actores locales que hacen esfuerzos en la protección de la microcuenca, como una parte fundamental en una agenda de desarrollo para el territorio.

La microcuenca del río Las Cañas

Este sistema hídrico se localiza en los municipios de San Martín, Ilopango, Soyapango, Tonacatepeque, ciudad Delgado y Apopa (figura 1) y pertenece al departamento de San Salvador (figura 4.1). La elevación máxima es de 1.154 msnm, que corresponde a un punto alto del cerro de San Jacinto (Soyapango); y la mínima elevación es de 353 msnm, en el municipio de Apopa. Constituye un afluente del río Acelhuate que, a su vez, desemboca en el río Lempa, y posee una extensión de 7.503.5 hectáreas.

Figura. 1.

Ubicación de la microcuenca del río Las Cañas



El recorrido principal del agua es de 21.5 km de longitud y desemboca en el río Acelhuate; tiene una dirección sureste-noreste, aunque en su parte alta se dirige hacia el noreste. El cauce presenta una pendiente de 1,4 %. El sistema de drenajes sigue un patrón de tipo dendrítico en su dinámica fluvial, con la presencia de cursos de agua permanentes, intermitentes y efímeros.

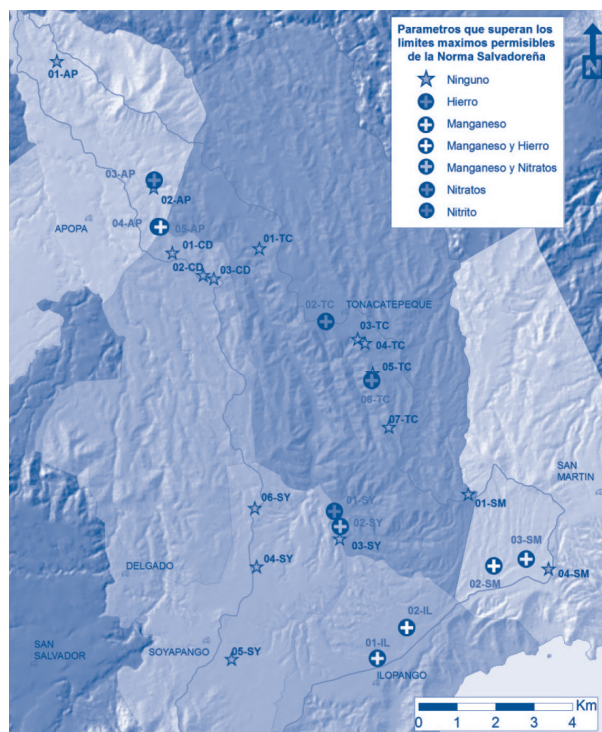
Tomando en cuenta los resultados del Proyecto "Gestión intermunicipal de la cuenca del río Las Cañas bajo el enfoque de género y la reducción del riesgo de desastres El Salvador", se conoce la dirección del flujo de agua subterránea, el cual permite diferenciar tres zonas con distinto comportamiento hidrodinámico: (i) desde la parte media de la microcuenca hasta su desembocadura en el río Acelhuate, en donde el flujo subterráneo presenta una dirección sureste-noroeste, sentido noroeste, con dirección hacia el río, siendo este "receptor" y el acuífero "aportador"; (ii) margen izquierda del río, porción de los municipios de Delgado, Soyapango e Ilopango, la cual constituye una vaguada en donde se aprecia una depresión en torno a la isopieza 520 msnm, lo cual puede ser explicado por la extracción de agua que se verifica en esos municipios; (iii) margen derecha del río, zona sur del municipio de Tonacatepeque y el de San Martín, en donde se observa la existencia de una divisoria de aguas subterráneas siguiendo una línea de dirección suroeste-noreste.

Caracterización de las aguas subterráneas

Esta caracterización se basa en la distribución de la concentración de un parámetro químico en una determinada zona, a partir de la representación en círculos de distintos diámetros según la concentración en el punto de manera creciente, es decir, a mayor diámetro del círculo mayor será la concentración del parámetro. Para tal fin se ha echado mano a mapas de concentraciones, tomando en cuenta la campaña de muestreo realizada por el Proyecto "Gestión intermunicipal de la cuenca del río Las Cañas bajo el enfoque de género y la reducción del riesgo de desastres El Salvador" (2014).

Figura 2.

Red de muestreo comparada con la norma salvadoreña



Fuente: Resultados del Proyecto "Gestión intermunicipal de la cuenca del río Las Cañas bajo el enfoque de género y la reducción del riesgo de desastres El Salvador" (2014).

Tanto el nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), el hierro (Fe) y el manganeso (Mn) son los parámetros químicos cuyas concentraciones superan el máximo permisible de acuerdo con la norma salvadoreña; no así el pH, el oxígeno disuelto, los cloruros, los sulfatos, el sodio, el calcio, el magnesio, el potasio, los fosfatos y el aluminio. En la figura 2 se muestra la distribución geográfica de los parámetros cuyas concentraciones han superado los límites permisibles. Cabe señalar que, por tratarse de resultados para una sola campaña de muestreo, se requiere cierta cautela a la hora de interpretar dichos parámetros.

Si se hace una comparación espacial, es posible encontrar una semejanza. Tal es el caso de los metales pesados hierro y manganeso, ya que sus concentraciones son superadas en tres municipios: Apopa, Ilopango y San Martín, precisamente los que presentan un gran desarrollo industrial. Sin embargo, el hierro también se supera en Tonacatepeque, donde no se da un desarrollo industrial importante; en cambio, sí se verifican actividades agropecuarias intensivas, que podrían

ser causa de la presencia de nitrato por encima de la norma salvadoreña. Los puntos donde no se cumple la norma por la concentración de nitratos (Soyapango y Apopa) y nitritos (Soyapango) podrían estar influenciados por su cercanía al río Las Cañas y por la cercanía de fosas sépticas, ya que

estos puntos constituyen pozos artesanales situados en colonias aledañas de su cauce. En la tabla 1 se presentan, marcados, los valores que superan los límites máximos permisibles, además se indica el uso al que se destina el agua y el municipio correspondiente.

