

**APLICACIÓN DE UNA FUNCIÓN
DOSIS-RESPUESTA PARA
DETERMINAR LOS COSTOS
SOCIALES DE LA CONTAMINACIÓN
HÍDRICA EN LA MICROCUENCA
DEL RÍO LAS CAÑAS,
SAN SALVADOR, EL SALVADOR**

José Ricardo Calles Hernández



COLECCIÓN INVESTIGACIONES
Universidad Tecnológica de El Salvador

45



APLICACIÓN DE UNA FUNCIÓN DOSIS-RESPUESTA
PARA DETERMINAR LOS COSTOS SOCIALES DE LA
CONTAMINACIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUCENCA
DEL RÍO LAS CAÑAS, SAN SALVADOR, EL SALVADOR

Investigador
José Ricardo Calles Hernández
ricalher@gmail.com

La presente investigación fue subvencionada por la Universidad Tecnológica de El Salvador. Las solicitudes de información, separatas y otros documentos relativos al presente estudio pueden hacerse a la dirección postal: calle Arce, 1020, Universidad Tecnológica de El Salvador, Vicerrectoría de Investigación, Dirección de Investigaciones, calle Arce y 19.^a avenida Sur, No.1045, edificio Dr. José Adolfo Araujo Romagoza, 2.^a planta, o al correo electrónico ricalher@gmail.com

Los investigadores Pablo Fernández Novales y Jesús María Guerrero colaboraron en esta investigación de manera desinteresada como especialistas de Geólogos del Mundo El Salvador.

San Salvador, 2014
Derechos Reservados
© Copyright
Universidad Tecnológica de El Salvador

363.739 4

C355a Calles Hernández, José Ricardo

sv Aplicación de una función dosis-respuesta para determinar los costos sociales de la contaminación hídrica en la microcuenca del río Las Cañas, San Salvador, El Salvador / José Ricardo Calles Hernández. -- 1ª ed. -- San Salvador, El Salv. : Universidad Tecnológica de El Salvador, 2015.

124 p. ; 23 cm. -- (Colección investigaciones ; v. 45)

ISBN 978-99961-48-45-3

1. Contaminación del agua-Aspectos socioeconómicos. 2. Agua-Análisis. 3. Recursos hidrológicos-Investigaciones. I. Título.

BINA/jmh

AUTORIDADES UTEC

Dr. José Mauricio Loucel

Presidente Junta General Universitaria

Lic. Carlos Reynaldo López Nuila

Vicepresidente Junta General Universitaria

Don José Mauricio Loucel Funes

Presidente UTEC

Ing. Nelson Zárate

Rector UTEC

Aplicación de una función dosis-respuesta para determinar los costos sociales de la contaminación hídrica en la microcuenca del río Las Cañas, San Salvador, El Salvador

José Ricardo Calles Hernández

Vicerrectoría de Investigación

Licda. Noris Isabel López Guevara

Vicerrectora

Licda. Blanca Ruth Orantes

Directora de Investigaciones

Licda. Cecilia Sisnados de Ayala

Diseño y Diagramación

Noel Castro

Corrector

PRIMERA EDICIÓN

125 ejemplares

Agosto, 2015

Impreso en El Salvador

Por Tecnoimpresos, S.A. de C.V.

19 Av. Norte, No. 125, San Salvador, El Salvador

Tel.:(503) 2275-8861 • gcomercial@utec.edu.sv

ÍNDICE

1.	Introducción	12
2.	Marco Teórico	14
2.1.	Calidad ambiental y su relación con la salud humana	14
2.2.	Evaluación de riesgos ambientales para la salud	23
2.2.1.	Aspectos que se deben considerar en la evaluación de impacto en la salud.....	24
2.3.	Valoración económica de la calidad ambiental	29
2.4.	Métodos de valoración de la calidad ambiental	32
2.5.	Estimación del costo social de la contaminación hídrica.....	33
3.	Metodología	35
4.	Resultados y discusión	38
	Caracterización y diagnóstico biofísico	38
4.1.	Ubicación política, geográfica e hidrológica de la microcuenca	38
4.2.	Pendientes	39
4.3.	Climatología.....	39
4.4.	Geomorfología	40
4.4.1.	Cadena volcánica reciente	40
4.4.2.	Depresión central	41
4.5.	Geología	42
4.6.	Hidrología	43
4.7.	Hidrogeología.....	44
4.7.1.	Piezometría general.....	47
4.7.2.	Piezometría de la microcuenca	50
4.7.3.	Parámetros geológicos	52
4.7.4.	Hidroquímica	53
4.7.5.	Caracterización de las aguas subterráneas	54
	Diagramas de Piper	54
	Mapas de concentraciones	56
	Temperatura	57
	Conductividad eléctrica.....	57

pH.....	58
Oxígeno disuelto	58
Cloruros.....	60
Sulfatos.....	60
Sodio	61
Calcio	61
Magnesio.....	62
Potasio.....	62
Fosfatos	63
Nitrato (NO ₃).....	64
Nitrito (NO ₂ ⁻).....	65
Aluminio	66
Hierro	66
Manganeso	67
Relaciones entre parámetros	68
4.8. Recarga hídrica	74
4.9. Calidad del agua superficial.....	75
4.9.1. Fuentes puntuales de contaminación del agua.....	78
4.9.2. Fuentes no puntuales de contaminación del agua.....	82
Caracterización y diagnóstico socioeconómico	83
4.10. Uso del suelo.....	83
4.10.1. Crecimiento urbano.....	86
4.10.2. Población	89
4.10.3. Abastecimiento de agua potable	90
4.10.4. Otras fuentes de abastecimiento de agua.....	91
4.10.5. Salud de la población.....	95
Mortalidad por insuficiencia renal crónica	95
Morbilidad por insuficiencia renal crónica.....	97
Análisis dosis-respuesta	101
Estimación del costo marginal de la contaminación hídrica....	107
5. Conclusiones.....	110
6. Recomendaciones.....	112

7.	Referencias bibliográficas	114
8.	Anexos	118
	REGRESIÓN 1	118
	REGRESIÓN 2	119
	REGRESIÓN 3	120
	REGRESIÓN 4	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1.	Etapas metodológicas de la investigación.....	35
Figura 4.1.	Ubicación de la microcuenca del río Las Cañas	38
Figura 4.2.	Geología de la microcuenca.....	42
Figura 4.3.	Extracto de mapa hidrogeológico en el área de estudio.....	45
Figura 4.4.	Demarcación del acuífero de San Salvador	46
Figura 4.5.	Isopiezas en la microcuenca.....	49
Figura 4.6.	Mapa piezométrico de la microcuenca.....	51
Figura 4.7.	Localización de puntos con información litológica	52
Figura 4.8.	Facies químicas en el diagrama de Piper	54
Figura 4.9.	Diagrama de Piper parte alta.....	55
Figura 4.10.	Diagrama de Piper parte media.....	55
Figura 4.11.	Diagrama de Piper parte baja.....	55
Figura 4.12.	Variación de la temperatura.....	56
Figura 4.13.	Variación de la conductividad eléctrica	58
Figura 4.14.	Variación del pH.....	58
Figura 4.15.	Concentración de oxígeno disuelto	59
Figura 4.16.	Concentración de cloruros	59
Figura 4.17.	Concentración de sulfatos	61
Figura 4.18.	Concentración de sodio.....	61
Figura 4.19.	Concentración de calcio	62
Figura 4.20.	Concentración de magnesio	62
Figura 4.21.	Concentración de potasio	64
Figura 4.22.	Concentración de fosfatos.....	64
Figura 4.23.	Concentración de nitrato	65
Figura 4.24.	Concentración de nitrito.....	65
Figura 4.25.	Concentración de aluminio	66
Figura 4.26.	Concentración de hierro.....	66
Figura 4.27.	Concentración de manganeso.....	67
Figura 4.28.	Relaciones observadas entre magnesio y calcio	68
Figura 4.29.	Relaciones observadas entre otros parámetros.....	70
Figura 4.30.	Red de muestreo comparada con la norma salvadoreña	73
Figura 4.31.	Recarga hídrica	75
Figura 4.32.	Localización de fuentes puntuales de contaminación hídrica.....	80
Figura 4.33.	Localización de fuentes no puntuales de contaminación hídrica.....	81
Figura 4.34.	Uso del suelo.....	84
Figura 4.35.	Evolución del área urbana en el área metropolitana de San Salvador.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Puntos de la red de muestreo que no cumplen la norma salvadoreña.....	71
Tabla 4.2. Valores de ICA y su interpretación.....	77
Tabla 4.3. Valores de ICAs.....	77
Tabla 4.4. Fuentes fijas de contaminación hídrica	79
Tabla 4.5. Fuentes no puntuales de contaminación hídrica.....	82
Tabla 4.6. Uso del suelo	85
Tabla 4.7. Evolución del área urbana en el área metropolitana de San Salvador.....	87
Tabla 4.8. Población por municipio y cantón en la microcuenca del río Las Cañas	89
Tabla 4.9. Producción de agua por municipios para el año 2011	90
Tabla 4.10. Consumo de agua por municipios para el 2011.....	91
Tabla 4.11. Otras fuentes de abastecimiento de agua.....	92
Tabla 4.12. Calidad de agua de otras fuentes de abastecimiento de agua....	93
Tabla 4.13. Mortalidad por insuficiencia renal crónica	95
Tabla 4.14. Morbilidad por insuficiencia renal aguda y crónica	97
Tabla 4.15. Morbilidad por insuficiencia renal crónica (por rango de edades).....	100
Tabla 4.16. Variables del análisis dosis-respuesta.....	103
Tabla 4.17. Morbilidad por insuficiencia renal crónica (con referencia de 20 años)	106

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1. Evolución piezométrica del punto Venecia.....	48
Gráfico 4.2. Mortalidad por insuficiencia renal crónica	96
Gráfico 4.3. Morbilidad por insuficiencia renal aguda	98
Gráfico 4.4. Morbilidad por insuficiencia renal crónica	99

Siglas y acrónimos

AMSS	Área metropolitana de San Salvador
Anda	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
Catie	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
Digestyc	Dirección General de Estadística y Censos
ICA	Índice de calidad del agua general
ICA _s	Índice de calidad sanitaria de las aguas
INS	Instituto nacional de salud
IRA	Insuficiencia renal aguda
IRC	Insuficiencia renal crónica
ERC	Enfermedad renal crónica
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Minsal	Ministerio de Salud
NSO	Norma Salvadoreña Obligatoria
OMS	Organización Mundial de la Salud
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es la estimación monetaria del costo social por contaminación del agua en la microcuenca del río Las Cañas, además de establecer con base estadística, la relación que existe entre la contaminación y la afectación de la salud humana, en dicho territorio. Para ello, se ha diseñado un modelo econométrico en el que se relacionan un conjunto de variables explicativas de la morbilidad por Insuficiencia Renal Crónica (IRC), utilizando elasticidades dosis-respuesta. El comportamiento de la morbilidad por IRC 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 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\$27,870,272.6 por año según cálculo del estudio.

Palabras clave: recurso hídrico, contaminación ambiental, costo social, valoración económica, contaminación hídrica.

1. INTRODUCCIÓN

La microcuenca del río Las Cañas pertenece al departamento de San Salvador, y se localiza entre los municipios de San Martín, Ilopango, Soyapango, Tonacatepeque, Ciudad Delgado y Apopa. En este territorio se verifica una actividad industrial y comercial bastante importante 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.

Por ser un territorio que forma parte del área metropolitana de San Salvador, los recursos naturales que la caracterizan se ven expuestos a las presiones antrópicas propias de las zonas urbanas, 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 estratégicos desde el punto de vista ecológico (bosque, cafetal y agroecosistemas), entre otros aspectos. En esa dinámica de crecimiento poco ordenado del territorio, el recurso hídrico está experimentando serias complicaciones en lo que respecta a su calidad. En el 2011, el MARN calculó el ICA y el ICA_s, obteniendo como resultado, la asignación del agua del río bajo la categoría de “Pésima”, es decir que *“imposibilita el desarrollo de vida acuática”*, y evidentemente por el nivel de contaminación con sustancias tóxicas que presenta, entre ellas metales pesados.

Relacionado con esta situación, se conoce que en la microcuenca existen al menos 19 fuentes puntuales y 15 fuentes no puntuales de contaminación del cauce del río Las Cañas. Las fuentes puntuales contaminantes están constituidas por vertidos industriales y por aguas residuales ordinarias. En las fuentes no puntuales se han identificado vertederos en las laderas de los ríos y quebradas con deposición de todo tipo de desechos: doméstico, industrial, de construcción, peligroso, entre otros.

Esta condición del recurso hídrico genera el empeoramiento de las condiciones de vida de la población que tiene influencia en el territorio. Probablemente, muchas enfermedades están asociadas a una mala calidad ambiental. De hecho, se sabe que las enfermedades respiratorias agudas, así

como el parasitismo y las infecciones gástricas intestinales, ocupan los primeros lugares de morbilidad en el departamento de San Salvador. No obstante, han sido muy escasos los esfuerzos de investigación que brinden un conocimiento más exacto sobre la relación que existe entre los niveles de contaminación ambiental (y específicamente del agua) y la morbilidad por enfermedades que comúnmente se asocian a tal condición.

En ese contexto, y tomando en cuenta que el agua es el recurso integrador y catalizador del desarrollo territorial, es que surge la necesidad de asociar un conjunto de variables que determinen el costo social de la contaminación del agua en la microcuenca del río Las Cañas. Para ello, se plantea esta investigación y se traza como primer objetivo la estimación monetaria (en dólares de los Estados Unidos de América) de ese costo social por contaminación del agua. En segundo lugar, se pretende 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. Y en tercer lugar, se prevé determinar un modelo econométrico en el que se relacione un conjunto de variables explicativas de la morbilidad, utilizando elasticidades dosis-respuesta.

Para cumplir con estos objetivos, se ha diseñado un proceso metodológico que se compone de tres etapas: (i) caracterización y diagnóstico biofísico y socioeconómico de la microcuenca; (ii) análisis dosis-respuesta; y (iii) cálculo del costo social de la contaminación hídrica. Una vez obtenido este costo, se pretende proponer algunas recomendaciones para el control y regulación de la contaminación del agua 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, deben 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.

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo abordará cuatro aspectos relevantes que constituyen el marco conceptual de esta investigación; el primero tiene que ver con la relación que existe entre la calidad ambiental y la salud humana, destacando la relación causa-efecto. En segundo lugar, se revisará la importancia de las evaluaciones físicas en el análisis de los efectos o impactos que provoca la contaminación del agua en la salud humana, delimitados en un tiempo y espacio geográfico. Seguidamente, y como tercer aspecto que se debe considerar, se puntualizará sobre algunos métodos de valoración económica de la calidad ambiental, puntualizando en la técnica de las funciones dosis-respuesta para relacionar la contaminación del recurso hídrico y sus efectos en la salud humana. Finalmente, se abordarán los principios económicos que sustentan la estimación de los costos sociales generados por la degradación del ambiente y, en particular, aquellos costos relacionados con pérdida de bienestar humano por la contaminación hídrica.

2.1 Calidad ambiental y su relación con la salud humana

Son muchos los autores que establecen posición ante la estrecha relación que existe entre la salud no solo del ser humano, sino de comunidades de seres vivos con su entorno. Desde sus primeros ensayos, Robert Malthus¹ aludía a las enfermedades y hambrunas como consecuencia del crecimiento acelerado de la población; pero no solo eso, él establecía que estos impactos no podrían frenarse (y mucho menos revertirse) si el ser humano no actuaba bajo los principios de “*abstinencia y castidad*”. Este planteamiento de Malthus se extendió más allá del pensamiento propio de su época, dando pie a nuevas posturas (neomaltusianas), basadas principalmente en la idea de que la degradación ambiental que se vive en la actualidad es el efecto directo de la superpoblación.

Según Sánchez Alhama (2001), la relación ambiente y ser humano se ha establecido con muchos años de anterioridad, en donde se puede citar a la revolución industrial. De hecho, se habla de una “*forma cultural de enfermar y morir*” a causa de lo que ocurra en el ambiente físico, socioeconómico y político de una sociedad.

¹ *El Primer Principio de la Población*, 1798.

Aledo & Domínguez (2001) mencionan que los aspectos ambientales influyen en la dinámica social de tal forma que la historia de la humanidad no puede ser entendida si no se estudian estos aspectos. Esta influencia no es unidireccional. Se pueden citar varios casos en los que la degradación de ecosistemas naturales por causas humanas trae consigo impactos relevantes en los sistemas sociales y económicos propios del humano. Por ejemplo, de muchos es conocido que la ampliación de la frontera agropecuaria tiene como transfondo la necesidad de expandir geográficamente los sistemas productivos para lograr mayores rendimientos, y con ello posicionar mayor producción en el mercado local o internacional.