Tabla 1.
Puntos de la red de muestreo que no cumplen la norma salvadoreña

Municipio	Uso	Máximo permisible de acuerdo con la norma salvadoreña			
		1.00 mg/l NO ₂	45.00 mg/l NO ₃	0.30 mg/l Fe	0.10 mg/l Mn
Apopa	Doméstico industrial sin consumo	-	1.8360	0.8136	0.0599
Apopa	Doméstico familiar sin consumo	0.1600	155.3570	0.0530	0.0120
Apopa	Doméstico familiar	0.1640	1.0470	0.0737	3.1032
Delgado	Doméstico	-	-	0.1500	0.2500
Tonacatepeque	Sin uso	0.1290	136.5690	0.0630	0.0142
Soyapango	Sin uso	1.5500	16.8400	0.0600	0.0118
Soyapango	Doméstico familiar sin consumo	-	113.1260	0.1050	0.5028
Ilopango	Doméstico industrial sin consumo	0.5350	1.1290	0.2096	1.0750
Ilopango	Doméstico industrial sin consumo	-	0.8960	0.5642	0.5343
San Martín	Doméstico comunal	0.2030	0.5860	0.3011	0.6851
San Martín	Doméstico comunal	-	1.1050	0.0740	0.7312

Fuente: Resultados del Proyecto "Gestión intermunicipal de la cuenca del río Las Cañas bajo el enfoque de género y la reducción del riesgo de desastres El Salvador" (2014).

Esta información permite conocer que, de los once puntos con valores no permitidos, en ocho se destina el agua para uso doméstico, de los cuales tres abastecen a familias, dos a comunidades y tres a fábricas o clubes sociales. Cabe señalar que la población que hace uso de estas fuentes de agua no tiene conocimiento de su calidad, y, por lo tanto, no están evaluando las repercusiones sobre la salud que conlleva su consumo. Aunque no es posible hablar de contaminación de la calidad de las aguas subterráneas, debido a que solo se dispone de información provista por una sola campaña

de monitoreo, se sospecha de problemas puntuales con respecto al nitrito, nitrato, hierro y manganeso.

Fuentes puntuales de contaminación del agua

Según el MARN (2011), en la microcuenca se registran 19 vertidos: 11 provenientes de aguas residuales ordinarias y 8 de aguas residuales especiales. En la tabla 2 se muestran los detalles correspondientes a las fuentes puntuales de contaminación del agua.

Tabla 2.
Fuentes fijas de contaminación hídrica

Nombre	Tipo de vertido	Municipio	Cuerpo receptor
Colector de aguas servidas Bosque de La paz	Especial	Ilopango	Quebrada Santa Lucía
Aguas residuales de Cumbres de San Bartolo I y II	Ordinaria	Tonacatepeque	Río Las Cañas
Descarga de aguas residuales de Residencial Libertad	Ordinaria	Tonacatepeque	Río Las Cañas
Aguas residuales de colonia Sta. Teresa de Las Flores	Ordinaria	Apopa	Río Las Cañas
Aguas residuales de la Urb. La Campanera	Ordinaria	Soyapango	Río La Campanera
Aguas residuales de Rpto. San José 2	Ordinaria	Soyapango	Tributario del río El Sauce
Aguas residuales de Rpto. San José 3	Ordinaria	Soyapango	Tributario del río El Sauce
Aguas residuales de Urb. Brisas del Norte	Ordinaria	Tonacatepeque	Quebrada La Leona
Aguas residuales de planta de tratamiento 1, Urb. Altavista	Ordinaria	Ilopango	Quebrada Las Pavas
Aguas residuales de planta de tratamiento 2, Urb. Altavista	Ordinaria	Ilopango	Quebrada Las Pavas
Aguas residuales de colonia Cima de San Bartolo	Ordinaria	Tonacatepeque	Quebrada Las Pavas
Aguas residuales de Reparto Las Cañas	Ordinaria	Ilopango	Río Las Cañas
Colector de Bosques del Río	Especial	Soyapango	Río Las Cañas
Aguas residuales de parque industrial El Desarrollo	Especial	Soyapango	Río Las Cañas
Aguas residuales de sector Prusia	Especial	Soyapango	Río Las Cañas
Aguas residuales de zona suroriente de Soyapango	Especial	Soyapango	Río Sumpa
Aguas residuales colector 1, Zona Franca San Bartolo	Especial	Ilopango	Quebrada Arenal Seco
Aguas residuales colector 2, Zona Franca San Bartolo	Especial	Ilopango	Quebrada Arenal Seco
Aguas residuales colector 3, Zona Franca San Bartolo	Especial	Ilopango	Quebrada Arenal Seco

Fuente: MARN, 2011.

Este tipo de fuentes de contaminación son consideradas como descargas de agentes contaminantes (contenidos principalmente en aguas residuales ordinarias² o especiales³), las cuales tienen una localización geográfica específica y que se realizan mediante una tubería hacia un cuerpo receptor, que puede ser el río Las Cañas o un tributario (quebrada). También se debe tener claro que en la zona rural de la microcuenca ocurren descargas particulares desde viviendas o comunidades situadas en las proximidades de los cuerpos receptores antes mencionados, las cuales son muy difíciles de cuantificar (dado su volumen y frecuencia

intermitente), pero que en conjunto generan un impacto considerable.

Fuentes no puntuales de contaminación del agua

La disposición inadecuada de desechos sólidos y líquidos (aceites y lubricantes de motores) y la extracción de pétreos que se verifica en el cauce del río constituyen las fuentes no puntuales de contaminación del agua en el territorio de la microcuenca. En la tabla 3 se presentan los detalles correspondientes a estas fuentes.

² Cuyo origen es la actividad doméstica.

³ Derivada de actividad industrial específica.

Tabla 3.
Fuentes no puntuales de contaminación hídrica

Nombre	Cantón/Colonia	Municipio	Cuerpo receptor
Botadero a cielo abierto	Prusia	Soyapango	Río Las Cañas
Taller mecánico	Prusia	Ilopango	Río Las Cañas
Botadero a cielo abierto	Comunidad Sta. Rosa	Soyapango	Río Las Cañas
Botadero a cielo abierto	Reparto Las Cañas	Ilopango	Río Las Cañas
Botadero a cielo abierto	Cima de San Bartolo 1	Ilopango	Quebrada Las Pavas
Botadero a cielo abierto	Cima de San Bartolo 2	Tonacatepeque	Quebrada Las Pavas
Botadero a cielo abierto	Cumbres de San Bartolo	Tonacatepeque	Quebrada Las Pavas
Botadero de textiles y otros	Cantón Prusia	Soyapango	Río Sumpa
Botadero a cielo abierto	Comunidad 3 de Enero, sector B	Soyapango	Río Las Cañas
Botadero a cielo abierto	Bosques del Río	Soyapango	Río Las Cañas
Botadero a cielo abierto	Cantón Joya Grande	Apopa	Río Las Cañas
Botadero de textiles	Lotificación Galindo	Apopa	Río Las Cañas
Botadero a cielo abierto	Cantón San Bartolo	Ilopango	Quebrada Arenal Seco
Extracción de arena	Arenal	Soyapango	Río Las Cañas

Fuente: MARN, 2011.

Uso del suelo en la microcuenca

Con base en el mapa de uso actual del suelo, elaborado por la Universidad de El Salvador y la Fundación Salvadoreña para la Investigación del Café (Procafe) en el año 2010 (escala 1: 50.000), es posible establecer que la principal ocupación de las tierras es la actividad *agropecuaria*, que en su conjunto se desarrolla en el 53 % de la microcuenca, lo que equivale a 3.964.27 ha; es decir, más de la mitad de la superficie del

territorio. Esta ocupación corresponde a *mosaico de cultivos y pastos*, con el 27 % de la superficie territorial (2.031.09 ha); seguido del 13 % de *terrenos principalmente agrícolas pero con importantes espacios de vegetación natural* (equivalente a 984.51 ha); el 10 % de áreas cultivadas con *granos básicos* (754.06 ha); el 2 % de *cultivos anuales asociados con otros cultivos* (130.03 ha), y el 1 % de *pastos naturales* (es decir, 64.58 ha). La tabla 4 muestra esta información.

Tabla 4.
Uso del suelo

Usos del suelo	Ha	%
Tejido urbano continuo	2.485.56	33
Mosaico de cultivos y pastos	2.031.09	27
Terrenos principalmente agrícolas	984.51	13
Granos básicos	754.06	10
Café	388.14	5
Arenales	226.5	3
Cultivos anuales asociados a otros cultivos	130.03	2
Tejido urbano discontinuo	126.41	2
Tejido urbano precario	124.47	2
Vegetación arbustiva baja	73.67	1
Vegetación herbácea natural	68.8	1
Pastos naturales	64.58	1
Aeropuertos	45.41	1
Total	7.503.2	

Fuente: elaboración propia

Asimismo, en el 33 % predomina el *tejido urbano continuo* que, si se suma a las categorías *tejido urbano discontinuo* (2 %) y *tejido urbano precario* (2 %), entonces este porcentaje alcanza el valor de 37 % como cobertura urbana (es decir 2.736.44 ha). La siguiente cobertura de importancia es el cultivo de café, con el 5 %, es decir, 388.14 hectáreas.

Se conoce que la microcuenca presenta extensas áreas de recarga hídrica, sobre todo en el municipio de Tonacatepeque y al noreste de ciudad Delgado, en donde los suelos están ocupados por actividades *principalmente agrícolas*. En ambos sitios, la capacidad de recarga asciende a 455 mm por año. En similar condición se encuentran las zonas de *mosaicos de cultivos y pastos* y de *cultivos anuales* en los alrededores del área urbana de San Martín, cuya capacidad de recarga se registra hasta en 475 mm anuales. Al noreste de la ciudad de Soyapango, también se pueden encontrar áreas ocupadas por cultivos y pastos, y con una capacidad de recarga que puede alcanzar los 335 mm por año.

La vulnerabilidad del acuífero se puede expresar en términos del riesgo que supone el tipo de actividad agropecuaria que se practica en la microcuenca y su entorno, ya que se trata de sistemas productivos con uso excesivo de agroquímicos, los cuales tienen la capacidad de penetrar gradualmente las capas del suelo y eventualmente llegar a contaminar el manto freático y al mismo acuífero. Un agroquímico utilizado frecuentemente es el fertilizante a base de nitrógeno, cuya absorción por parte de los cultivos es del 50 %, de manera que el resto se lixivia y puede filtrarse hasta el acuífero. Esto posiblemente explica la concentración de nitratos, que superan (en algunos casos por más de tres veces) el límite permisible de la NSO 13.07.01:08 en Tonacatepeque (136.5690 mg/l), Soyapango (113.1260 mg/l) y Apopa (155.3570 mg/l), en donde efectivamente se tiene una ocupación del suelo netamente agropecuaria.

Por otra parte, también es relevante la comparación entre el uso del suelo urbano presente en la cabecera de la microcuenca, principalmente en los municipios de San

Martín, Ilopango y Soyapango (siendo en estos dos últimos en donde se concentra una importante actividad industrial y comercial), con las concentraciones de hierro, manganeso y nitritos que sobrepasan los límites permisibles de la NSO 13.07.01:08, sobre todo, como se muestra en la tabla 4.1. Llama la atención la concentración de manganeso en Apopa (pozo de uso doméstico familiar), registrada en 3.1032 mg/l, ya que representa un valor que supera en 31 veces el límite permitido por la NSO (0.10 mg/l); seguido del valor en Ilopango (pozo doméstico industrial sin consumo), de 1.0750 mg/l, lo que equivale a casi once veces dicho límite.

Población

En 2014, la población de la microcuenca fue de 1.015.716 habitantes; de los cuales 378.072 corresponden a Soyapango (37 %); 166.069 a Apopa (16 %); 128.673.55 a ciudad Delgado (13 %); 124.624 a Ilopango (12 %); 124.849.76 a Tonacatepeque (12 %); y 93.428 a San Martín (9 %). De acuerdo con los datos de la tabla 5 y asumiendo un estimado de seis habitantes por vivienda, se tiene que en el territorio habrían 169.286 viviendas; 63.012 de ellas solo en Soyapango; 27.678 en Apopa; 20.771 en Ilopango; 21.446 en Tonacatepeque; 21.446 en Delgado; y 15.575 en San Martín.

Tabla 5.

Población por municipio y cantón en la microcuenca del río Las Cañas

Municipio	Población	Viviendas	Porcentaje
Apopa	166.069	27.678	16
Ilopango	124.624	20.771	12
San Martín	93.428	15.571	9
Soyapango	378.072	63.012	37
Tonacatepeque	124.850	20.808	12
Delgado	128.674	21.446	13
Total	1.015.717	169.286	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos catastrales municipales.

Abastecimiento de agua potable

Mayoritariamente, en la microcuenca se localizan sistemas de producción de agua potable que son administrados por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (Anda) y operadores descentralizados, que en conjunto

forman parte del Sistema Tradicional y Las Pavas de producción de Anda. La producción anual de agua en estos sistemas se muestra en la tabla 6. El consumo promedio mensual registrado en estos sistemas del territorio oscila entre 17 y 22 m³. En la región metropolitana de San Salvador, el consumo promedio es de 24 m³ (ver tabla 6).