La expansión de la actividad agropecuaria ha supuesto la pérdida de cobertura vegetal, principalmente de ecosistemas forestales, con lo cual también se ha alterado el flujo de bienes y servicios que estos proveen a la sociedad (como regulación hídrica y provisión de materia orgánica a los suelos), reduciendo la disponibilidad de agua subterránea para distintos usos e incrementando el riesgo a inundaciones (aguas abajo) por el aumento en los caudales de escorrentía.

En 2006, Prüss-Üstün & Corvalán hacen referencia a la “*carga de morbilidad*” vinculada con el ambiente cuando se trata de enfermedades y afecciones, entendida la morbilidad como la proporción de personas que se enferman en un sitio y tiempo determinados. Estos autores establecen que “*el 24 % de la carga de morbilidad mundial y el 23 % de todos los fallecimientos pueden atribuirse a factores ambientales*”; y no es sino al momento de evaluar las enfermedades, y cómo estas se diversifican por efecto del ambiente, cuando se evidencia la relación que existe entre ambos aspectos (ver recuadro 1). Por lo tanto, podría resultar evidente que, de evitarse (o al menos reducirse) los riesgos ambientales, se pueden reducir casos de morbilidad, discapacidad e incluso de muertes. De ahí que no deba resultar ilusorio pensar en que el ambiente y sus variables² puedan (y deban) recuperarse, e incluso conservarse mediante políticas, leyes, planes y programas de carácter ambiental, pero también relacionados con la salud pública, a fin de mejorar la calidad de vida de la población.

² Al hablar de variables ambientales se alude a las condiciones fisicoquímicas y bióticas que amenazan ineludiblemente a la salud humana.

Entre los riesgos ambientales de mayor preocupación para la sociedad se encuentra la contaminación del aire, indistintamente entre los países en desarrollo y desarrollados. Los 7 millones de defunciones prematuras a escala mundial son el impacto de mayor magnitud provocado por la contaminación del aire exterior e interior (OMS, 2014a). Según esta fuente,³ la situación solo es comparable con los riesgos relacionados con el tabaco, y solo es de menor envergadura que los riesgos sanitarios que causan la hipertensión y la nutrición. Sólo en áreas rurales (a escala mundial), la contaminación atmosférica provoca cada año 3.7 millones de defunciones prematuras, como consecuencia de la exposición a pequeñas partículas de 10 micrones de diámetro (PM10) o menos. Es de subrayar que el 88% de estas defunciones se producen en países de ingresos bajos y medianos.⁴

En 2013, la OMS⁵ manifestó que el ser humano puede padecer de cáncer debido a la contaminación del aire exterior; y más aún, los casos reportados de cáncer de pulmón (los cuales tienden cada vez más a la alza) poseen una conexión muy fuerte con las partículas del aire contaminado identificadas en el exterior. Pero no solo se reportan afectaciones cancerígenas a nivel de pulmón, sino también cáncer de vías urinarias y vejiga.

Recuadro 1: Estadísticas de la Organización Mundial para la Salud (OMS)

De las 102 principales enfermedades, grupos de enfermedades y traumatismos que cubre el “Informe sobre la salud en el mundo de 2004”, los factores de riesgo ambientales contribuyeron a la carga de morbilidad en 85 categorías. La fracción de la morbilidad atribuible específicamente al medio ambiente variaba de manera notable entre las diferentes enfermedades.

3 Centro de Prensa de la OMS. “Calidad del aire (exterior) y salud. Cifras y Datos”. Nota descriptiva n.º313. Marzo de 2014.

4 El Pacífico Occidental y el Asia Sudoriental registran la mayor carga de morbilidad relacionada con este aspecto.

5 Evaluación realizada por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer.

Se calcula que en todo el mundo el 24 % de la carga de morbilidad (años de vida sana perdidos) y aproximadamente el 23 % de todas las defunciones (mortalidad prematura) era atribuible a factores ambientales. En los niños de 0 a 14 años, el porcentaje de muertes que podían atribuirse al medio ambiente era de hasta un 36 %. Había grandes diferencias entre regiones en la contribución del medio ambiente a las diversas enfermedades, debido a diferencias en la exposición ambiental y el acceso a la atención sanitaria entre las diversas regiones. Por ejemplo, aunque el 25 % de todas las muertes registradas en las regiones en desarrollo eran atribuibles a causas ambientales, en las regiones desarrolladas solo el 17 % de las muertes se atribuía a estas causas.

- *La carga de morbilidad por diarrea está asociada en aproximadamente un 94 % a factores de riesgo ambientales tales como el consumo de agua no potable y el saneamiento y la higiene insuficientes.*
- *Las infecciones de las vías respiratorias inferiores están asociadas a la contaminación del aire en locales cerrados, relacionada en gran medida con la utilización de combustible sólido en los hogares y posiblemente con la exposición pasiva al humo del tabaco, así como con la contaminación del aire exterior. En los países desarrollados, aproximadamente el 20 % de estas infecciones es atribuible a causas ambientales, y en los países en desarrollo ese porcentaje llega hasta un 42 %.*
- *Entre las «otras» lesiones accidentales están las causadas por los peligros en el lugar de trabajo, la radiación y los accidentes industriales; el 44 % de estos traumatismos es atribuible a factores ambientales.*
- *El porcentaje de paludismo atribuible a factores ambientales modificables, un 42 %, está asociado a las políticas y prácticas de aprovechamiento de tierras, deforestación, ordenación de los recursos hídricos, ubicación de los asentamientos y modificación*

del diseño de las viviendas; por ejemplo, la mejora de los desagües. A los efectos de este estudio, la utilización de mosquiteros tratados con insecticida no se consideró una medida de gestión del medio ambiente.

Fuente: Prüss-Üstün & Corvalán, 2006.

De igual interés debe ser la contaminación del aire en los interiores, ya que, para unas 3.000 millones de personas, la quema de biomasa (leña y otros compuestos) y carbón representa un riesgo grave para la salud. Tanto así que 4.3 millones de defunciones prematuras ocurridas en 2012 eran atribuibles a la contaminación del aire en los hogares. Casi todas se produjeron en países de ingresos bajos y medianos (OMS, 2014a). Otros datos relacionados con la contaminación del aire se presentan en el recuadro 2.

Recuadro 2: Datos de la OMS respecto a la contaminación del aire y sus impactos en la salud

- *La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma.*
- *Cuanto más bajos sean los niveles de contaminación del aire mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo.*
- *Las directrices de la OMS sobre la calidad del aire ofrecen una evaluación de los efectos sanitarios derivados de la contaminación del aire, así como de los niveles de contaminación perjudiciales para la salud.*
- *Las políticas y las inversiones de apoyo a medios de transporte menos contaminantes, viviendas energéticamente eficientes, generación de electricidad y mejor gestión de residuos industriales y municipales permitirían reducir importantes fuentes de contaminación del aire en las ciudades.*

- *La reducción de las emisiones domésticas derivadas de sistemas energéticos basados en el carbón y la biomasa, así como de la incineración de desechos agrícolas (por ejemplo, la producción de carbón vegetal), permitiría limitar importantes fuentes de contaminación del aire en zonas periurbanas y rurales de las regiones en desarrollo.*
- *La disminución de la contaminación del aire reduce las emisiones de CO₂ y de contaminantes de corta vida, tales como las partículas de carbono negro y el metano; y de ese modo contribuye a mitigar el cambio climático a corto y largo plazo.*

Fuente: Centro de Prensa de la OMS. Calidad del aire (exterior) y salud. Cifras y Datos. Nota descriptiva N°313. Marzo de 2014 (OMS, 2014a).

Los impactos en la salud ocasionados por la contaminación del aire también son evidentes en El Salvador. Según la “Política nacional del medio ambiente” (MARN, 2012), *“la contaminación del aire es un problema de gran impacto en la salud”*. Entre las causas de la contaminación se encuentra la quema, considerada una práctica agropecuaria de impacto negativo sobre el ambiente, la cual es utilizada para la eliminación de rastrojos en terrenos que se preparan para la siembra, cosecha de la caña de azúcar, incendios forestales para expansión de la frontera agrícola, entre otros ejemplos.

La segunda causa de contaminación del aire son las emisiones generadas por los vehículos, incluidos los autobuses del transporte público. Estas emisiones están constituidas, en una importante proporción, por partículas con un tamaño menor a 10 micrones de diámetro (PM10), las cuales ingresan con facilidad al sistema respiratorio, provocando serias complicaciones de salud. El MARN (2012) afirma que *“las enfermedades respiratorias son la principal causa de enfermedad en El Salvador, y en ello incide la contaminación del aire”*. Según publica este ministerio en su página web, en el corto plazo, este material particulado genera problemas que dificultan la respiración (tos, presión en el pecho, entre otros); pero en el largo plazo, se puede observar pérdida de capacidad pulmonar, agudización de enfermedades existentes, desarrollo de enfermedades respiratorias en infantes y muerte precoz de las personas que padecen de enfermedades pulmonares.

El Minsal reportó, en el período de enero a junio del 2013, que las *“infecciones agudas de las vías respiratorias superiores”* es la causa más frecuente de consulta ambulatoria, atendida en los Hospitales de dicho ministerio (Minsal, 2013), con un total de 706.220 personas (de todas las edades), de las cuales, 471.891 (67 %) son menores de 9 años.

La contaminación del agua es otro de los riesgos ambientales de mayor importancia, a la cual se asocian las enfermedades diarreicas, debido al poco acceso que tiene la población al agua potable y saneamiento. A escala mundial, las muertes por esta causa suman 1.7 millones cada año. Además, *“la carga de morbilidad por diarrea está asociada en aproximadamente un 94 % a factores de riesgo ambientales, tales como el consumo de agua no potable y el saneamiento y la higiene insuficientes”*, según establecen Prüss-Üstün & Corvalán (2006).

Un factor que afecta grandemente la calidad del agua con aptitud para el consumo humano es la contaminación con materia fecal, la cual es considerada como la causa principal de 4.000 muertes diarias en el mundo, mayoritariamente de niños y niñas menores de cinco años (Unicef, 2005).

Con base en información disponible de la Digestyc (2014), en 2013 el porcentaje de la población de El Salvador con acceso al servicio de agua por cañería fue del 86,2 %; mientras que, según Anda (2013), la población que posee alcantarillado sanitario es de 41,7%. Estos números reflejan un claro déficit del servicio de alcantarillado, equivalente al 44,5 %, lo que significa que esta población dispone las aguas negras en otros cuerpos receptores.

Entre tanto, la Digestyc (2014) asegura que el 12,9 % de la población que habita en el área rural (306.337 personas) se abastece de agua superficial y subsuperficial de fuentes como ríos, quebradas, manantiales (protegidos y no protegidos), entre otros medios. Mientras en el área urbana ese porcentaje equivale al 6,1 %, es decir, 238.858 personas. En suma, en el país aún se contabilizan 545.195 personas (8,7 % de la población) que no disponen de fuentes de agua segura para su consumo. Tomando en cuenta esta información, no es extraño que en el 2013 la diarrea y la gastroenteritis ocupen el segundo lugar de los principales eventos de notificación obligatoria en el país, con 350.989 casos; seguido del parasitismo intestinal, con 223.384 casos (Minsal, 2013).

De particular interés se considera el riesgo ambiental identificado en las comunidades agrícolas del bajo Lempa y su relación con la prevalencia de casos de ERC. Esta enfermedad tiene causas tradicionales como la diabetes, hipertensión, historia familiar de ERC, tabaquismo y alcoholismo (como las principales). No obstante, en 2009, con el apoyo de la OPS, el Minsal y profesores del Instituto de Nefrología del Ministerio de Salud Pública de Cuba, se llevó a cabo el estudio denominado “Nefrolempa”, el cual se enfocó en la identificación de factores de riesgo tradicionales y no tradicionales (como el contacto con agroquímicos sin protección, algunos de los cuales son altamente tóxicos y/o están prohibidos), *“que podrían actuar de manera sinérgica, contribuyendo al daño renal”* (INS, 2014a).

Adicional a dicho estudio, el mismo instituto (2014b) menciona que se ha realizado otra investigación en comunidades suburbanas del departamento de San Miguel, y otra en la región occidental del país, comunidad Guayapa Abajo (municipio de Jujutla, departamento Ahuachapán). En total, han sido estudiadas 5.018 personas (entre adultos y niños), que conforman 1.306 familias, algunas localizadas en comunidades agrícolas del país.

De estos estudios se han planteado dos posibles orígenes de la ERC; uno más relacionado con las altas temperaturas y la deshidratación, acompañado de una frecuente descomposición del tejido muscular, cuyos componentes se vierten en la sangre, causando daño renal; y el otro, asociado a múltiples factores, pero principalmente con uno, que guarda relación con la exposición a toxinas del ambiente y metales pesados, transportados como contaminantes en productos agroquímicos. En otras palabras, se ha determinado que el factor ambiental que magnifica el riesgo para la prevalencia de la ERC es una exposición continua a metales pesados (plomo, cadmio, arsénico, mercurio y uranio), así como a productos agroquímicos y a otras sustancias nefrotóxicas.

De igual relevancia podría considerarse la exposición continua a la contaminación del suelo, sedimentos y agua; por ello, como parte de un estudio realizado por el área de investigación en salud ambiental y ocupacional, y el área de sistemas de información geográfica del INS, se desarrolló un muestreo ambiental en la región del bajo Lempa, entre octubre del 2012 y marzo de 2013, a partir del cual se obtuvieron muestras

de agua superficial, agua subterránea, suelo de vivienda, suelo de parcela y de sedimentos (INS, 2014a).

En los resultados de esa investigación, se observó que todas las muestras presentaban niveles elevados de arsénico (As), incluyendo las aguas superficiales y subterráneas; lo cual hizo concluir a los investigadores que existe una notoria presencia de As en el ambiente de las comunidades estudiadas y sus alrededores, y que en algunos casos supera los límites recomendados por la norma salvadoreña de uso obligatorio para el agua de consumo (NSO 13.07.01:08 2009).

Una conclusión muy relevante de esta investigación es que *“los resultados obtenidos pueden generalizarse para otras partes del país”* (INS, 2014a), sobre todo en aquellas con características ambientales y sociales similares a las de la comunidad estudiadas; incluso *“áreas agrícolas en donde de forma natural se han detectado grandes cantidades de As, como es el Lago Ilopango”* (López et al., 2012 y McClintock et al., 2012, citado por el INS, 2014a).

En definitiva, tanto la ERC como sus estadios (tercero al quinto) expresada en la IRC representan serios problemas de salud para la población del país. De hecho, a escala nacional, la ERC es la *“principal causa de muerte hospitalaria en la población adulta, la segunda causa de mortalidad en toda la población masculina y la quinta causa de muerte en personas de mayores de 18 años”* (INS, 2014c). Cabe señalar también que, de acuerdo con esta fuente de información, hace falta por completar lo que se conoce respecto a la epidemiología en El Salvador. De hecho, el recurso humano es escaso, ya que solo existe un nefrólogo por cada 188.888 habitantes, cuando la OMS recomienda uno por cada 50.000 personas. Esta baja cobertura de los servicios médicos es un obstáculo para poder cumplir, entre otros aspectos, con el dictámen #12 de la Comisión de medio ambiente y cambio climático de la Asamblea Legislativa, el cual establece la obligatoriedad de exámenes médicos que deben realizarse a personas expuestas al uso de agroquímicos (Asamblea Legislativa de El Salvador, 2013).

2.2 Evaluación de riesgos ambientales para la salud

La evaluación de riesgos ambientales para la salud es muy útil para la formulación de políticas, leyes, planes y programas, así como para la misma planificación de investigaciones, siempre que sea respaldada con información científica. Evaluar la exposición ambiental, entre otros aspectos, es clave para una evaluación de riesgos; y en ese campo, las investigaciones epidemiológicas juegan un papel preponderante. Asimismo, son relevantes los datos toxicológicos, que a falta de información epidemiológica son fundamentales para la caracterización de los peligros para la salud y en la estimación de los riesgos ambientales. Sin embargo, no siempre es posible disponer de evidencia científica suficiente, aún cuando se requiere tomar decisiones respecto a la gestión de riesgos ambientales (o reducción de vulnerabilidad); por ello, es clave traer a cuenta el *principio precautorio* para guiar acciones públicas o privadas, en caso de incertidumbre.

En el “Informe del grupo de expertos sobre el principio precautorio”, realizado por la Comisión Mundial de Ética del Conocimiento Científico y la Tecnología (Comest, 2005), se presenta la definición de dicho principio, establecida en la Declaración de Río (Naciones Unidas, 1992), el cual reza así: *“Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación de medio ambiente”*.