Tabla 6.
Producción de agua por municipios para el año 2011⁴

Municipio	Sistema	Producción (en miles de m ³)
Delgado	Tradicional	8.333.0
	Tradicional	16.893.0
Soyapango	Las Pavas	7.885.3
	Tradicional	4.848.3
Ilopango	Las Pavas	2.628.4
	Tradicional	605.9
San Martín	Las Pavas	2.553.3
	Tradicional	12.878.0
Apopa	Tradicional	12.878.0
Total		56.625.2

Fuente: Anda, 2011.

Otras fuentes de abastecimiento de agua

Con base en información del Proyecto “Gestión intermunicipal de la cuenca del río Las Cañas bajo el enfoque de género y la reducción del riesgo de desastres El Salvador” (2014), en la microcuenca existen otras fuentes de abastecimiento de agua (en uso), entre las que destacan 10 pozos artesanales, 10 manantiales de agua y 21 pozos con bombeo (tabla 7). Los pozos

artesanales pertenecen a particulares que consumen en promedio un volumen de 14.5 m³ de agua al mes, siendo el abastecimiento doméstico su principal uso. Mientras que de los nacimientos de agua se consumen en promedio 1.5 m³ mensuales, para abastecimiento doméstico; en tanto que los pozos con bombeo se utilizan para el mismo fin, reportando un consumo promedio de 16 m³ al mes; y para abastecimiento industrial, del cual no se tiene registro mensual.

⁴ La producción de agua es a través de los sistemas administrados por Anda y operadores descentralizados.

Tabla 7.

Otras fuentes de abastecimiento de agua

Municipio	Pozos artesanales	Nacimientos	Pozos con bombeo
Delgado	3	2	2
Soyapango	5	2	5
Ilopango	-	-	6
San Martín	-	3	5
Apopa	2	-	3
Tonacatepeque	-	3	-

Fuente: Elaboración propia con base en resultados del Proyecto "Gestión intermunicipal de la cuenca del río Las Cañas bajo el enfoque de género y la reducción del riesgo de desastres El Salvador" (2014).

De algunas de estas fuentes de abastecimiento se sabe que las concentraciones de nitrito, nitrato, hierro y manganeso superan los límites permisibles de la norma salvadoreña obligatoria para agua potable (NSO 13.07.01:08). En la tabla 8 se presenta información de la calidad de agua de los pozos y nacimientos de agua. En Apopa uno de los tres pozos con bombeo presenta una concentración de hierro, cuyo valor está casi tres veces por encima del límite permitido por la NSO, mientras que los dos pozos artesanales registrados en el proyecto antes referido también presentan problemas de calidad, ya que la concentración de nitrato de uno de ellos supera en tres veces el límite permisible establecido por la NSO; mientras que el otro posee una concentración de manganeso que supera el límite permitido por la norma en 31 veces.

En ciudad Delgado, uno de los dos pozos con bombeo presenta una concentración de manganeso que duplica el límite permisible. Mientras que en Soyapango, uno de

los cinco pozos artesanales presenta una concentración de nitrato que supera el límite permisible en dos y media veces, mientras que el manganeso posee una concentración cinco veces superior al límite de la norma. Entre tanto, dos de los seis pozos con bombeo que existen en Ilopango tienen problemas de calidad debido a las concentraciones de hierro y manganeso; en uno de ellos, el manganeso registra una concentración que supera en casi once veces el valor del límite permitido por la NSO; en el otro, el hierro duplica el límite de la norma, y el manganeso lo quintuplica.

En San Martín el panorama es similar, ya que dos de los cinco pozos con bombeo presentan concentraciones de hierro y manganeso que superan la NSO. En ambos, el manganeso presenta una concentración siete veces mayor que la permitida en la norma; mientras que en uno de ellos, aunque con una mínima diferencia, el hierro supera el límite permisible por la NSO (tabla 4.8).

Tabla 8.
Calidad de agua de otras fuentes de abastecimiento de agua

Municipio	Tipo	Uso	Máximo permisible de acuerdo con la norma salvadoreña 13.07.01:08			
			1,00 mg/l NO ₂	45,00 mg/l NO ₃	0,30 mg/l Fe	0,10 mg/l Mn
Apopa	Pozo con bombeo	Doméstico industrial sin consumo	-	1.84	0.81	0.06
Apopa	Pozo artesanal	Doméstico familiar sin consumo	0.16	155.36	0.05	0.01
Apopa	Pozo artesanal	Doméstico familiar	0.16	1.05	0.07	3.10
Delgado	Pozo con bombeo	Doméstico	-	-	0.15	0.25
Soyapango	Pozo artesanal	Doméstico familiar sin consumo	-	113.13	0.11	0.50
Soyapango	Pozo artesanal	Sin uso	1.55	16.84	0.06	0.01
Ilopango	Pozo con bombeo	Doméstico industrial sin consumo	0.54	1.13	0.21	1.08
Ilopango	Pozo con bombeo	Doméstico industrial sin consumo	-	0.90	0.56	0.53
San Martín	Pozo con bombeo	Doméstico comunal	0.20	0.59	0.301	0.69
San Martín	Pozo con bombeo	Doméstico comunal	-	1.11	0.07	0.73
Tonacatepeque	Pozo artesanal	Sin uso	0.13	136.57	0.06	0.01

Fuente: Elaboración propia con base en resultados del Proyecto "Gestión intermunicipal de la cuenca del río Las Cañas bajo el enfoque de género y la reducción del riesgo de desastres El Salvador" (2014).

Puede observarse en la tabla anterior que en Soyapango se registra un pozo artesanal sin uso con una concentración de nitrito que supera el límite de la norma salvadoreña; y en la misma situación se encuentra un pozo en Tonacatepeque, cuya concentración de nitrato triplica el valor permisible de la NSO.

Morbilidad por insuficiencia renal crónica

A continuación se muestran los casos de morbilidad por insuficiencia renal agua (IRA) e IRC para el período comprendido entre 2006 y 2014, únicamente para Apopa, Soyapango y Tonacatepeque, ya que son estos municipios en los que se dispone de registros sobre abastecimiento

humano con fuentes de agua subterránea que no cumple con los límites permisibles establecidos por la norma salvadoreña obligatoria 13.07.01:08, específicamente en los parámetros relacionados con la concentración de hierro, manganeso, nitrato y nitrito.

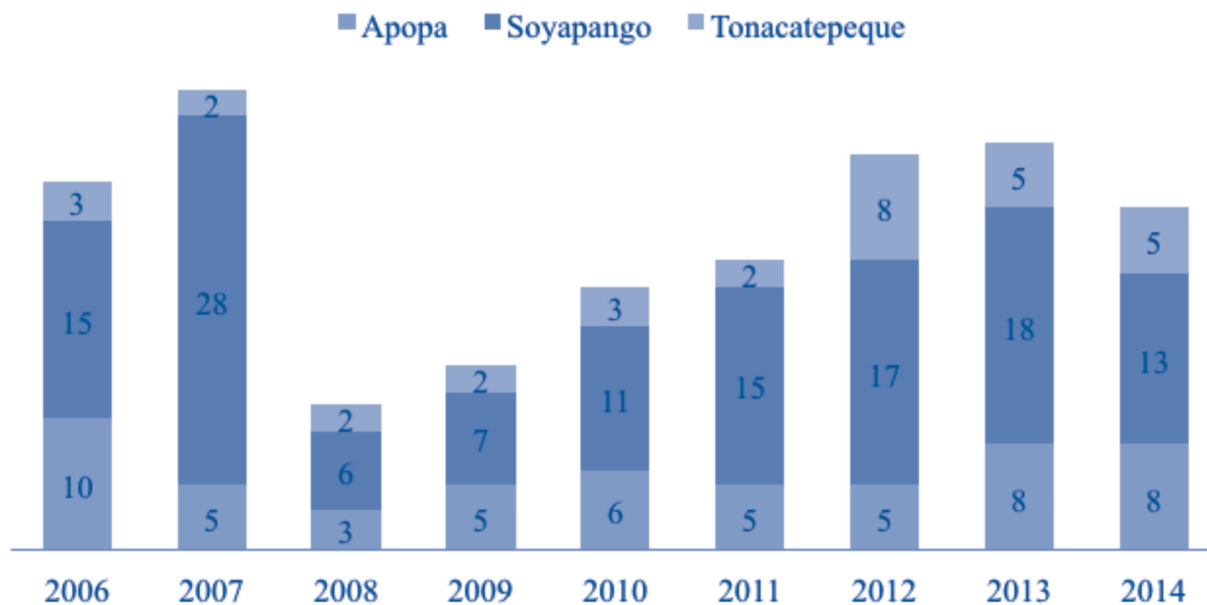
De acuerdo con los datos de la tabla 9, la IRA es menos frecuente que la IRC en los tres municipios analizados, ya que en un período de nueve años se reportan 217 casos de aquella (respecto a 8.064 casos de IRC) en el sistema de salud pública, siendo Soyapango el que registra el mayor número de enfermos, con 130 casos; seguido de Apopa, con 55; y Tonacatepeque, con 32.

Tabla 9.
Morbilidad por insuficiencia renal aguda y crónica

Tipo de morbilidad/municipio	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014*	Total
Insuficiencia renal aguda										
Apopa	10	5	3	5	6	5	5	8	8	55
Soyapango	15	28	6	7	11	15	17	18	13	130
Tonacatepeque	3	2	2	2	3	2	8	5	5	32
Total	28	35	11	14	20	22	30	31	26	217
Insuficiencia renal crónica										
Apopa	301	326	249	196	254	232	275	409	350	2.592
Soyapango	409	422	386	384	480	520	495	760	587	4.443
Tonacatepeque	31	87	84	91	77	109	145	204	201	1.029
Total	741	835	719	671	811	861	915	1.373	1.138	8.064

Fuente: Elaboración propia con base en Sistema de Morbi-mortalidad en línea SIMMOW, Códigos N17.0-N17.9 (Clasificación Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud). *Dato a octubre de 2014.

Gráfico 1.
Morbilidad por insuficiencia renal aguda



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 1 permite observar un aumento gradual en Soyapango y Tonacatepeque en el período 2008-2013, pasando de 6 a 18 y de 2 a 5 casos, respectivamente. En Apopa la tendencia parece ser variable, aunque en ese mismo período se tiene un aumento de 3 a 8 casos reportados de IRA. Con relación a la IRC, es Soyapango el municipio que reporta más números de casos para el mismo período, 4.443 en total, verificando una tendencia al alza desde el año 2006 hasta el 2013, pasando de 301 casos a más del doble (760) en siete años.

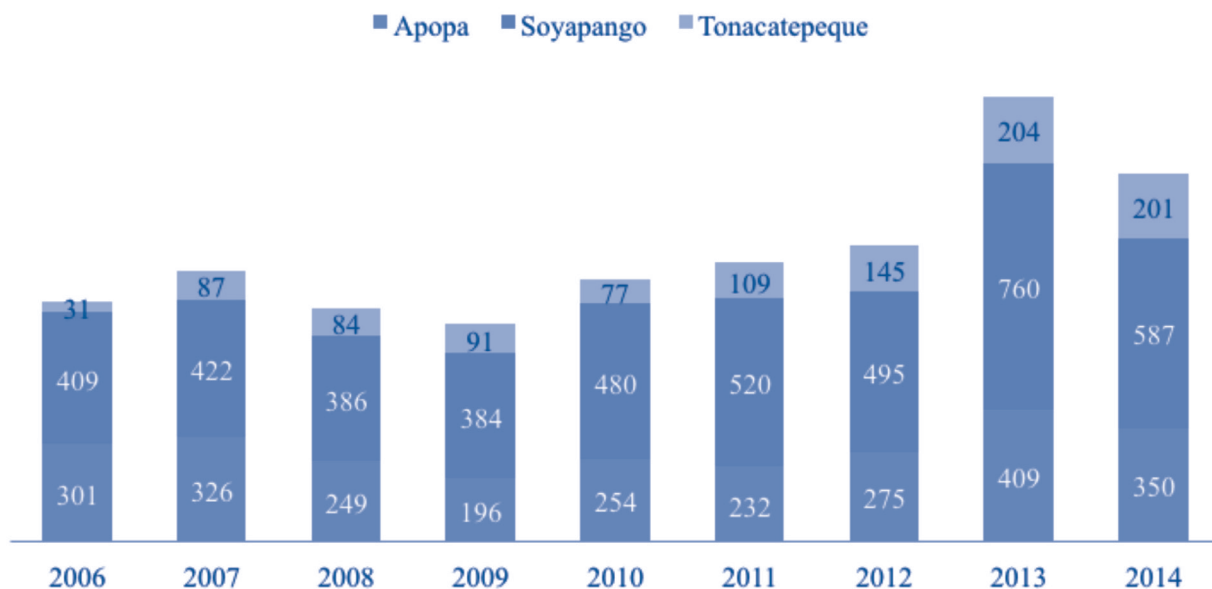
Situación más crítica experimenta Tonacatepeque, que para el mismo período reporta un aumento de casi siete veces el número de casos de morbilidad por IRC. En Apopa se registran un mayor número de casos que Tonacatepeque

(2.592 contra 1.209), aunque el aumento no es tan marcado como en los otros dos municipios, ya que solo se observan 108 casos más entre 2006 y 2013.