En la evaluación de riesgos ambientales para la salud es perfectamente aplicable el principio precautorio, ya que en muchas ocasiones la incertidumbre obligará a la determinación de hipótesis y presunciones. De hecho, la misma incertidumbre debe entenderse más allá de *“inexactitud de cifras”*. El Comest (2005) menciona que la incertidumbre *“contiene dimensiones cuantitativas y cualitativas, caracterizadas estas últimas por las limitaciones de los métodos de evaluación, la ignorancia, el empleo de hipótesis y la limitada solidez social de las conclusiones”*. Por lo tanto, debe tomarse en cuenta que las evaluaciones de riesgos ambientales para la salud eventualmente carecerán de algún método para determinar esa dimensión cualitativa de la incertidumbre, la cual, en

muchas ocasiones (incluso) podrá ser utilizada (exagerada o distorsionada) de forma tendenciosa, de manera que puede ocurrir que ni la investigación científica sea efectiva para la determinación de los riesgos ambientales, por lo que el principio precautorio es clave.

Según la OMS (2000), en la evaluación de riesgos ambientales para la salud, deben tomarse en cuenta dos actividades: (i) la caracterización de peligros para la salud, utilizando evidencia epidemiológica disponible que permita establecer la relación entre un factor ambiental y la salud del ser humano; y (ii) la evaluación del impacto ambiental en la salud, que equivale a magnificar el efecto que tiene una determinada exposición ambiental sobre la salud de una población. En la primera actividad son de mucha utilidad los modelos de *evaluación dosis-respuesta*, definidos por el Consejo de Investigación Nacional de los Estados Unidos (NRC), siempre que sean soportados por estudios epidemiológicos. En tanto que para la segunda actividad se permutan los aspectos anteriores con una efectiva cuantificación de la exposición ambiental.

Según Scott-Samuel (1998; citado por OMS, 2000), *“la evaluación de riesgos ambientales para la salud es una contribución significativa al concepto más amplio de evaluación de impacto en la salud”*, en tanto que la evidencia epidemiológica que se presenta para relacionar las variables ambientales y la salud es empleada (también) para evaluar el impacto en la salud que representan algunas exposiciones ambientales, lo cual efectivamente representa un notable aporte para los tomadores de decisión en el diseño de políticas, leyes, planes y programas de salud pública y privada, respecto a los factores que determinan la salud (desde un punto de vista más amplio), alimentación, el tabaquismo, alcoholismo, sedentarismo, entre otros.

2.2.1. Aspectos que se deben considerar en la evaluación de impacto en la salud

La evidencia epidemiológica es de gran utilidad en tanto que cuantifica el número “esperado” de personas afectadas en su salud, como consecuencia (atribuible) a la exposición de un determinado factor ambiental, lo cual, justamente, es un insumo básico para la evaluación de impacto en la salud, cuyos resultados también pueden aportar al marco normativo, en tanto que

proporciona información para el proceso de evaluación ambiental de actividades, obras o proyectos (incluyendo la categorización A1, B1 y B2, que el MARN ha establecido en la Ley del Medio Ambiente).

De similar importancia son los resultados de una evaluación de impacto en la salud en el diseño de políticas ambientales (locales y nacionales), así como en la re-definición de las normas técnicas para la calidad ambiental y sus límites permisibles, exigidos en la Ley del Medio Ambiente, y contenidos en su reglamento especial. La evaluación de impactos a la salud también es fundamental para el tratamiento de casos de contaminación local, y para el cálculo de los costos y/o beneficios sociales de externalidades negativas (contaminación ambiental) y/o positivas (servicios ecosistémicos) de actividades productivas.

Por otra parte, se debe tener suficiente claridad de que en el proceso de cuantificación de impactos en la salud, derivados por los peligros ambientales, no siempre se puede asumir el fenómeno de “causalidad”, aunque este (tradicionalmente) hace que se justifique la significancia de la evaluación de impactos en la salud. Por esta razón, es necesario saber que entre las causas que provocan impactos también se incluyen aspectos (no tradicionales) de carácter social y económico, cuya medición directa resulta difícil (o compleja), tales como el tabaquismo, alcoholismo, sedentarismo, las condiciones higiénicas y de salubridad, la automedicación, entre otras.

Respecto al factor de exposición, se requiere que este sea mensurable y explícito, además de que debe ser analizado de forma interdisciplinaria, ya que, por un lado, se debe determinar la distribución de la exposición en la población que, en caso de no conocerse, se reemplaza con un porcentaje de la población expuesta, aunque lo óptimo es disponer de esa información. Y por otro lado, una efectiva determinación de la exposición da pie para completar la función de “respuesta” que permitirá cuantificar la relación entre la “dosis” (o exposición) y el efecto en la salud.

Es necesario poner atención a la relación que debe guardar la información sobre la “dosis” y su distribución en la población, ya que se puede cometer el error de evaluar el impacto en la salud por la exposición de un factor ambiental utilizando indicadores erróneos, o funciones dosis-

respuesta expresadas de forma deficiente. Como establece la OMS (2000), la función dosis-respuesta es una *“función que puede ser presentada como la pendiente de una línea de regresión, como una medida del riesgo relativo para un cambio dado en la exposición o como una comparación entre –expuestos- y -no expuestos-”*.

Por ejemplo, si en una evaluación de impacto en la salud que estudia los efectos de la contaminación hídrica, como factor de morbilidad por enfermedades gastrointestinales en niños menores de 9 años, se sugiere desarrollar una función dosis (exposición)-respuesta que determine el número de casos reportados de niños enfermos en ese rango de edad, como una función de la calidad del agua que ingieren (por ejemplo mediante un parámetro de calidad de agua como puede ser la concentración de coliformes fecales), por encima de las normas de calidad de agua potable, entonces en condiciones óptimas se demandaría de información relacionada con la calidad del agua que consume ese segmento de la población durante un período determinado, y no información sobre las fuentes (fijas o difusas) que generan dicha contaminación.

El cálculo de esta distribución permite cuantificar el número de casos atribuibles a la “dosis” analizada. Por lo tanto, disponer de esa información es clave, pero a la vez puede ser una seria limitante de la evaluación, aunque podrían tomarse como referencia los datos obtenidos por estudios epidemiológicos (o sistemas de monitoreo) en poblaciones y territorios geográficos similares. En cualquier caso, también puede considerarse una evaluación de tipo “simplificada”, en la que se “estima” un porcentaje (proporción) de personas expuestas, con el cuidado de respetar la definición que proponen (al respecto) otros estudios epidemiológicos de los cuales se han obtenido esas estimaciones. Por ejemplo, Ferley (1989; citado por OMS, 1998), compara el riesgo relativo del baño con agua dulce (de diferente calidad) para un recuento “promedio” de 50 versus 20 por 100 ml de estreptococos fecales, tomando en cuenta que esa exposición tiene como efecto en la salud, enfermedades gastrointestinales agudas; y para ambos casos, el riesgo se cuantifica en 1,24 (con el 95 % de intervalo de confiabilidad). Ahora bien, para poder aplicar estos valores de referencia de manera individual (exposición por persona), se deberían considerar los síntomas entéricos para una sola persona con un número determinado de exposiciones (baños) por temporada (valor exacto).

Por otra parte, si la “dosis” supone un conjunto de agentes contaminantes, es necesario analizar y seleccionar los parámetros relacionados con los agentes que se quiere evaluar. En otras palabras, es necesario considerar la posibilidad de evaluar uno o más parámetros según la fuente de donde proviene la “dosis” (agua superficial o subterránea), con el cuidado de que dichos parámetros estén fuertemente correlacionados y que los efectos en la salud sean comparables, debiendo demostrarse tal condición. Por ejemplo, la mezcla de contaminantes del agua (microbiológicos, físico-químicos, metales pesados, entre otros) puede ocasionar efectos similares en la salud en los mismos segmentos de la población (tal es el caso de la morbilidad por enfermedades gastrointestinales en niños y neonatos). De manera que no es correcto *“sumar el número de casos atribuidos a cada uno de los contaminantes indicadores de una Evaluación de Impacto en la Salud, pues cada estimado puede representar al mismo grupo afectado”* (Seethaler, 1999; Sommer et al, 1999; citado por OMS, 2000).

La evaluación de impacto en la salud no estará completa si no incorpora la escala de tiempo de la “dosis”, aunque sea considerada como otra fuente de incertidumbre, lo cual debe quedar establecido en el análisis mismo. De igual forma, el rango de “exposición” debe quedar definido en la evaluación, del cual depende la magnitud de la respuesta en la salud de la población. Según sea el objetivo, se podrá establecer un valor máximo y otro mínimo en la distribución de la exposición; este último podrá ser un valor de “referencia”, de manera que un valor menor a ese equivale a un efecto despreciable (no medible o “natural”) en la salud de la población analizada. En todo caso, aunque la ponderación de estos valores sea variable, la decisión deberá respaldarse con análisis epidemiológicos y toxicológicos, dejando clara la razón por la que se opta por un valor determinado (OMS, 2000).

Lo anterior es de utilidad cuando se trata de daños a los recursos naturales por alguna actividad del ser humano; pero se sabe que difícilmente se producirán concentraciones que generen un nivel de exposición riesgoso. De igual forma, en muchas ocasiones, interesará más la evaluación del efecto en la salud por encima de un valor determinado a priori, cuya referencia podría estar relacionada con los límites máximos permitidos en el reglamento especial de normas técnicas de la calidad ambiental, establecidos en la Ley del Medio Ambiente.

El rango de exposición también es relevante para obtener resultados útiles en la evaluación de impacto en la salud de una población específica. En algunos casos, dicha exposición está por encima (o por debajo) de los valores obtenidos en estudios epidemiológicos, y de los mismos modelos dosis-respuesta de referencia. De ser así, se propone analizar la posibilidad de “extrapolar” los valores de referencia a las condiciones particulares de la población en estudio. De hecho, es conveniente discutir el establecimiento de una respuesta en salud hasta cierto nivel de “dosis”, por encima de la cual no serían ponderados los impactos generados.

Por ejemplo, en algunas evaluaciones del impacto de la contaminación del agua marina en la salud de turistas que practican actividades acuáticas, y sobre la base de estudios epidemiológicos, se estiman tasas de incidencia (por cada 1.000 personas) de síntomas entéricos, comparando el valor percentil de 95 de estreptococos fecales (por 100 ml). Según la mayoría estos estudios, se establece que un valor de 10 se encuentra por debajo del nivel de efecto adverso no observable, es decir, que la carga estimada de la enfermedad es de *“menos de una única incidencia excesiva de síntomas entéricos para una familia de cuatro bañistas adultos sanos con 80 exposiciones por temporada de baño (valor exacto) durante un periodo de cinco años, lo que representa un total de 400 exposiciones”* (OMS, 1998). Pero podría resultar que, en una playa en condiciones distintas a las evaluadas en estos estudios, se presenten enfermedades entéricas por encima de un valor de 10 (supuestos como de riesgo mínimo), generando impactos considerables en la salud de los turistas que visitan dicho sitio.

Esto demuestra que las extrapolaciones (en muchos casos) podrían resultar equivocadas o con un elevado nivel de incertidumbre, por lo que deben aplicarse con cuidado, reconociendo sus limitaciones y efectos potenciales sobre los resultados de la evaluación; a excepción de aquellos casos fundamentados en información biológica sobre los impactos en la salud de que se trate.

En la determinación del número de casos atribuibles también es importante cuantificar la correlación existente entre el riesgo y el número de repeticiones del impacto que provoca, lo cual se establece a partir de la relación dosis-respuesta. En todo caso, debe quedar lo suficientemente claro el

proceso para la determinación de los modelos o funciones dosis-respuesta, ya que los distintos estudios epidemiológicos y la incertidumbre pueden definir distintas funciones de este tipo. Por ello, es crucial disponer de información epidemiológica confiable y cuantitativa, según el propósito de la evaluación que se quiere desarrollar. En algunos casos se deberá recurrir al criterio de expertos u otros métodos que contribuyan a la definición de las funciones; y en el proceso se deben cuantificar las incertidumbres y hacer explícitas las diferencias entre los estudios tomados como referencia en la evaluación de impacto en la salud que se está desarrollando. Por eso, la prioridad en la selección de los estudios que se han de utilizar como referencia es que se emplee la misma medida de cuantificación de la dosis analizada en la población que se está evaluando. No obstante, con menor prioridad, pueden utilizarse estudios expresados en unidades distintas a la evaluación que se desarrolla, con la salvedad de que deberán convertirse a las unidades de análisis.

La “*generalización de una población a otra*”, respecto a los riesgos que se están evaluando, es un aspecto que se debe considerar, ya que probablemente habrá que basarse en estudios para determinar la existencia de factores sociales y/o económicos que magnifiquen o atenúen los riesgos ambientales; por ejemplo, la morbilidad por enfermedades gastrointestinales como consecuencia de la contaminación del agua se puede agudizar por efecto de un limitado acceso al servicio de agua potable y saneamiento, prácticas higiénicas y desnutrición (sobre todo infantil), entre otros factores, por lo que necesariamente tienen que ser considerados en la evaluación de impacto en la salud.

2.3. Valoración económica de la calidad ambiental

La calidad ambiental se refiere al “estado” de los recursos naturales que permite su disponibilidad y acceso, como un derecho del ser humano; pero que a su vez tiene la característica de ser susceptible de ser modificado. Por tanto, la valoración económica de la calidad ambiental intenta superar los vacíos del mercado, dado que permite estimar el valor monetario del “beneficio” (o su pérdida) que percibe la sociedad de un territorio geográfico determinado, por dicho estado de los recursos naturales, ya que el mercado (por sí mismo) no otorga dicho valor en las relaciones de oferta y demanda.

Según Barrantes & Di Mare (2004), los beneficios que la sociedad percibe de los recursos naturales pueden aglutinarse en siete grupos: (a) materia prima; (2) consumo de bienes y servicios ambientales; (3) seguridad; (4) esparcimiento; (5) desarrollo espiritual; (6) protección a desastres naturales, y (7) protección a la salud. La calidad ambiental también alude a la “cantidad” de estos beneficios, y por su característica de “susceptibilidad a ser alterada” se puede hacer referencia a “*escasez de calidad ambiental*” o de estos beneficios. De manera que es precisamente por esto que la economía puede ser aplicada, en tanto que (por definición) es la ciencia que administra los recursos escasos (o limitados) para satisfacer necesidades crecientes o ilimitadas.

Las modificaciones a la calidad ambiental tienen su origen principalmente en actividades humanas, tales como las que mencionan Barrantes & Di Mare (2004): (1) contaminación; (2) introducción de organismos exóticos; (3) deforestación; (4) quemas e incendios; (5) extracción; (6) modificación del paisaje; (7) modificación del régimen hídrico; (8) usos abusivos del suelo; y (9) construcciones.

Según el Artículo 5 de la Ley de Medio Ambiente, “*cualquier alteración significativa, positiva o negativa, de uno o más de los componentes del ambiente, provocada por la alteración humana o fenómenos naturales en un área de influencia definida*” es considerada un impacto ambiental, el cual supone una pérdida de bienestar para la sociedad, generando lo que Moreno & Ussa (2008) denominan “*pasivo ambiental*”, el cual se define como “*un costo ambiental causado por la manifestación simple, sinérgica y/o acumulativa de uno o varios impactos ambientales derivados de una actividad específica ligada a un proyecto o una extracción, el cual desencadena externalidades en terceros, diferentes a los receptoradores del beneficio derivado de dicha actividad*”.

De ahí que la valoración de la calidad ambiental esté fundamentada en los aspectos económico y financiero del impacto ambiental, en tanto que cuantifica en unidades monetarias la alteración que se ha producido al ambiente y sus distintas variables, bajo el principio de que dicha alteración representa un uso “ineficiente” y “excluyente” de los recursos naturales, equivalente a la pérdida de bienestar social que deriva en afectaciones a la salud y los costos de tratamiento y recuperación por enfermedades, reducción en la productividad laboral y pérdida de ingresos asociadas al salario, entre otros aspectos.

Entonces, el objetivo de la valoración económica de la calidad ambiental es justamente traducir el impacto ambiental y las afectaciones que este provoca (en el ser humano y el ambiente) en unidades “transables” en el mercado, ya sea costos o beneficios (utilidades), y de esa forma contribuir a la eficiencia en el uso y aprovechamiento de los recursos naturales. A su vez, una valoración de este tipo contribuye a que los tomadores de decisión elaboren políticas públicas e instrumentos de gestión con el enfoque de maximización de los beneficios económicos y financieros, pero con el menor costo ambiental y social posible (Tomasini, 2007).

Sucede que los impactos en la calidad ambiental también redundan en afectaciones sociales, o en la pérdida de los beneficios que percibe la sociedad por el flujo de bienes y servicios que generan los recursos naturales. Cuando esto ocurre es imperante compensar el daño causado en una cuantía equivalente a dicha pérdida de bienestar, por lo que se deben conocer los beneficios que los recursos naturales proveen al ser humano, y de esa forma estimar la relación entre el daño ambiental y la pérdida de bienestar. Como ejemplo, en caso de que un río sufra contaminación, en la cabecera de la cuenca hidrográfica que lo confina, se afecta la disponibilidad (en cantidad y calidad) del agua para distintos usos, entre ellos el doméstico, lo cual provoca una reducción evidente de los beneficios que las comunidades (o familias) perciben cuando se abastecen de agua apta para consumo humano; por el contrario, se exponen al riesgo de enfermedades gastrointestinales y a la pérdida de la salud en general, que trae consigo afectaciones indirectas como el gasto para acceder a fuentes de agua seguras, pérdida de ingresos por ausentismo laboral (o escolar), entre otras.

Cuando la sociedad ve mermado su bienestar a causa de un deterioro de la calidad en algún recurso natural, puede, por un lado, continuar disponiendo de los beneficios del entorno natural, pero en una menor cantidad y calidad; o por el otro, “reponer” o sustituir dichos beneficios con otros bienes y servicios, que en magnitud (o importancia) equivalgan a los que ha dejado de percibir como consecuencia de la afectación del capital natural. Finalmente, la sociedad puede renunciar de forma definitiva (o temporal) a la posibilidad de aprovechar un bien natural. En cualquier caso, se trata de una “pérdida de bienestar” que necesariamente debe compensarse a una magnitud tal que se logren los niveles de satisfacción que se tenían previo al daño ambiental.

2.4. Métodos de valoración de la calidad ambiental

Antes de poder analizar el valor de la calidad ambiental, es necesario traer a cuenta nuevamente la valoración que la sociedad otorga a los recursos naturales por el “uso” que esta les da. Es así como pueden haber dos opciones: (i) por un lado, se reconoce un uso directo (e indirecto), que también puede denominarse *uso actual de un recurso*; o bien (ii) un uso opcional (o de existencia), que se conoce como *uso potencial del capital natural*. De esta forma, si se requiere estimar el valor total de uno o varios recursos naturales, deberán sumarse tanto el valor directo como el de opción, lo cual no es sencillo, ya que si se tratase del recurso hídrico (por ejemplo), resulta complicado determinar dicho valor, dados los múltiples valores de opción, además de que muchos valores indirectos (o directos) no poseen un precio; y mucho menos de mercado.

Es por ello que se prefiere hacer un cálculo indirecto del valor de los recursos naturales a partir de comparaciones entre el estado natural del recurso (calidad) y la oferta de bienes y servicios que genera, para que la sociedad disponga de ellos (con el consiguiente bienestar que eso produce). Pero se ha dicho antes que, dependiendo del “estado de conservación” de un recurso natural, así es la calidad y cantidad de bienes y servicios que este provee a la sociedad, lo cual es fundamental si se quiere conocer el cambio en el nivel de bienestar de la sociedad debido a una variación en el estado de conservación de un recurso. En consecuencia, si un recurso natural es rehabilitado (en cantidad y calidad), se puede prever que los beneficios que la población percibe se verían incrementados.

La técnica de valoración que se detallará en esta investigación es aquella que utiliza los precios de mercado para valorar los impactos producidos por una alteración en la calidad de los recursos naturales, particularmente el agua. Dichos precios efectivamente transmiten al mercado una señal de escasez económica, por lo que esencialmente se utilizan para contribuir a una eficiencia económica mediante la disposición a pagar por los beneficios que se generan cuando el ambiente y sus recursos naturales están conservados.

A lo que se hará referencia nuevamente es al hecho de que los impactos en la calidad de un recurso natural (que puede ser el agua) se

traducen en cambios (generalmente no deseados) en la salud de la población. Estos cambios son la base para la asignación de valores que se derivan de los precios de mercado, considerando varios enfoques, entre ellos, el del *costo de enfermedad*. En este caso, la valoración se basa en el costo de la morbilidad por enfermedades asociadas a la contaminación, por lo que interesa establecer una relación matemática entre una variable y otra, a la cual se la denomina *función dosis-respuesta*. Realmente lo que está detrás de esta técnica es una correlación de variables, planteada como una medida matemática lo más ajustada y exacta posible, que determine el grado de relación entre las variables; es decir, que exprese la diferencia existente entre la ecuación obtenida por regresión (valores estimados) y los valores reales de una distribución de observaciones.

Por lo tanto, la función dosis-respuesta, para el caso de la valoración económica de la contaminación hídrica, es una función matemática que relaciona lo mejor posible las distintas variables que intervienen en una relación de causa-efecto (por ejemplo: la morbilidad por IRC como efecto de la exposición o ingesta de agua contaminada con sustancias químicas u orgánicas en una población y un espacio geográfico determinados), *“de manera que conocidos determinados valores de las variables, se pueden calcular otros con una gran aproximación”* (Fernández Fernández, Cordero Sánchez, & Córdoba Largo, 2002).

Según, estos autores, es necesario realizar ajustes matemáticos mediante técnicas específicas. En esta investigación se utilizará el método de los “mínimos cuadrados ordinarios”, el cual consiste en obtener la pendiente y el valor de b (en el origen) de la ecuación lineal obtenida como la mejor expresión matemática que ajusta la cantidad de observaciones o series de datos analizados. Una vez determinada esta función, puede aplicarse para relacionar los valores de contaminación ambiental, y así estimar los impactos en la salud.

2.5. Estimación del costo social de la contaminación hídrica

Una vez que se establece la función dosis-respuesta, es menos complejo conocer la sensibilidad o elasticidad de la variable dependiente (daño en la salud) versus los cambios en la calidad de un recurso natural. Dicha elasticidad se entiende como el cambio porcentual en la morbilidad, derivado del cambio en la concentración o volumen de contaminantes del agua y al ser cuantificada

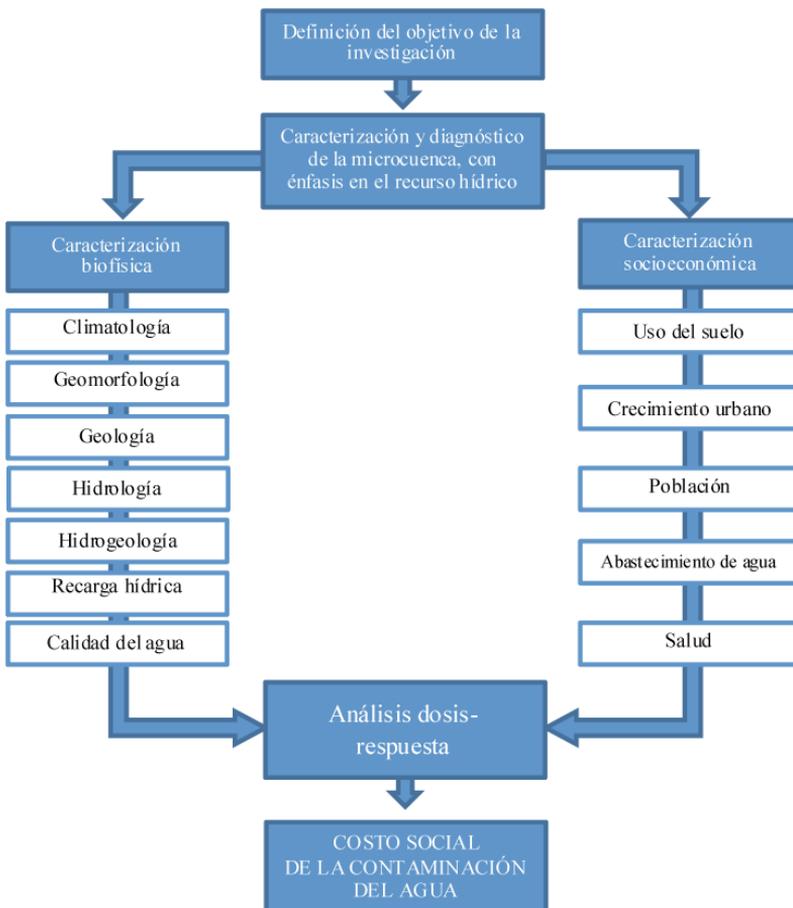
permite relacionar el costo médico (precio de mercado) necesario para atender los efectos de la contaminación en la salud de una población determinada, en un espacio temporal y geográfico particular. Los costos médicos pueden incluir costos de hospitalización, tratamiento y/o medicamentos.

Desde esta perspectiva, los costos sociales representan efectivamente la estructura completa de un proceso productivo en relación con la sociedad en su conjunto. Al utilizar este costo, lo que se persigue es que las actividades productivas “internalicen” los costos que se derivan de la degradación ambiental, avanzando hacia la eficiencia económica.

3. METODOLOGÍA

El proceso metodológico de esta investigación se basa en tres etapas bastante bien definidas, las cuales incluyen, dentro de cada una, tareas específicas que contribuirán al logro de los objetivos propuestos (figura 3.1). En primer lugar, se hará una caracterización y un diagnóstico de la microcuenca del río Las Cañas, haciendo énfasis en las condiciones del recurso hídrico respecto a su estado (cantidad y calidad) actual. Esta etapa incluye una caracterización biofísica, basada en la descripción de las siguientes variables ambientales: (i) climatología; (ii) geomorfología; (iii) geología; (iv) hidrología; (v) hidrogeología; y (vi) calidad del agua.

Figura 3.1. Etapas metodológicas de la investigación



También supone una caracterización socioeconómica, en la que se relacione la dinámica de uso de suelo, destacando las actividades agropecuarias e industriales como factores de presión del recurso agua, tanto en cantidad como en calidad. Asimismo, se hará un breve análisis del crecimiento urbano, a partir de una retrospectiva del uso del suelo en esta categoría de ocupación en el área metropolitana de San Salvador. Esta información dará pie para cuantificar la población que habita en los municipios que conforman la microcuenca, así como los aspectos relacionados con el abastecimiento de agua para consumo humano y las condiciones de calidad del recurso, lo cual está directamente relacionado con la situación de salud de la población en el territorio, en lo que se refiere exclusivamente a la IRC.

Con la microcuenca caracterizada y diagnosticada (en términos biofísicos y socioeconómicos), se avanzará hacia la siguiente etapa, que corresponde al análisis dosis-respuesta, el cual está basado en los siguientes aspectos:

- **Planteamiento de la relación dosis-respuesta**, con la finalidad de estimar los efectos derivados de la contaminación hídrica en la salud de la población que se abastece de agua, la cual presenta evidencias de afectación en su calidad. La relación será determinada a través de la observación de tales efectos en el entorno de la microcuenca, bajo condiciones naturales, enfocándose particularmente en la IRC como un posible impacto a la población, contrastando los niveles de deposición de sustancias contaminantes en los sistemas hídricos (dosis) con el número casos de morbilidad (respuesta) para el período de 9 años: de 2006 a 2014.

- **Identificación de las variables**, tanto independientes como dependientes. Es la misma relación dosis-respuesta la que facilita esta tarea, en el entendido de que el vertido de sustancias contaminantes (químicas y orgánicas) al sistema hídrico de la microcuenca constituye la causa que genera, como efecto, el impacto en la salud de las personas que se abastecen de fuentes de agua de dicho sistema. Por lo tanto, las variables independientes por excelencia serán el volumen (caudal) y el tipo de vertido contaminante, mientras que la variable dependiente estará representada por la morbilidad por IRC, asociada al tipo de contaminación hídrica, y el entorno ambiental que la caracteriza. Como parte del conjunto de variables independientes, también se incluirán en el análisis, factores sociales tales como la edad y el consumo promedio de agua.

- **Análisis estadístico** que permita, mediante el uso de regresiones, estimar las relaciones entre las variables identificadas con anterioridad; y con ello, facilitar la tarea de interpretar los datos y explicar los condicionantes que determinan la ocurrencia de la morbilidad por IRC, mediante una función matemática. Para ello, se utilizará la técnica denominada *mínimos cuadrados ordinarios*, a fin de estudiar las distintas posibilidades de ajuste de los valores de las variables.

- **Selección del modelo estadístico**, o relación matemática que determine la relación causal (dosis-respuesta), y que permita que, una vez conocidos determinados valores de las variables, se puedan calcular otros con una gran aproximación. En este caso, interesa que el modelo estadístico brinde un estimativo de la elasticidad de la tasa bruta de morbilidad con respecto a la contaminación hídrica por sustancias contaminantes.

Una vez completada esta secuencia de procedimientos y técnicas, corresponde hacer el cálculo del costo social de la contaminación. Para ello, es esencial disponer de la elasticidad (como un concepto económico) de la morbilidad con respecto a la concentración de sustancias contaminantes, la cual permitirá conocer cuál es la magnitud de la sensibilidad (o el cambio) porcentual en la morbilidad, derivado del cambio en la concentración o volumen de contaminantes del agua, al momento de conocer la elasticidad de la morbilidad respecto a la variación de la calidad del agua, podrá asociarse el costo médico necesario para atender los efectos de la IRC, ya sea hospitalización, tratamiento y/o medicamentos; y con ello se habrá calculado el costo social de la contaminación del agua en la microcuenca del río Las Cañas.

Con el valor del costo social calculado, se proponen recomendaciones encaminadas al control y regulación de la contaminación del agua en la microcuenca, en el entendido que los montos financieros normalmente no representan elevadas cargas monetarias para los actores sociales y económicos relacionados con las causas de la contaminación hídrica. Sin embargo, el efecto que se quiere lograr es la internalización del costo social de la degradación hídrica, por medio de mecanismos financieros o fiscales que no supongan desincentivos a las actividades económicas, sino, más bien, a la gestión responsable y compartida del territorio y su capital natural y social.

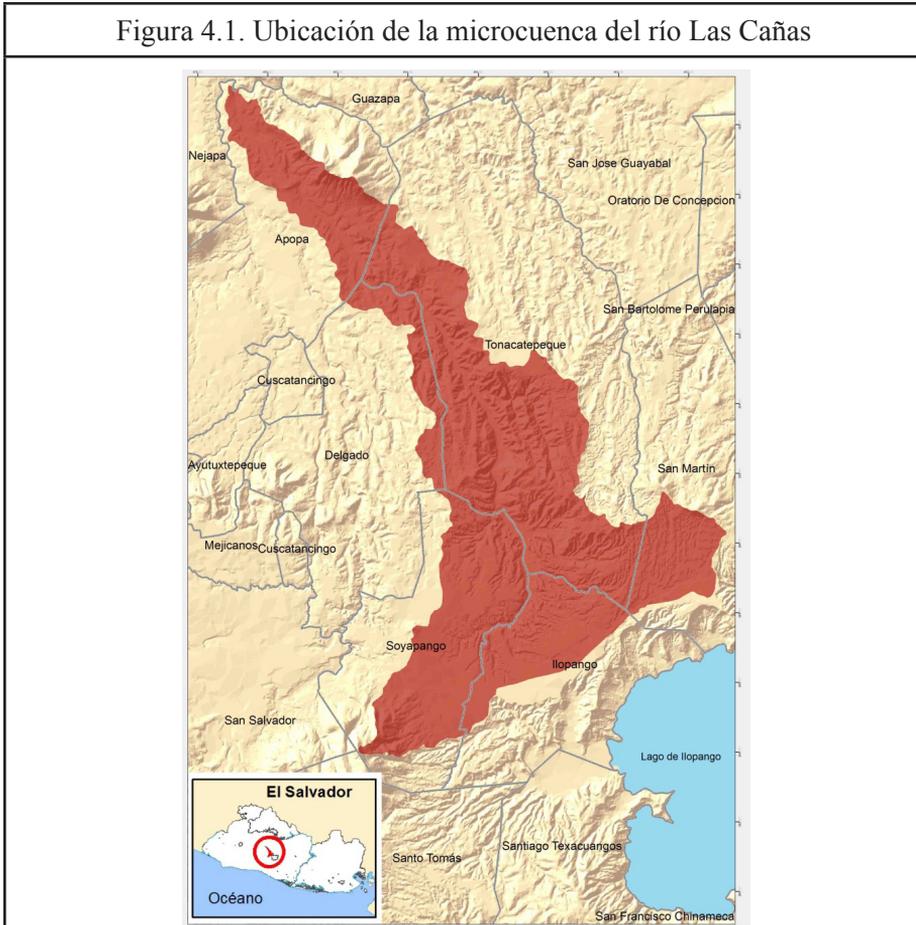
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO BIOFÍSICO

4.1. Ubicación política, geográfica e hidrológica de la microcuenca

La microcuenca del río Las Cañas es afluente del río Acelhuate, que a su vez desemboca en el río Lempa. Según Rivas, C.; Ferrán, F., y Faustino, J. (1993), el centro de la microcuenca está aproximadamente a los 89° 10' longitud oeste y 13° 45' latitud norte, extendiéndose al norte del lago de Ilopango y de la ciudad de San Salvador, con un área de 7.503,5 hectáreas y un perímetro de 70.969,73 metros.