En el análisis de la morbilidad por IRC (gráfico 2) es importante incluir la variable *edad*, ya que el comportamiento en el número de casos varía dependiendo del rango en el número de años de la población. En la tabla 4.15 se pueden observar estas variaciones por municipio para el período 2006-2014. De esta forma, se visualiza que del rango de 1 a 14 años el número de casos de morbilidad por IRC no presenta mayores variaciones en su frecuencia; no así cuando se trata del rango entre 15 y 60 años, para el que prácticamente se incrementan entre 10 y 20 veces.

Gráfico 2.

Morbilidad por insuficiencia renal crónica



Fuente: elaboración propia.

Tabla 10.
Morbilidad por insuficiencia renal crónica
(por rango de edades)

Municipios	Años	Edades (años)						Total
		1-4	5-9	10-14	15-19	20-59	≥ 60	
Apopa	2006	5	2	18	29	115	132	301
	2007	4	3	17	34	146	122	326
	2008	9	3	4	27	101	105	249
	2009	5	1	4	11	87	88	196
	2010	5	5	7	11	112	114	254
	2011	1	6	4	9	112	100	232
	2012	6	5	3	11	136	114	275
	2013	4	4	3	9	194	195	409
	2014*	2	3	6	8	162	169	350
Soyapango	2006	4	6	6	7	182	204	409
	2007	14	11	9	12	199	177	422
	2008	13	13	7	17	158	178	386
	2009	10	1	6	15	187	165	384
	2010	4	7	9	0	254	206	480
	2011	2	9	8	20	260	221	520
	2012	6	8	17	18	232	214	495
	2013	8	9	48	28	349	318	760
	2014*	8	11	12	17	268	271	587
Tonacatepeque	2006	0	0	5	0	26	0	31
	2007	4	1	1	3	41	37	87
	2008	1	0	6	3	35	39	84
	2009	1	0	3	7	41	39	91
	2010	1	1	1	3	27	44	77
	2011	2	0	14	6	37	50	109
	2012	1	3	7	3	79	52	145
	2013	3	43	15	19	54	70	204
	2014*	1	3	42	11	72	72	201
Total		124	158	282	338	3.666	3.496	8.064

Fuente: Elaboración propia con base en Sistema de Morbi-mortalidad en línea SIMMOW, Códigos N17.0-N17.9 (Clasificación Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud). *Dato a octubre de 2014.

Esto ocurre en Soyapango desde el 2006, en donde se visualiza una diferencia amplia entre ambos rangos de edad y el número de casos reportados de IRC. En ese año, se registraban 7 casos (para el rango de 15-19 años) contra 182 (para las edades entre 20-59 años). Mientras que para 2014 se contabilizan 17 para el primer rango y 268 para el segundo. Lo mismo pasa en Apopa, en donde se puede observar que en 2013 el registro de casos aumentó de 9 (para el rango de 15-19 años) a 194 (para las edades entre 20-59 años); y para 2014, la frecuencia de casos pasó de 8 para el primer rango de edades, a 162 para el segundo. A pesar de que en Tonacatepeque no se presenta el mismo volumen de casos de morbilidad por IRC, como en Apopa y Soyapango, también es notoria la diferencia entre las frecuencias de un rango de edad a otra.

Es conveniente señalar que, entre los rangos de edad 20-29 y ≥ 60 , prácticamente no se perciben diferencias; aunque, al observar detenidamente, pareciera que los casos de morbilidad tienden a reducirse en edades superiores a los 60 años (tabla 10).

Análisis dosis-respuesta para valorar el costo social de la contaminación hídrica

El análisis dosis-respuesta está enfocado particularmente en la IRC, como un efecto derivado de la contaminación del agua en la salud de la población que reside en la microcuenca del río Las Cañas. Estimados entonces los niveles de deposición de sustancias contaminantes en los sistemas hídricos (dosis) de la microcuenca con el número de casos de morbilidad (respuesta), para el período de 9 años: de 2006 a 2014, es posible establecer una función dosis-respuesta que mida el nivel de sensibilidad o elasticidad de la variable dependiente (daño en la salud) versus los cambios en la calidad de un recurso natural.

Se entenderá como *elasticidad* al cambio porcentual en la morbilidad, derivado del cambio en la concentración o volumen de contaminantes del agua ($\partial \text{Morb} / \partial Q_v$); y al ser cuantificada permite relacionar el costo médico (precio de mercado) necesario para atender los efectos de la contaminación en la salud de una población determinada, en un espacio temporal y geográfico particular. Los costos

médicos pueden incluir los de hospitalización, tratamiento o medicamentos (ISBM, 2013).

El análisis dosis-respuesta está basado en un modelo econométrico que toma en cuenta tres consideraciones fundamentales, que son las siguientes:

1. Solo se han tomado en cuenta los casos de IRC, entendida esta como la "pérdida gradual y progresiva de la capacidad de excretar los desechos nitrogenados, concentrar la orina y mantener la capacidad de homeostasis del medio interno por el riñón" (González Álvarez & Mallafré Andruig, 2009), también considerada como uno de los estadios de la ERC.
2. La población de referencia son personas con rangos de edad que van desde los 10 hasta más de 60 años. Esto se propone tomando en consideración el comportamiento de los casos de morbilidad por IRC respecto a la edad (tabla 10), durante un período de nueve años, lo cual dejaría por fuera a las personas por debajo de 10 años de edad.
3. El objeto de estudio es la microcuenca del río Las Cañas, y sobre todo los municipios en donde se ha evidenciado que las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico tienen problemas de calidad; sea por la concentración de hierro y manganeso o por los valores de nitritos y nitratos. En tal sentido, se hará referencia a Soyapango, Tonacatepeque y Apopa.