Figura 4.1. Ubicación de la microcuenca del río Las Cañas



El territorio pertenece políticamente al departamento de San Salvador (figura 4.1), y comprende los municipios de San Martín, Ilopango, Soyapango, Tonacatepeque, ciudad Delgado y Apopa. La elevación máxima es de 1.154 msnm, que corresponde a un punto alto del cerro de San Jacinto (Soyapango); y la mínima elevación de 353 msnm, en el municipio de Apopa.

El sistema hidrográfico de la microcuenca del río Las Cañas está conformado por 17 segmentos de cuenca, siendo la longitud del cauce principal de 21.5 km. El río Las Cañas nace en el municipio de Ilopango, a 1.9 km al oeste de la ciudad de Ilopango; corre de sureste a noreste y desemboca en el río Acelhuate; recibe la confluencia de ríos y quebradas, como son: el Sumpa, Los Chorros, La Estacada, La Campanera, Ismatapa o La Presa, El Sauce, El Pacún, Zapotitán, El Chorro, Seco y Las Perras, El Limón, El Jocote, El Jaguen o El Pital, Chantecúan, Agua Blanca o El Coyolar y muchas quebradas secas, tales como Santa Lucía, arenal San Bartolo, arenal Seco, etc. (IGN-CNR, 2000).

4.2. Pendientes

Más de la mitad del territorio posee pendientes que oscilan entre el 15 % y 30 %, correspondientes a terrenos localizados principalmente en Soyapango, Ilopango y San Martín. No obstante, también se pueden identificar áreas de máxima pendiente, características de los cerros Guaycume (en Apopa) y San Jacinto (Soyapango), en donde se tienen porcentajes entre 30 % y 80 %, al igual que en las partes altas de Tonacatepeque. El resto del territorio posee pendientes menores al 15 %.

4.3. Climatología

La climatología de El Salvador (según Guzmán, 1999) se incluye dentro de la zona de clima tropical semihúmeda, caracterizada por estaciones húmedas y secas bien definidas, con cuatro a seis meses de sequía (mes seco < 60 mm de precipitación).

El país se localiza en la llamada Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) y la posición de esta varía según la época del año e influye en las épocas seca y húmeda. Otro fenómeno que afecta al país son los movimientos de bajas

presiones que se desplazan de este a oeste del Atlántico (*Easterly waves*), y que pueden originar tormentas tropicales y huracanes de gran intensidad. Además se generan lluvias de levantamiento orográfico cuando la masa de aire caliente y húmedo que llega del Pacífico se encuentra con la cordillera del Bálamo y el volcán de San Salvador; el aire asciende rápidamente, se enfría y se condensa, provocando fuertes lluvias.

En la microcuenca las precipitaciones medias anuales alcanzan 1.900 mm en el sur, disminuyendo hasta 1.700 mm en el norte. Estas lluvias se concentran en la estación húmeda, que abarca los meses de mayo a noviembre, mientras que en el resto de los meses son escasas o nulas. El análisis de las precipitaciones es importante en la evaluación y predicción de la amenaza natural.

Dentro de la zona de estudio se recopilan, por parte del Observatorio Ambiental (MARN), datos históricos de lluvia en dos estaciones (pluviómetros): la del aeropuerto de Ilopango y la de estación Apopa Insica. No obstante, para la realización del estudio tan solo se han considerado los datos provenientes del pluviómetro de la estación del aeropuerto de Ilopango, ya que es la única del área con un registro extenso y completo. Su ubicación en la cabecera de la microcuenca del río Las Cañas podría ser representativa de una precipitación media de todo el territorio. Esta precipitación media anual alcanza un valor de 1.364,28 mm.

4.4. Geomorfología

A grandes rasgos, las formas del relieve en la microcuenca están agrupadas en los siguientes sistemas morfoestructurales: (i) cadena volcánica reciente; (ii) gran depresión central; y (iii) cadena volcánica reciente.

4.4.1. Cadena volcánica reciente

La cordillera volcánica reciente de Centroamérica se encuentra paralela al océano Pacífico, y es considerada una de las más activas del mundo. Dentro de los límites de la microcuenca se encuentra la caldera de Ilopango, que constituye la parte alta de aquella, ya que el río Las Cañas se encaja en la falda norte de la caldera. En el curso de su historia ha estado caracterizada por un tipo

de actividad explosiva ácida que ha generado extensas y espesas coberturas de depósitos, ampliamente representados en la superficie de la microcuenca. El volcán de San Salvador no se encuentra dentro de sus límites, pero a lo largo de su actividad los materiales eyectados, flujos lávicos y oleadas piroclásticas, se encuentran tanto en la parte baja como media de la microcuenca.

4.4.2. Depresión central

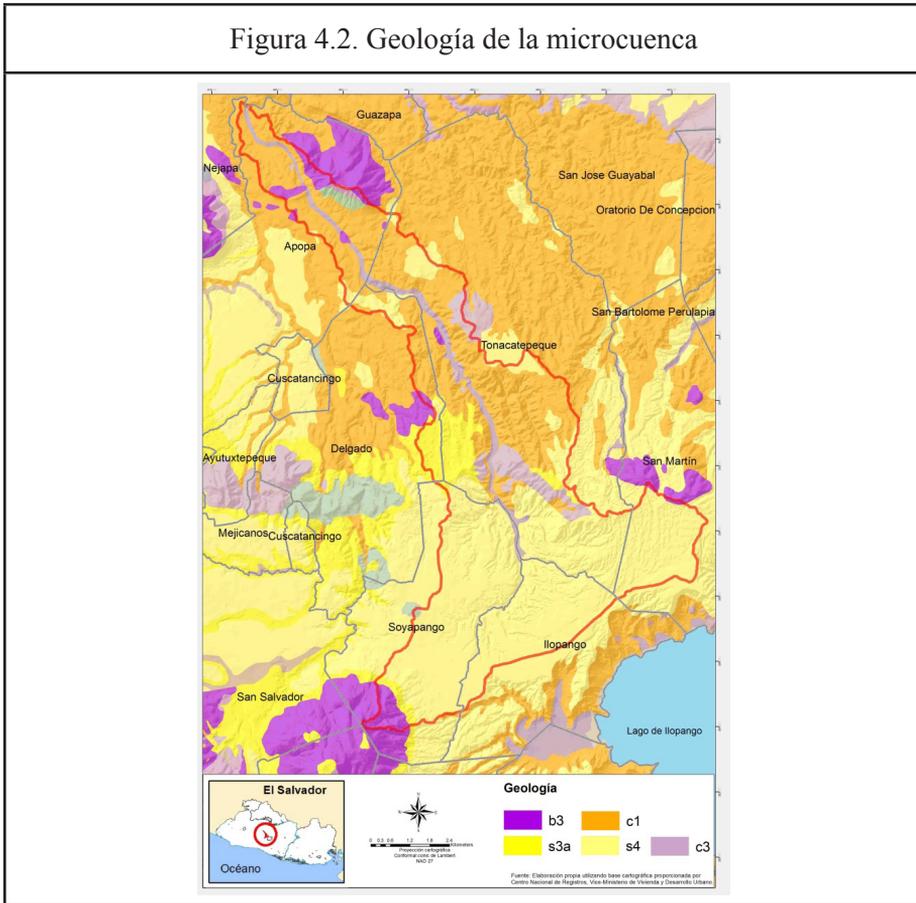
Esta depresión cruza El Salvador de oeste a este en forma de mesetas bajas. Los límites son la cadena fronteriza al norte y la cadena volcánica reciente, junto con la cadena costera al sur. Su relieve es relativamente plano comparado con las fuertes pendientes de los volcanes que la delimitan. La parte media y baja de la microcuenca se sitúa en el llamado *Valle de San Salvador*. Tiene características de valle de fondo plano, circundado al sur y oeste por zonas con relieve montañoso, y al norte por relieves más llanos, salpicado de pequeñas lomas y cerros (Ipgaramss, 2006).

Un término que describe las formas y unidades de acumulación presentes en parte del Valle de San Salvador es "*planicie volcánica fluvial policíclica*". Se considera el resultado de diversos ciclos volcánicos y aluviales donde se han ido acumulando espesores de uno y otro tipo de material. En la zona de estudio, esta unidad aparece en Apopa.

Por tanto, la superficie de la microcuenca está condicionada a la actividad de los edificios volcánicos por el aporte de material nuevo, y a la acción erosiva del agua en la medida que se trabaja el material volcánico, desplazándolo del pie de los volcanes a la propia planicie. Posteriormente la acción del río corta verticalmente el conjunto de depósitos (volcánicos y aluviales), originando cauces encajados de dimensiones variables, como ocurre en la parte alta y media de la microcuenca.

4.5. Geología

Figura 4.2. Geología de la microcuenca



Si se sabe que la edad aproximada del planeta Tierra son 4.550 millones de años, la geología de la microcuenca es de edad muy corta, ya que en el territorio afloran materiales que se formaron hace 20 millones de años (Ipgaramss, 2006). La mayor parte de la geología local corresponde a rocas cuaternarias de los periodos pleistoceno a holoceno, las cuales tienen su origen en los centros de actividad volcánica de la *Caldera de Ilopango* y el *Volcán de San Salvador*, constituidas por pómez, escorias, lapilli, tobas, piroclastos y flujos de lava andesíticos y basálticos. Por tanto, los materiales presentes en la zona de estudio corresponden a las diferentes fases y procesos asociados a la depresión central y a la cadena volcánica reciente, descritos con anterioridad.

La unidad lito-estratigráfica con más abundancia en la microcuenca (de acuerdo con el Mapa Geológico de El Salvador, de 1972) es la formación San Salvador (pleistoceno-holoceno), que corresponde a la más reciente; que forma el macizo volcánico de San Salvador y rellena la depresión San Salvador-Ilopango (Valle de San Salvador). Pueden distinguirse rocas con facies de distinta naturaleza: flujos de lava andesítica y basáltica, cúpulas de lava dacítica y andesítica vítrea, depósitos de avalanchas ardientes, tobas pumíticas, escorias, cenizas, polvo volcánico e intercalaciones de sedimentos fluvio-lacustres.

Esto evidencia que los materiales predominantes están constituidos por los productos eruptivos eyectados del complejo volcánico San Salvador, durante el pleistoceno, y por la Serie Ilopango formada por las cenizas pumíticas de edad más reciente que las mencionadas arriba, producto de la actividad volcánica de Ilopango.

El miembro geológico que más aflora es el *s4* (figura 4.2), descrito como una secuencia de piroclastitas ácidas y epiclastitas volcánicas subordinadas, localmente efusivas ácidas. Son conocidas como *tierra blanca joven* (TBJ) y tienen su origen en la erupción de la actual caldera de Ilopango. En el área de estudio presenta espesores de más de 50 m. Esta serie está caracterizada por productos eruptivos de un magma rico en sílice, de composición dacítica.

La actividad explosiva del volcán de Ilopango produjo sobre todo una enorme cantidad de cenizas blancas y pómez. Los estratos se caracterizan por la abundancia de bombas y lapilli de pómez, así como de fragmentos angulares de lava mezclados con cenizas de granulometría variable. Se trata de materiales poco cohesivos, favoreciendo al proceso erosivo de las lluvias, dando lugar a paisajes tipo *BadLand*, apreciados en el cauce del río Las Cañas y en las quebradas que vierten a él, principalmente en sus partes media y alta.

4.6. Hidrología

El sistema hídrico superficial de la microcuenca fluye con una dirección principal sureste-noreste, aunque en su parte alta dirigen sus aguas hacia el noreste, con 21,5 km de longitud y desemboca en el río Acelhuate, atravesando los municipios de Ilopango, San Martín, Soyapango, Tonacatepeque, ciudad

Delgado y Apopa. Su punto más alto está a 1.154 msnm, en el cerro de San Jacinto, mientras que en la desembocadura (municipio de Apopa) se presenta el punto más bajo, 353 msnm. 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. Debido al desarrollo urbano en la zona más alta del territorio, se han producido variaciones sustanciales en el régimen climático original, en las tasas de evaporación y en el régimen de infiltración y escorrentía.

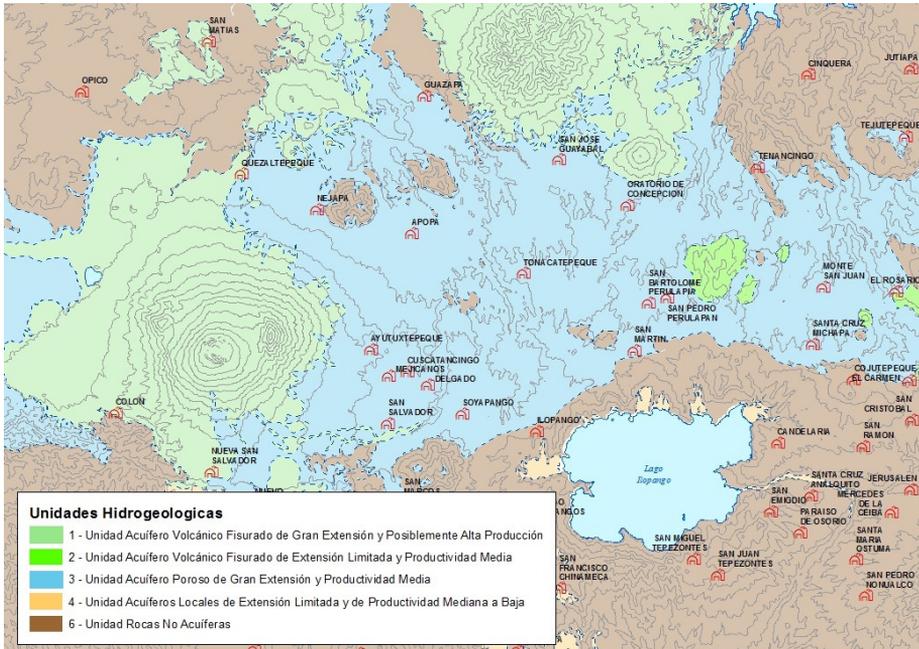
Como se ha dicho antes, la presencia de grandes espesores de cenizas volcánicas depositadas por la erupción del Ilopango en diferentes episodios genera una geomorfología de tipo *badlands* (cárcavas); es decir, una morfología altamente erosionada que genera cañones y valles encajados. Asimismo, la erosión lateral de los ríos amplía las quebradas y cañones, y es muy activa especialmente cuando las lluvias son muy copiosas. Muchos taludes se derrumban por la erosión lateral de la corriente del río. Las laderas casi verticales de los cañones son otros de los lugares donde se originan los derrumbes y otros tipos de movimientos de ladera.

4.7. Hidrogeología

Es un hecho que el recurso hídrico subterráneo está menos caracterizado que el superficial. Según Polo (2006), esto se debe a las dificultades técnica y financiera de acceder al recurso hídrico subterráneo, y a la falta de claridad que existe en las leyes sobre las competencias en torno al control y protección de las aguas subterráneas, así como la ausencia de reglamentos para su ejecución. Por tanto, en los últimos años se han hecho varios esfuerzos. Una prueba de ello es el Proyecto de Fortalecimiento Institucional de la Anda para la Investigación de Aguas Subterráneas (Fias), en el cual se elaboró el Mapa Hidrogeológico de El Salvador a escala 1:1000, publicado en 2008 (ver extracto en figura 4.3).

En la microcuenca del río Las Cañas tampoco se han realizado estudios, tesis o informes destinados a la caracterización de las aguas subterráneas, a excepción del estudio realizado por Barrera (2010), relacionado con el *acuífero de San Salvador*, el cual presenta una demarcación de dicho acuífero, que limita al este con la microcuenca (figura 4.4).

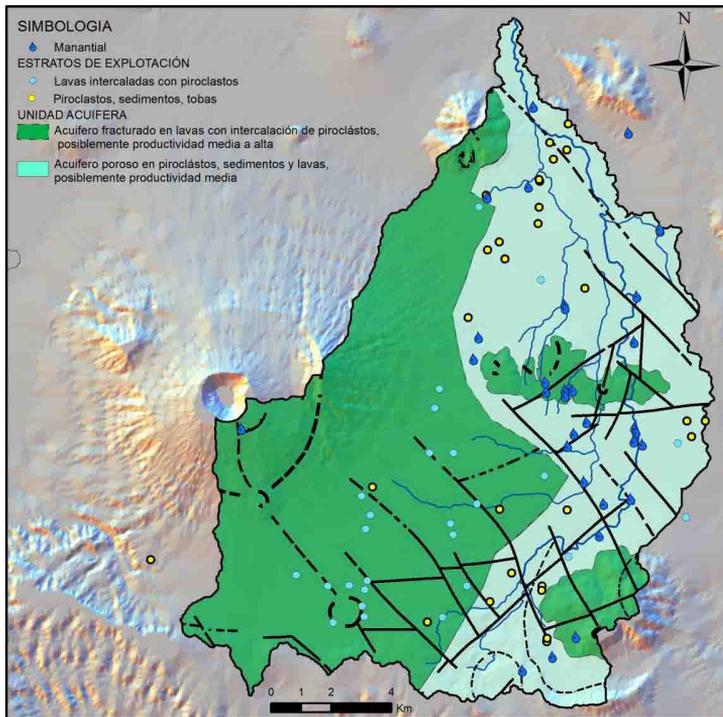
Figura 4.3. Extracto de mapa hidrogeológico en el área de estudio



Fuente: Modificado de Anda, 2008

De acuerdo con el mencionado estudio, el límite definido al este del acuífero San Salvador no es precisamente el límite geológico o hidrogeológico, ya que al compararlo con el mapa de la figura 4.2 parece evidente que se trata de un límite impuesto por el alcance del estudio, similar a los límites considerados para un análisis hidrogeológico en el caso de la microcuenca del río Las Cañas.

Figura 4.4. Demarcación del acuífero de San Salvador



Fuente: Barrera, 2010.

A continuación, basándose en Barrera (2010), se hace una descripción del acuífero de San Salvador para ver las posibles relaciones que habría con las aguas subterráneas de la microcuenca, correlacionándolo con el mapa geológico (figura 4.2) e hidrogeológico (figura 4.3).

De esta forma, se identifican dos sistemas acuíferos o unidades hidrogeológicas interconectadas entre sí, situándose en los materiales producto del vulcanismo joven existente en la zona. En la figura 4.3 se puede ver el trazo aproximado de los límites de dichos sistemas. Una unidad hidrogeológica está representada por el acuífero fracturado correspondiente a las lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones principalmente de piroclastos que se ubican en el sector suroeste, bordeando las faldas del volcán de San Salvador y la cordillera del Bálsamo. Las litologías definidas para esta unidad (figura 4.2), se corresponden principalmente con el miembro *s2*; efusivas básicas

intermedias, piroclásticas subordinadas, el cual no aparece definido dentro de la microcuenca. También, en menor medida, aparece el miembro *s3a*. Por otra parte, en el mapa hidrogeológico este sistema acuífero se sitúa dentro de una unidad hidrogeológica definida como *Unidad Acuífero Volcánico Fisurado de Gran Extensión y Posiblemente de Alta Producción*.

La otra unidad hidrogeológica definida para el acuífero de San Salvador corresponde al *acuífero poroso* formado por estratos intercalados de piroclastos, tobas fracturadas y sedimentos de diversos orígenes, fluviales, aluviales o coluviales. En esta, según el mapa geológico, las litologías presentes se corresponden a los miembros *s3a*, *s4* y *c1*, todas ellas presentes en la microcuenca, identificadas en la figura 4.2. Comparándola con el mapa hidrogeológico, se observa que se sitúa dentro de la unidad hidrogeológica definida como *Unidad Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media*. El límite inferior de ambas unidades hidrogeológicas se corresponde con la formación del *Bálsamo*.

Dado que los materiales del segundo sistema acuífero (definido dentro del acuífero de San Salvador) presentan prácticamente las mismas litologías que aparecen en la microcuenca; y que, tanto este subsistema como la totalidad de la microcuenca se encuentran dentro de la *Unidad Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media*, se podría considerar que las aguas subterráneas que circulan por dentro del ámbito de la microcuenca del río Las Cañas pertenecen a dicha unidad hidrogeológica, definida en el mapa hidrogeológico de El Salvador (figura 4.3).

4.7.1. Piezometría general

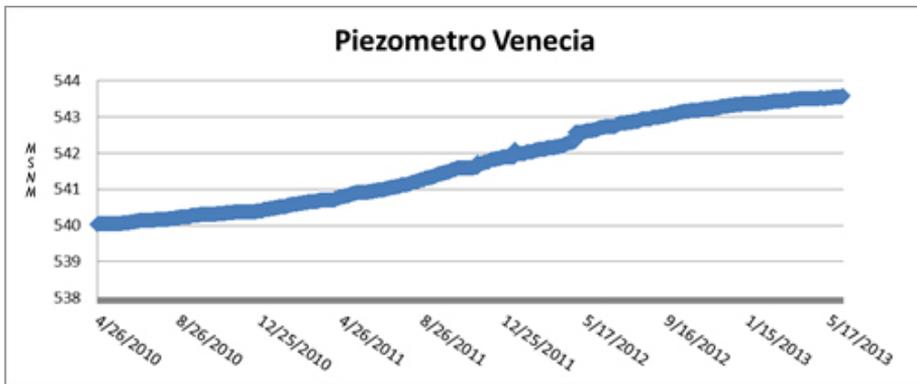
En el marco del proyecto “Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador” (Forgaes),⁶ cuyo eje estratégico se posicionó en la protección de los recursos hídricos, se toma la iniciativa para realizar la instalación y gestión de la red piezométrica de observación continua de aguas subterráneas en el AMSS y el *valle de Zapotitán*. Ambas redes están formadas por dos tipos de pozos: pozos fuera de uso y pozos nuevos perforados, estos últimos dotados de un sistema de flotador de medición en continuo.⁷

6 Desarrollado entre los años 2002 y 2007.

7 La lectura de los datos se realiza en el punto exacto, mediante una terminal o un ordenador portátil.

En la microcuenca se sitúan tres puntos de nueva perforación, localizados en Soyapango (zona de Los Santos, Venecia y Chantecuán). En 2014, a través 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”,⁸ se realiza una campaña de inspección en la que fueron visitados los tres pozos, y se constató que tan solo el de Venecia continúa activo, ya que el de Los Santos se encuentra obstruido desde marzo de 2009, mientras que el de Chantecuán ha desaparecido.

Gráfico 4.1. Evolución piezométrica del punto Venecia

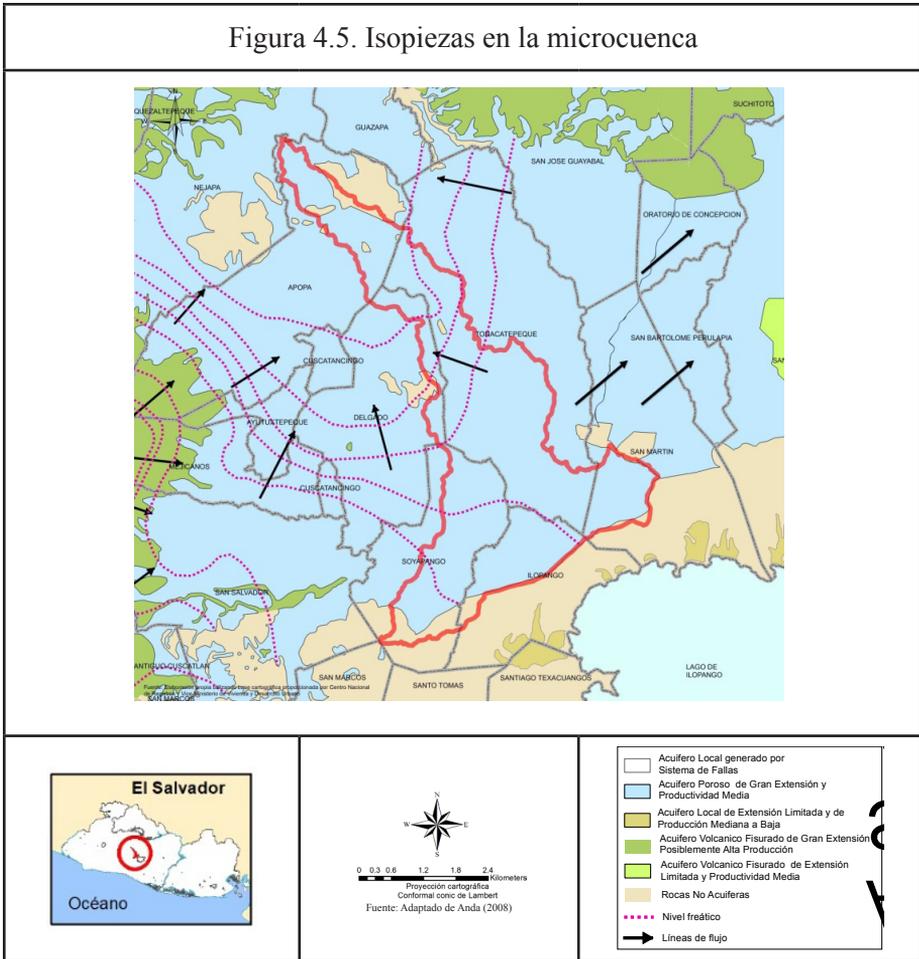


Fuente: Proyecto “Gestión intermunicipal de la cuenca del río Las Cañas bajo el enfoque de género y la reducción del riesgo de desastres El Salvador” (2014).

En el gráfico 4.1 se representan las variaciones de la profundidad del nivel piezométrico respecto al tiempo en los intervalos disponibles en el sondeo realizado para Venecia. Se observa un ascenso que podría estar relacionado con aspectos locales del punto, como cercanía de un arroyo o quebrada, zonas de pérdidas en la red de abastecimiento, o con una tendencia ascendente del nivel piezométrico en el sector.

⁸ Proyecto ejecutado por Geólogos del Mundo, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el financiamiento del Ayuntamiento de Barcelona y Catie.

Figura 4.5. Isopiezas en la microcuenca



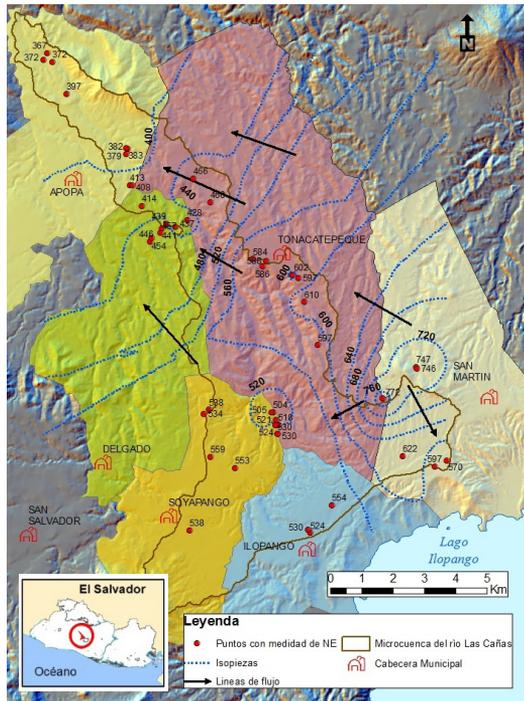
Cuando se trata de una red de monitoreo de aguas subterráneas, lo que se intenta es elaborar un mapa de isopiezas; es decir, un plano con líneas del mismo valor de altura piezométrica o freática, realizado a través de valores de nivel estático medidos en los puntos que conforman la red para un determinado momento. Con la obtención de dicho plano se determina tanto la dirección y sentido del flujo subterráneo como su gradiente hidráulico. Dado de que en la microcuenca se localiza un número insuficiente de puntos de la red, no es posible trazar dicho plano. No obstante, en el mapa hidrogeológico de El Salvador (2008) se pueden identificar las isopiezas propuestas para la *Unidad Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media* que se localiza en la microcuenca (figura 4.5).

En la anterior figura se representan los límites aproximados de la microcuenca, además de identificar la dirección principal de flujo (sureste-noroeste), el cual posee sentido hacia donde el río Las Cañas se une al río Acelhuate. Asimismo, en la parte oriental de los municipios de Tonacatepeque y San Martín se intuye la existencia de una divisoria de aguas (parteaguas), de manera que en esta área habría dos flujos subterráneos, uno hacia dentro de la microcuenca, cuyo flujo es de sureste-noroeste; y otro hacia fuera del territorio, con flujo noroeste-sureste.

4.7.2. Piezometría de la microcuenca

Con base en la campaña de monitoreo realizada en 2014 por el Proyecto “Gestión inter-municipal de la cuenca del río Las Cañas bajo el enfoque de género y la reducción del riesgo de desastres El Salvador”, se ha podido obtener información sobre la profundidad del nivel estático en 51 puntos, a los cuales se les ha estimado una cota topográfica mediante la utilización de un modelo digital del terreno (a 10 m), de manera que al restar la cota topográfica de la profundidad de nivel estático en cada punto, se calcula la altura piezométrica del agua subterránea. En el caso de manantiales, la cota topográfica de la salida del agua equivale a la altura piezométrica.

Figura 4.6. Mapa piezométrico de la microcuenca



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).

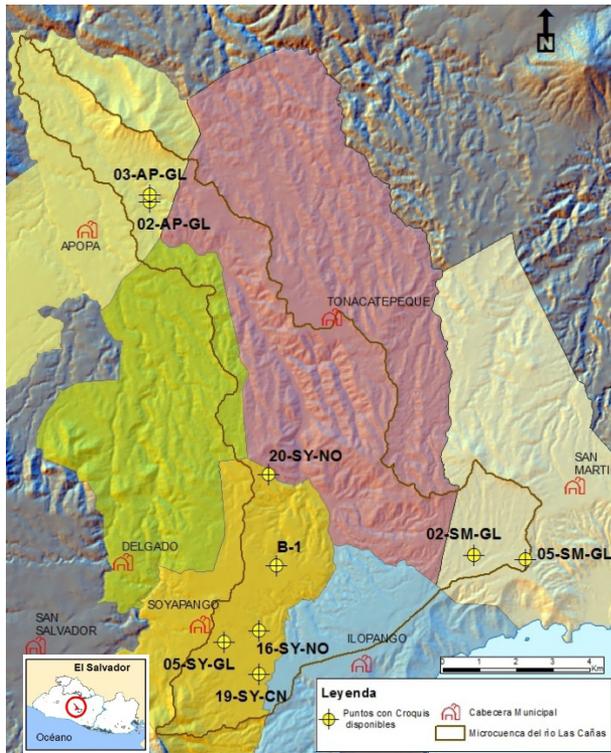
Para mostrar la dirección y sentido del flujo del agua subterránea se ha elaborado el mapa piezométrico de la figura 4.6, tomando como referencia los datos de altura piezométrica calculados como se ha dicho antes, los cuales se corresponden con: 26 pozos artesanales, 14 sondeos y 11 manantiales/nacimientos. Este mapa refleja la situación en un momento determinado (correspondiente a la toma de muestra realizada en el marco del Proyecto antes dicho). De este mapa piezométrico se deriva la existencia de tres zonas con distinto comportamiento hidrodinámico, a saber:

- **Desde la parte media de la microcuenca hasta la desembocadura del río Las Cañas en el río Acelhuate.** En esta zona el flujo de agua subterránea presenta una dirección sureste-noroeste, sentido noroeste; además se aprecia que el flujo subterráneo se dirige hacia el río, siendo este “receptor” y el acuífero “aportador”.

- **Margen izquierda del río, porción de los municipios de Delgado, Soyapango e Ilopango.** En esta zona la tendencia anterior aparece distorsionada, como una especie de vaguada, en donde se aprecia una depresión en torno a la isopieza 520 msnm. Es evidente que en Soyapango e Ilopango se producen fuertes extracciones de agua. Sin embargo, ni la distribución espacial de los puntos de medición, ni el escaso número de puntos medidos en esta área es adecuada para poder apreciar la causa de dicho fenómeno con claridad.
- **Margen derecha del río, zona sur del municipio de Tonacatepeque y el municipio de San Martín.** Aquí se observa la existencia de una divisoria de aguas subterráneas siguiendo una línea de dirección suroeste-noreste.

4.7.3. Parámetros geológicos

Figura 4.7. Localización de puntos con información litológica



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).

De acuerdo con el contexto geológico definido anteriormente, se ha mostrado la manera en que los principales materiales que afloran en la zona de estudio se corresponden con la *Formación Cuscatlán* (plioceno-pleistoceno) y a la *Formación San Salvador* (pleistoceno holoceno), materiales que según el mapa hidrogeológico de El Salvador conforman la Unidad *Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media*, la cual pertenece a la *Formación del Bálsamo* (terciario superior).

Con base en la información secundaria disponible, respecto a columnas litológicas de algunos puntos del territorio (figura 4.7), se pueden observar varias características comunes.