El análisis se basa en información anual del período 2006-2014 presentada en la tabla 11, en cuya segunda columna se observa el número de casos de IRC con edades que varían entre los 10 y 60 años (o más), registrados en el sistema público de salud, para los municipios que conforman la microcuenca del río Las Cañas, y en los que se localizan fuentes de agua para abastecimiento humano (pozos y manantiales), con afectaciones en su calidad hídrica. En la tercera columna se registra la población que tiene influencia sobre dichas fuentes de agua.

La cuarta columna es la serie de la tasa bruta de morbilidad por diez mil habitantes ($TBM = \text{Morbilidad} \times 10.000 / \text{Población}$), ya que difícilmente se puede estimar

una tasa específica, en tanto que no existe información confiable sobre el tamaño de la población en los rangos de edad ya señalados, y que residan específicamente dentro de los límites de la microcuenca. No obstante, es de esperarse cierta proporcionalidad entre ambas tasas. A partir de la quinta columna se muestran las concentraciones de las sustancias relacionadas con la

calidad de las fuentes de agua establecidas previamente, tomando en cuenta el consumo mensual promedio de agua. En la octava columna se exhibe la serie de datos correspondiente al volumen de vertido anual (desde fuentes puntuales y no puntuales), estimados a partir de las cargas contaminantes que fluyen por el río Las Cañas y sus tributarios.

Tabla 11.
Variables del análisis dosis-respuesta

Años	Morbilidad	Población	TBM	N kg/año	P kg/año	DQO kg/año	QV m ³ /año
2006	741	332.057	22,32	83.348	37.625	1.571.483	3.898.418
2007	835	341.023	24,49	76.402	34.490	1.440.526	3.573.549
2008	719	345.878	20,79	78.361	35.374	1.477.463	3.665.179
2009	671	351.650	19,08	129.915	58.647	2.449.478	6.076.481
2010	811	331.617	24,46	569.627	257.143	10.740.018	26.643.032
2011	861	336.191	25,61	1.396.505	630.414	26.330.368	65.318.400
2012	915	340.442	26,88	1.586.937	716.380	29.920.872	7.425.455
2013	1373	344.391	39,87	1.753.983	791.788	33.070.438	82.038.660
2014	1138	424.891	26,78	1.238.106	558.909	23.343.838	57.909.643

Fuente: Elaboración propia

El análisis dosis-respuesta considera que el volumen de vertido de sustancias tóxicas al cauce (y los tributarios) del río Las Cañas afecta la calidad de agua de las fuentes utilizadas para abastecimiento humano, evidenciado por la presencia de hierro, manganeso, nitrito y nitrado en concentraciones fuera de los límites permisibles de la NSO; por lo tanto, dicho vertido es considerado como una variable proxy de la contaminación hídrica, suponiendo proporcionalidad entre ambas variables.

Con el objetivo de logra una buena significancia estadística, la información sobre la morbilidad se descompone en

dos subgrupos: personas menores de 20 años (o iguales) y mayores de 20 años. Esta desagregación hace que el número de observaciones independientes se duplique. Dicha segregación se presenta en la tabla 12. De esta forma, se utilizan los mínimos cuadrados ordinarios para correr una regresión del logaritmo natural de los casos de morbilidad por IRC, contra el logaritmo del volumen de vertidos (asociados a las sustancias químicas y orgánicas contaminantes), el logaritmo del consumo de agua y una variable dicótoma (*dummy*) de la edad que asume el valor 0 para personas menores de 20 años y 1 para personas mayores o iguales a 20 años.

Tabla 12.

Morbilidad por insuficiencia renal crónica (con referencia de 20 años)

Municipio/Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Menores de 20									
Apopa	54	58	43	21	28	20	25	20	19
Soyapango	23	46	50	32	20	39	49	93	48
Tonacatepeque	5	9	10	11	6	22	14	80	57
Total parcial	82	113	103	64	54	81	88	193	124
Mayores de 20									
Apopa	247	268	206	175	226	212	250	389	331
Soyapango	386	376	336	352	460	481	446	667	539
Tonacatepeque	26	78	74	80	71	87	131	124	144
Total parcial	659	722	616	607	757	780	827	1.180	1.014

Fuente: Elaboración propia.

A partir de un análisis de regresión se visualiza un ajuste bastante bueno ($R^2 = 95\%$), y los coeficientes presentan los signos esperados, con niveles de significancia aceptables. En esas condiciones, la estimación de la elasticidad de la morbilidad ante el vertido de sustancias químicas y orgánicas al sistema hídrico es 0.425 (algunas unidades más elevado que la regresión 3). El signo positivo del coeficiente de la variable *dummy* (*Edad_1*) es positivo, lo cual parece

indicar, como era de esperarse, que las personas mayores o iguales a 20 años son más propensas a mostrar las afectaciones características de la IRC, por efecto de las condiciones ambientales relacionadas con el recurso hídrico de la microcuenca. Finalmente, el modelo econométrico que mejor explica la relación entre la morbilidad por IRC y las variables relacionadas con la calidad del agua es el siguiente:

$$\text{Morbilidad por IRC} = 4,21 + 0,92(\text{Edad}) - 0,425(\text{Vertido}) + 0,5(\text{Consumo de agua})$$

Estimación del costo marginal de la contaminación hídrica

Para lograr estimar este costo, el primer paso consiste en cuantificar la relación entre las variables *caudal de vertido* y las concentraciones de las sustancias químicas y orgánicas analizadas. Con base en los estudios de contaminación realizados en 2011 por el MARN, se parte del supuesto de que existe una relación proporcional entre los caudales de vertido (por fuentes puntuales principalmente) y las concentraciones de los parámetros de calidad de agua (metales pesados y nitrógeno). Asimismo, se puede suponer (a partir de lo análisis hidrogeológicos presentados anteriormente) que el uso del

suelo, sobre todo por actividades agropecuarias (con uso intensivo de agroquímicos) e industriales, relacionado con sus características de textura y estructura (que le confieren mayor o menor capacidad de recarga hídrica), influyen directamente en la concentración de algunas sustancias contaminantes, como el hierro, manganeso, nitrito y nitrato.