- Todos los materiales se correlacionan perfectamente con los definidos para la *Formación Cuscatlán* y para la *Formación San Salvador*.
- Presentan dos tipos de materiales: *puramente volcánicos*, como tobas, ignimbritas, piroclastos, vidrio, escorias y pequeños flujos lávicos; y *sedimentarios*, aunque estos provienen principalmente de los anteriores, son nombrados como epiclastitas, piroclastos, retrabajados por los distintos agentes de erosión y transporte.
- Intercalación de estos dos tipos de materiales en toda la longitud de la columna litológica, denotando en su historia geológica diversos procesos, tanto de erupción volcánica como de sedimentación.
- También se observa que en ninguno de ellos se llega a cortar la *Formación del Bálsamo*, lo cual indica que en ninguna de las perforaciones se ha atravesado el espesor total de unidad acuífera porosa.

4.7.4. Hidroquímica

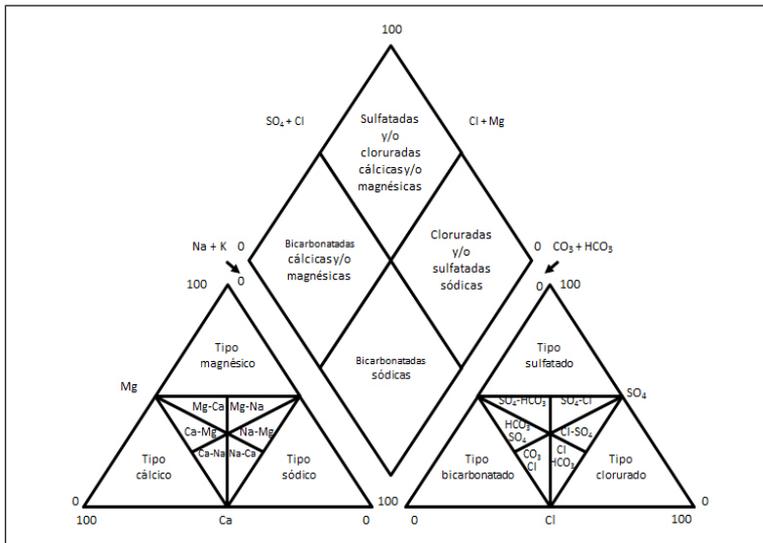
Para la caracterización hidrogeoquímica de la microcuenca, se dispone de las medidas de los parámetros químicos medidos in situ con 54 analíticas (dos por cada punto muestreado), en el marco del Proyecto “Gestión intermunicipal de la cuenca del río Las Cañas bajo el enfoque de género y la reducción del riesgo de desastres El Salvador” (2014). Todas las analíticas se corresponden con muestras de aguas subterráneas, 11 sondeos, 14 pozos artesanales y 2 manantiales.

4.7.5. Caracterización de las aguas subterráneas

Para caracterizar las aguas subterráneas se han realizado diagramas de Piper y un mapa de concentraciones de los elementos considerados. A continuación se presentan los detalles.

Diagramas de Piper

Figura 4.8. Facies químicas en el diagrama de Piper



Fuente: Adaptado de Padilla & García (2012).

Se trata de un diagrama triangular compuesto, constituido por dos triángulos equiláteros, en los que se representa la composición aniónica y catiónica del agua, y un campo central romboidal en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes, que definen las distintas facies de las aguas subterráneas (ver figura 4.8). Como parte del procedimiento, es necesario convertir las concentraciones de los iones en porcentaje de miliequivalentes/litro. Los aniones están representados por: $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$, SO_4^{2-} y $\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$. Mientras que los cationes utilizados son: Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y Ca^{2+} . A cada uno de los vértices le corresponde el 100 % de un anión o catión. Para no representar todos los puntos en un solo diagrama, se ha dividido la microcuenca en tres partes: alta, media y baja (ver figuras 4.9, 4.10 y 4.11, respectivamente).

Figura 4.9. Diagrama de Piper parte alta

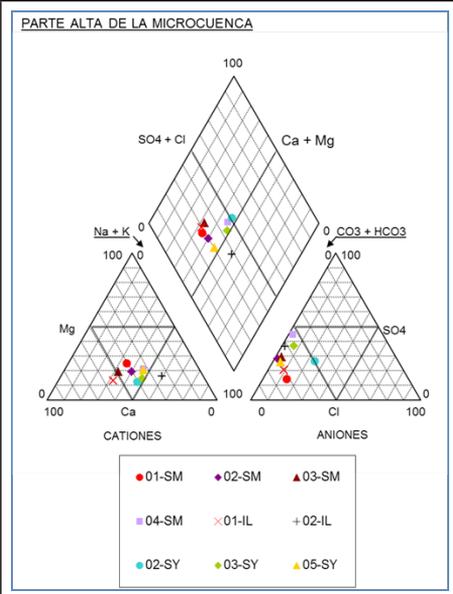


Figura 4.10. Diagrama de Piper parte media

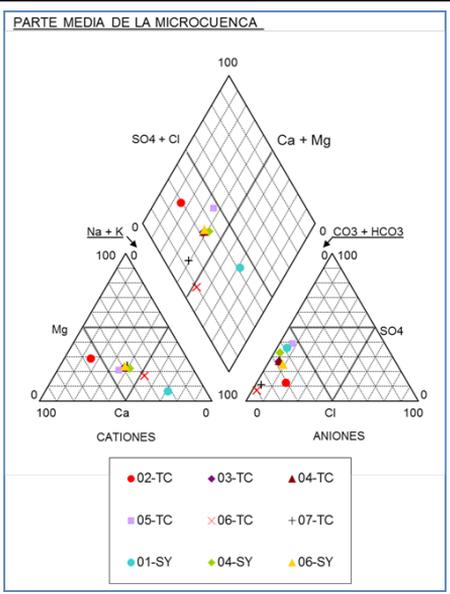
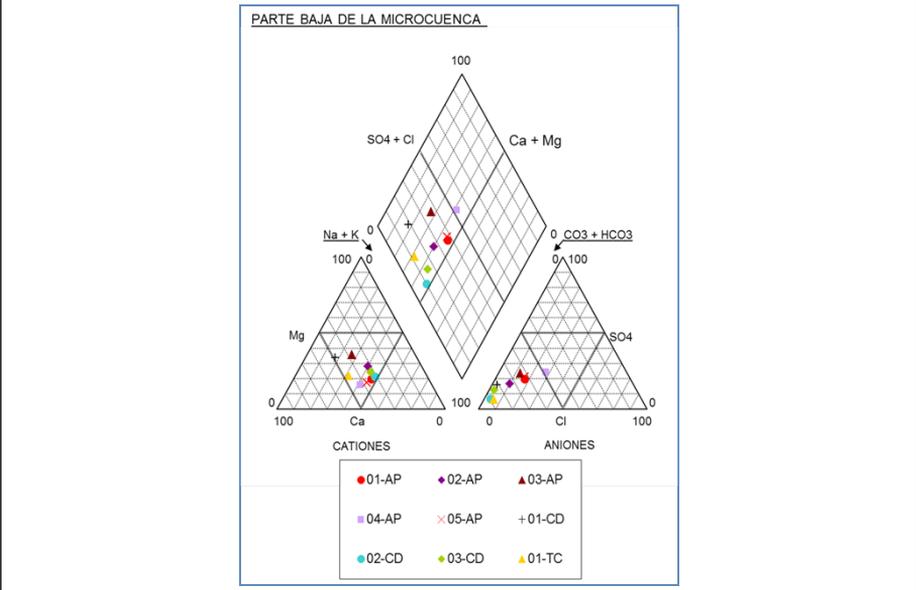


Figura 4.11. Diagrama de Piper parte baja

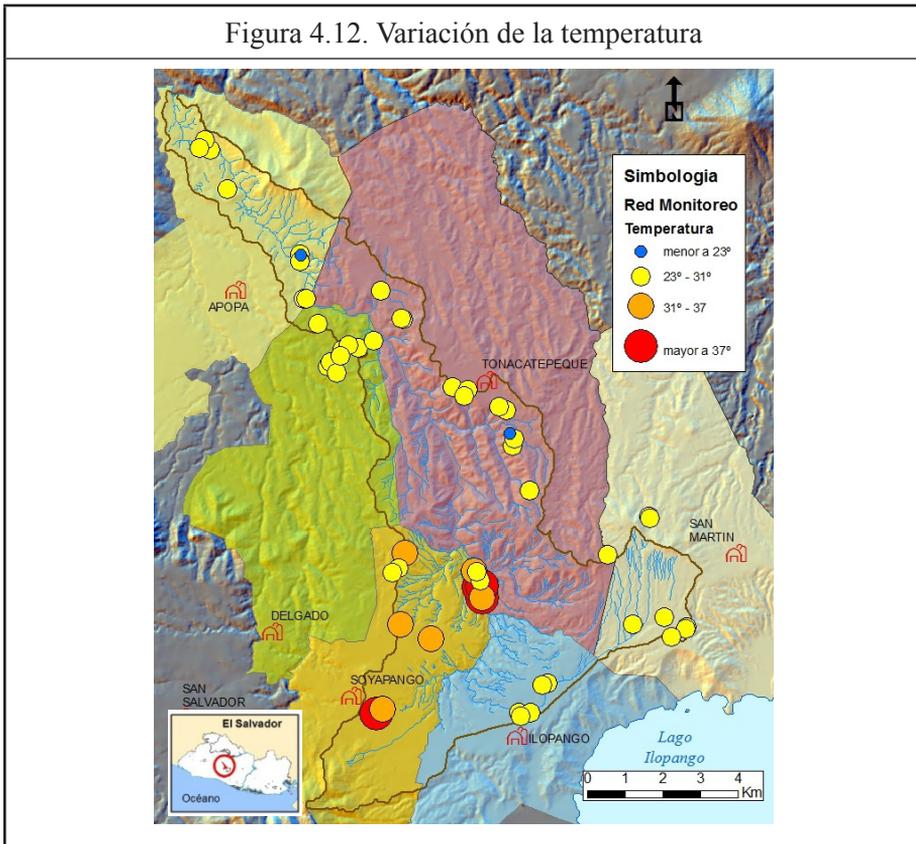


Fuente: Resultados del Proyecto “Gestión intermunicipal de la cuenca del río Las Cañas bajo el enfoque de género y la reducción del riesgo de desastres El Salvador” (2014).

Se puede observar que todos los puntos en los tres diagramas anteriores corresponden a un tipo de agua subterránea que presenta facies bicarbonatadas, que pueden ser sódicas y cálcicas. Esto significa que la mineralización es (generalmente) ligera o notable, y las aguas son perfectamente aptas para su uso en abastecimiento o regadío, aunque dependerá de las concentraciones de los parámetros analizados posteriormente.

Mapas de concentraciones

Figura 4.12. Variación de la temperatura



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).

Los mapas de concentraciones dan una idea de la distribución de un parámetro o de una especie química 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 de mayor concentración, salvo en el mapa del oxígeno disuelto, que es al contrario.

Se han construido mapas de concentraciones para los parámetros químicos medidos in situ y para la campaña de muestreo realizada en el marco 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). Estos mapas dan una idea aproximada de lo que sucede en las aguas subterráneas de la microcuenca. Sin embargo, no se debe olvidar que esta idea viene derivada de tan solo una campaña de muestreo (situación puntual), ya que para ver su situación general se requiere de más campañas (una en la época seca y otra en la lluviosa), y de esa forma poder contrastar sus resultados a lo largo de un ciclo hidrológico completo.

Temperatura

Los valores de temperatura registrados en la microcuenca (figura 4.12) varían entre 21,9 y 49 °C, presentándose la mayoría entre los 23 y 30 °C. La temperatura ambiente media de la microcuenca, de acuerdo con la estación meteorológica del aeropuerto de Ilopango, es de 23 °C. Puede considerarse que en su mayoría las aguas de los pozos y manantiales se encuentran influenciadas por el vulcanismo activo del estrato *Volcán de San Salvador* y por la *Caldera de Ilopango*. Especial atención merecen aquellos puntos cuyas temperaturas superan los 31 °C, situados en la parte alta de la microcuenca, en la margen izquierda del río (todos ellos dentro del municipio de Soyapango), y que podrían corresponder a un flujo con mayor influencia volcánica.

Conductividad eléctrica

Este parámetro hace referencia al contenido total de sales en el agua, de manera que cuanto más elevada sea la conductividad mayor será el contenido en sales. Los valores de conductividad eléctrica reportados varían entre 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1.000,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figura 4.13). Pero en dos puntos situados en Apopa se sobrepasó este intervalo notablemente, con valores de 1.858 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1.212 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, situados a escasos metros del cauce del río, ambos en la margen izquierda. Esta condición puede limitar el uso de esta fuente de agua para el abastecimiento humano y riego.

Figura 4.13. Variación de la conductividad eléctrica

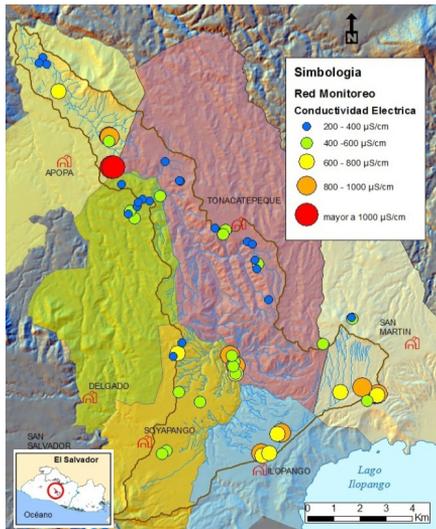
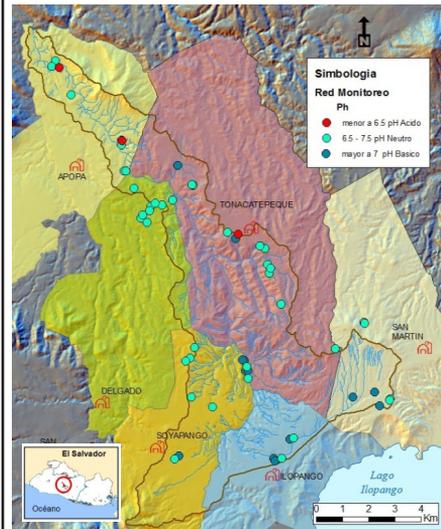


Figura 4.14. Variación del pH



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).

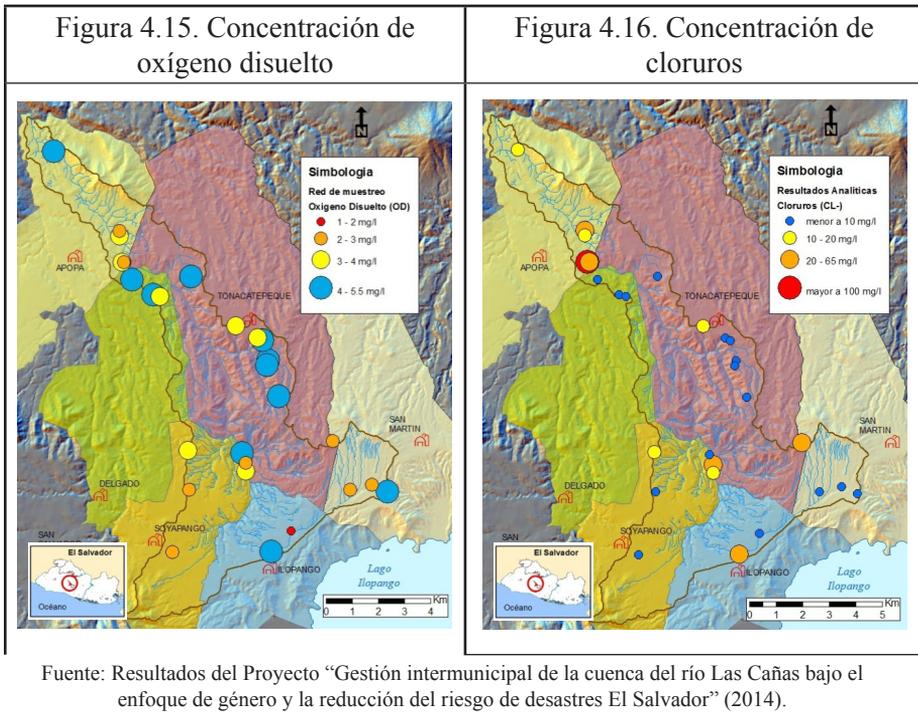
pH

Los valores de pH resultan (en general) en pH neutro (figura 4.14), lo cual es característico de aguas subterráneas con recargas recientes.