La elasticidad de la morbilidad por IRC, respecto a la concentración de sustancias contaminantes en los cuerpos de agua, es de 0.425 (según el modelo determinado anteriormente). Suponiendo que la elasticidad de la concentración con respecto a la emisión es cercana (o igual) a 1, entonces la elasticidad de la morbilidad con respecto

a la concentración de sustancias contaminantes es igual a 0.425, como se presenta a continuación.

$$\text{Si } \frac{\partial \text{Morb}}{\partial C} \times \frac{C}{\text{Morb}} = 0.425; \text{ y si } \frac{\partial C}{\partial Q_v} \times \frac{Q_v}{C} = 1; \text{ entonces, } \frac{\partial \text{Morb}}{\partial Q_v} \times \frac{Q_v}{\text{Morb}} = 0.425$$

La estimación más actual realizada en el cauce del río Las Cañas, respecto al vertido de sustancias contaminantes en el cauce y sus tributarios, es la que realizó el MARN en el marco del Programa Nacional de Reducción de Riesgo, a partir del estudio denominado "Medidas de control de la contaminación de los ríos Tomayate y Las Cañas", en 2011. En ese estudio registró un caudal de vertido de 2.1 m³/s, el cual debe ser proporcional a las fuentes puntuales de contaminación que tienen más incidencia geográfica en los pozos y nacimientos de los que se abastece la población afectada. Entre tanto, para el período 2011-2014, el Minsal registra un total de 4.287 casos de morbilidad por IRC. Por lo cual, un estimado de la relación marginal entre morbilidad y caudal de vertido es 0.1 ($\partial \text{Morb} / \partial Q_v$).

Si se sabe que el costo promedio anual del tratamiento total de un paciente con IRC es de US\$6.000, sin medicamentos (Instituto Salvadoreño de Bienestar Salvadoreño, 2011); y si a ese costo se le calcula el 25 % por gastos en medicamentos, se tiene un costo anual de US\$7.500. De manera que si este costo promedio es aproximado al costo marginal (suponiendo un rendimiento decreciente del servicio de atención en salud, subvalorando el costo marginal), el costo social por el vertido de sustancias contaminantes al sistema hídrico de la microcuenca del río Las Cañas, con su consecuente afectación a los cuerpos receptores que son aprovechados para el abastecimiento de agua para consumo humano, es de aproximadamente US\$750.00 (de 2011), que equivale a US\$768.03 (de 2013), teniendo en cuenta el índice de precios industriales. De esta forma, si se considera la estimación del vertido de sustancias químicas y orgánicas registrado en el año 2011, se obtiene un costo total de US\$27.870.272.60 (de 2013) por año.

Conclusión

Tomando en cuenta que en la microcuenca del río Las Cañas existen algunas fuentes de agua utilizadas para el abastecimiento humano que presentan concentraciones de hierro, manganeso, nitrito y nitrato que sobrepasan (en varias veces) los límites permisibles de la NSO, y que estas se localizan en Apopa, Ilopango y San Martín, que son precisamente los municipios en donde se verifica una intensa actividad industrial y agropecuaria, es posible encontrar una relación con el número de casos de insuficiencia renal aguda, los cuales, en el lapso del 2006 al 2014, ascienden a 217, mientras que los de morbilidad por IRC suman 8.064 casos. Un detalle de esa relación es que entre los pacientes de 20 a 60 (o más) años se registra mayor morbilidad.

Con base en los análisis de regresión realizados, se puede afirmar que, al menos en un 50 %, esa relación se explica por factores ambientales como la concentración de nitrógeno (nitrato y nitrito) en las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, y al caudal de vertido en los municipios de Apopa, Soyapango y Tonacatepeque. No obstante, la relación entre estas concentraciones de sustancias químicas y la morbilidad por IRC es explicada en un 95 % cuando se asocian variables relacionadas con la edad y el consumo de agua de la población afectada. De forma matemática, esa relación se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Morbilidad por IRC} = 4.21 + 0.92(\text{Edad}) - 0.425(\text{Vertido}) + 0.5(\text{Consumo de agua})$$

Este modelo permite establecer que la elasticidad de la morbilidad ante el vertido de sustancias químicas y orgánicas al sistema hídrico es 0.425, es decir, que un incremento del 10 % en el vertido de sustancias contaminantes aumenta los casos de morbilidad por IRC en 4 %. Asimismo, esta relación matemática permite confirmar que el costo social de la morbilidad por IRC, atribuible a la concentración de nitrógeno (nitrato y nitrito) en las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano y al caudal de vertido en los municipios de Apopa, Soyapango y Tonacatepeque, equivale a US\$27.870.272.60 (de 2013) por año.

Recomendaciones

La depuración hídrica es urgente en la microcuenca del río Las Cañas; o, en su defecto, el control de la calidad del agua en las fuentes de abastecimiento humano (pozos y nacimientos), sobre todo en las que se les ha detectado una concentración mayor de la que establecen los límites permisibles de la norma salvadoreña obligatoria para agua potable. Esto debe ser así, ya que está demostrado que existe una relación entre la morbilidad por IRC y el consumo de agua con alteraciones en algunos de sus parámetros de calidad. Para ello, es fundamental la gestión compartida que puedan realizar los gobiernos locales y otros actores públicos y privados (incluidas las organizaciones de la sociedad civil), en virtud de asegurar un mayor cumplimiento ambiental por parte del sector industrial y del subsector de agua potable y saneamiento. Dicha gestión debe estar acompañada por la rectoría a la que está facultado ejercer el MARN respecto al cumplimiento de la normativa para el control de la contaminación hídrica.

Con base en los valores monetarios del costo social por contaminación del agua, es necesario crear los mecanismos financieros y fiscales correspondientes, para que los actores reconozcan el costo social por la contaminación hídrica en la microcuenca del río Las Cañas. Esto puede ser posible a través de la creación de un fondo de agua, constituido

por aportaciones monetarias de organizaciones públicas y privadas, para ser invertidos en la conservación de la microcuenca (incluidas acciones de recuperación del recurso hídrico), llevando consigo beneficios sociales en términos de mejoras en la calidad de vida de la población. Este mecanismo financiero es capaz de fundarse sin un marco legal nacional del sector hídrico; por el contrario, puede ser el resultado de procesos de concertación y definición de acuerdos entre actores interesados en la protección del agua como recurso dinamizador del desarrollo territorial.

Referencias

- Anda (2013). *Boletín estadístico 2011*. El Salvador.
- ISBM (2013). *Guías clínicas de atención a las personas con enfermedad renal crónica*. San Salvador, El Salvador.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2011). "Medidas de Control de la Contaminación de los ríos Tomayate y Las Cañas". San Salvador, El Salvador: Programa Nacional de Reducción de Riesgo.
- MARN (Jueves, 22 de julio de 2010). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 1 de noviembre de 2014 de http://www.marn.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=275&Itemid=197
- Minsal (2013). *Boletín Epidemiológico*, "Semana Epidemiológica 47". San Salvador.