Oxígeno disuelto

La concentración del oxígeno disuelto permite que se lleven a cabo la respiración de seres vivos y la descomposición de la materia orgánica al momento en que estos mueren, lo cual es fundamental para asegurar la conservación de los ecosistemas. Como referencia a este parámetro, se sabe que si la concentración está entre 5 y 6 mg/l, existe suficiente oxígeno para la mayor parte de especies de organismos. Si es menor a 3 mg/l, entonces ya se considera un nivel dañino para la mayor parte de las especies acuáticas; y si es menor a 2 mg/l, es fatal para la mayor parte de especies.

Según la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA) del MARN, los ríos del país presentan una concentración promedio de este parámetro de 6,18 mg/l; aunque la región hidrográfica Lempa está ligeramente por debajo del promedio, con un valor de 5,78 mg/l. Cabe señalar que en el río Acelhuate se reportan niveles de oxígeno cero (DGOA, 2011).



Los valores de oxígeno disuelto también fueron medidos en el marco del Proyecto antes referido, a través de muestras de agua recogidas con el uso de la bomba del sondeo, o recogidas mediante un cubo con el uso de cuerda y polea. Esto supone que su medición es posterior a sufrir alteración, influenciada por el aumento en el oxígeno disuelto debido al bombeo y a la descarga en los cubos durante la toma de muestra. Por tanto estos valores no se consideran representativos del acuífero, aunque sí podrían dar una aproximación (figura 4.15).

Según los resultados obtenidos, se registra un valor mínimo en la concentración de oxígeno disuelto equivalente a 1 mg/l, localizado en Ilopango

(pozo del Centro Recreativo del Ministerio de Hacienda). Las concentraciones entre 2 y 4 mg/l se localizan en Apopa, Tonacatepeque, Soyapango y San Martín. En términos generales, dado que en la mayoría de puntos muestreados las concentraciones de oxígeno disuelto son superiores a los 3 mg/l, se puede confirmar que existe suficiente oxígeno disponible, y que, por lo tanto, la cantidad de materia orgánica es baja.

Cloruros

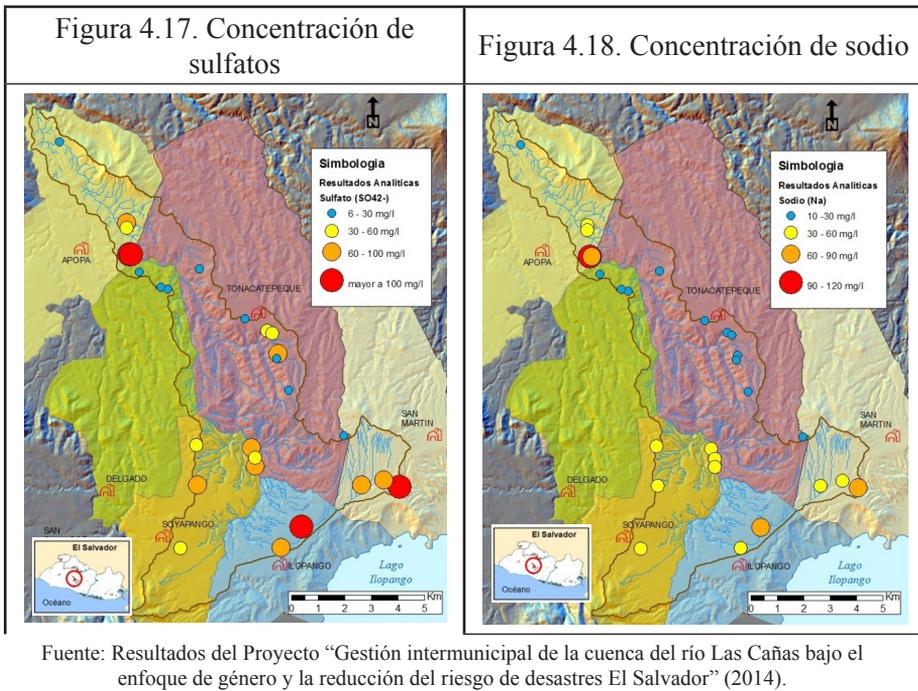
Dado que no se tiene registro de la existencia de evaporitas o rocas de origen marino en el territorio, la proporción de cloruros es escasa. La mayoría de los valores son menores a los 65 mg/l. De hecho, en varios puntos la concentración no supera los 10 mg/l, siendo el valor menor equivalente a 2,19 mg/l. No obstante, por la elevada solubilidad de sus sales, los cloruros pueden pasar a fase acuosa, alcanzando concentraciones más elevadas. De hecho, en el territorio se puede observar un aumento de la concentración de cloruros hacia el norte, en dirección del municipio de Apopa, presentándose el pico en un pozo a escasos metros del río, situado en la margen izquierda. Aunque también se presentan concentraciones entre 20 y 65 mg/l en tres puntos: en Soyapango, también a escasos metros de la margen del río; en Ilopango y San Martín (figura 4.16).

Sulfatos

Es muy probable que el ion sulfato identificado en el agua subterránea de la microcuenca provenga de la oxidación de sulfuros que se encuentran ampliamente distribuidos en rocas ígneas y sedimentarias, así como por la disolución de otros tipos de sulfatos dispersos en el terreno. Las concentraciones de sulfatos en el territorio se presentan en un rango de valores que varía entre 6,69 y 174,26 mg/l (figura 4.17). Las mayores concentraciones se encuentran en la cabecera de la microcuenca (Ilopango y San Martín), donde se localiza la concentración máxima de actividad industrial; asimismo, se registra un valor máximo en Apopa, en dos puntos cercanos al río, cuyos valores son mayores a 100 mg/l. No obstante, en ningún caso se supera el valor máximo permitido para agua potable, el cual es de 400 mg/l.

Sodio

Los valores del sodio analizados presentan concentraciones comprendidas entre 11,99 y 119,55 mg/l (figura 4.18). La distribución de sodio parece estar relacionada con la de cloruros, presentando una mayor concentración de sulfatos hacia el norte. Igualmente que ocurría con la distribución de cloruros, las máximas concentraciones de sodio se encuentran en Apopa. También en San Martín e Ilopango se encuentran dos puntos con concentraciones comprendidas entre 60 y 90 mg/l. Sin embargo, en ningún caso los valores de sodio sobrepasan el límite establecido en la norma salvadoreña obligatoria para agua potable, el cual equivale a 200 mg/l.

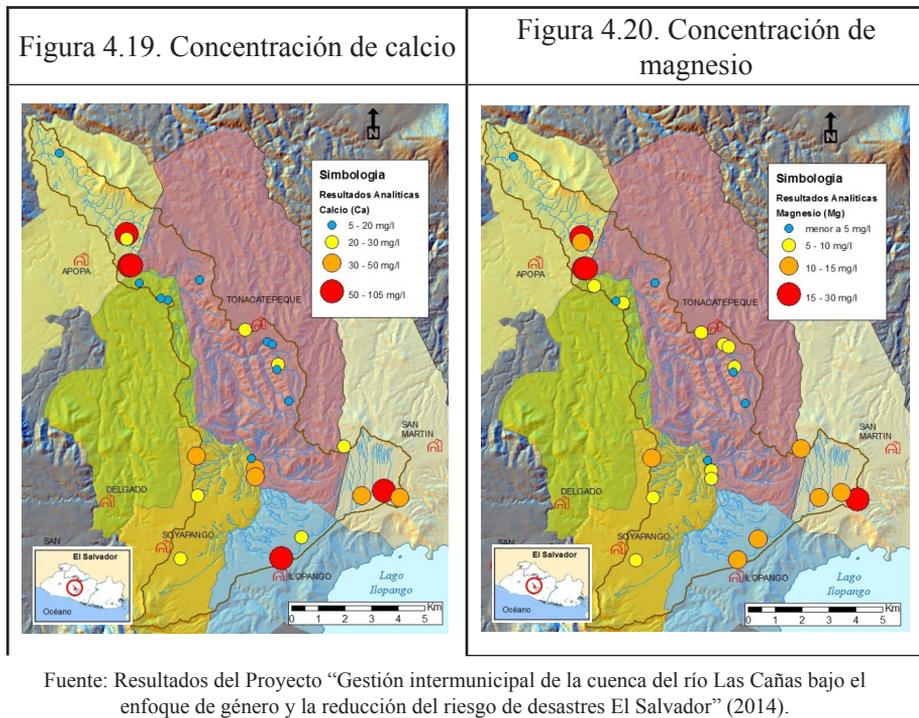


Calcio

Los valores de concentración para el calcio se presentan entre 9,8 y 104,6 mg/l (figura 4.19). Nuevamente se observa que las concentraciones más elevadas se sitúan en Apopa (parte baja de la microcuenca), Ilopango y San Martín (cabecera). El pico de concentración se localiza en San Martín. A pesar de ello, estos valores no superan el valor máximo permitido, de 500 mg/l.

Magnesio

En aguas naturales, el magnesio es menos abundante que el calcio, y se deriva de la disolución de rocas carbonatadas y de la alteración de silicatos. Los valores de magnesio analizados presentan concentraciones comprendidas entre 2,93 y 28,59 mg/l (figura 42.20). En esta ocasión la distribución de las concentraciones de Magnesio son similares a las de los sulfatos y el calcio, de manera que las concentraciones mayores se localizan en Apopa, San Martín e Ilopango, presentando su máxima en Apopa, aunque se encuentra por debajo de 40 mg/l, valor que es considerado normal para aguas subterráneas.



Potasio

El potasio registrado muy probablemente tiene su origen en la meteorización del feldespato, el cual es un componente esencial de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas que conforman el acuífero presente en la

microcuenca. La concentración de potasio es mucho menor que la del sodio, en lo que respecta a aguas subterráneas, dada su capacidad de intercambio iónico. Su contenido no suele sobrepasar 10 mg/l. Sin embargo, el rango de los valores de potasio registrado en la microcuenca se encuentra entre un mínimo de 1,32 y un máximo de 14,9 mg/l (figura 4.21). Al observar el mapa de concentraciones se evidencia que no se presenta ninguna distribución espacial ni ninguna semejanza con los parámetros anteriores. Sus mayores concentraciones se encuentran repartidas por la totalidad de la microcuenca, situándose en los seis municipios que conforman esta.

Fosfatos

El agua subterránea de la microcuenca también registra la presencia de fosfatos, los cuales están asociados a la existencia de rocas ígneas que contienen este elemento; aunque también es muy probable que se derive de las actividades industriales y agropecuarias presentes en el territorio; incluso, no sería raro que también estén relacionados con las aguas ordinarias y especiales que fluyen en el cauce del río Las Cañas.

Según la Unión Europea y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, la concentración de fosfatos en agua subterránea no debe sobrepasar los 0,10 mg/l. Entre tanto, los fosfatos detectados en la microcuenca tienen un valor mínimo de 0,15 y un máximo de 1,45 mg/l (figura 4.22). Esta vez se observa que las mayores concentraciones se dan en la parte alta de la microcuenca, principalmente en el entorno que divide Soyapango y Tonacatepeque, cuyo valor es mayor a 1 mg/l; asimismo, al sureste de Tonacatepeque (contiguo a San Martín) también se registra un valor máximo. Estos valores coinciden con la presencia de una intensa actividad agropecuaria. Mientras que la parte baja de la microcuenca presenta unos valores homogéneos, menores a 0.5 mg/l.

Figura 4.21. Concentración de potasio

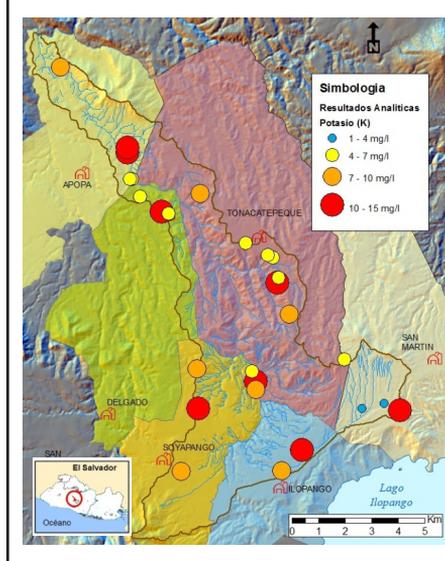
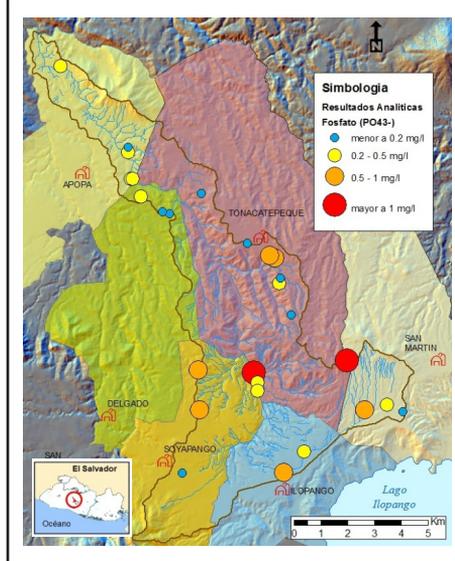


Figura 4.22. Concentración de fosfatos



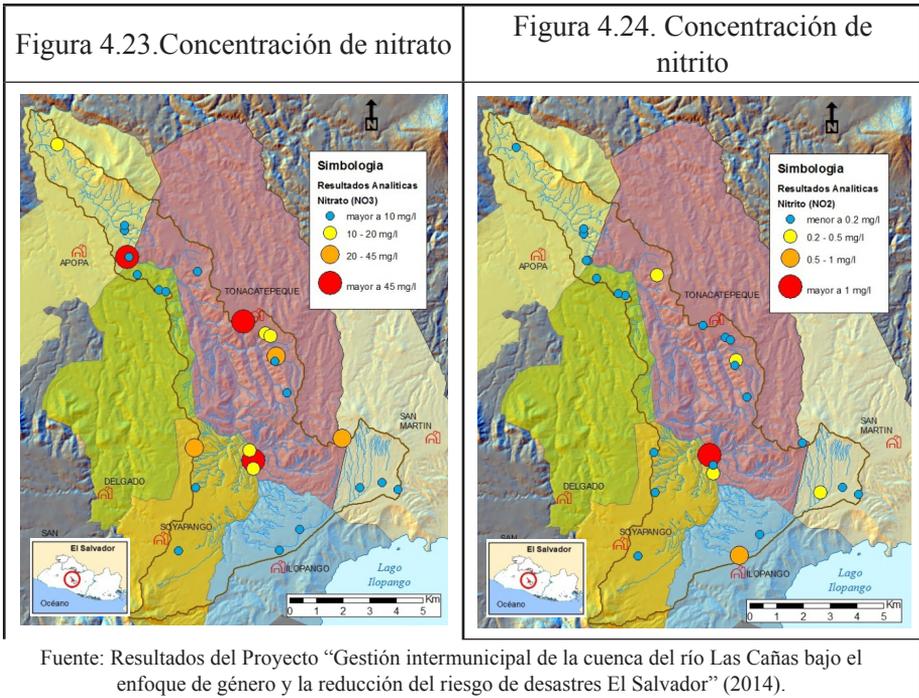
Fuente: Resultados del Proyecto “Gestión intermunicipal de la cuenca del río Las Cañas bajo el enfoque de género y la reducción del riesgo de desastres El Salvador” (2014).

Nitrato (NO₃)

No es muy probable que el nitrato presente en el agua subterránea de la microcuenca provenga de la disolución de rocas que lo contiene; más bien, puede tratarse de la oxidación bacteriana de materia orgánica presente en las aguas; o más probable es que pueda deberse al arrastre del nitrógeno que se encuentra en los fertilizantes químicos, el cual se moviliza a través de las capas del suelo, pudiendo entrar en contacto con el acuífero.

Según la norma salvadoreña obligatoria para agua potable, el límite máximo permisible para el nitrato (considerado como sustancia química de tipo inorgánico de alto riesgo para la salud) es de 45 mg/l. Entre tanto, las concentraciones de este compuesto en la microcuenca presentan un rango de valores que oscila entre 0,10 y 155,36 mg/l (figura 4.23). Los máximos valores se presentan en puntos bien diferenciados de las otras concentraciones, sin ninguna relación aparente. Se trata de tres puntos: Apopa (113,13) y Soyapango (136,57), ambos en la margen izquierda del río (muy próximos a este); y en

Tonacatepeque, con un valor de 155,36 mg/l. Estos sitios se caracterizan también porque el suelo se encuentra ocupado con actividades agropecuarias intensivas en el uso de agroquímicos, ya sea cultivos anuales o pastos.



Nitrito (NO₂)

El nitrito presente en las aguas subterráneas es producto de la oxidación del amoníaco; o bien, por la presencia de nitratos reducidos por la acción microbiana. Lo cierto es que, de encontrarse presente en el agua, es un indicio de una posible contaminación que ha ocurrido de forma reciente, ya que se trata de un ion inestable, lo que trae como consecuencia que el agua no sea apta para el consumo humano debido a su alta toxicidad.

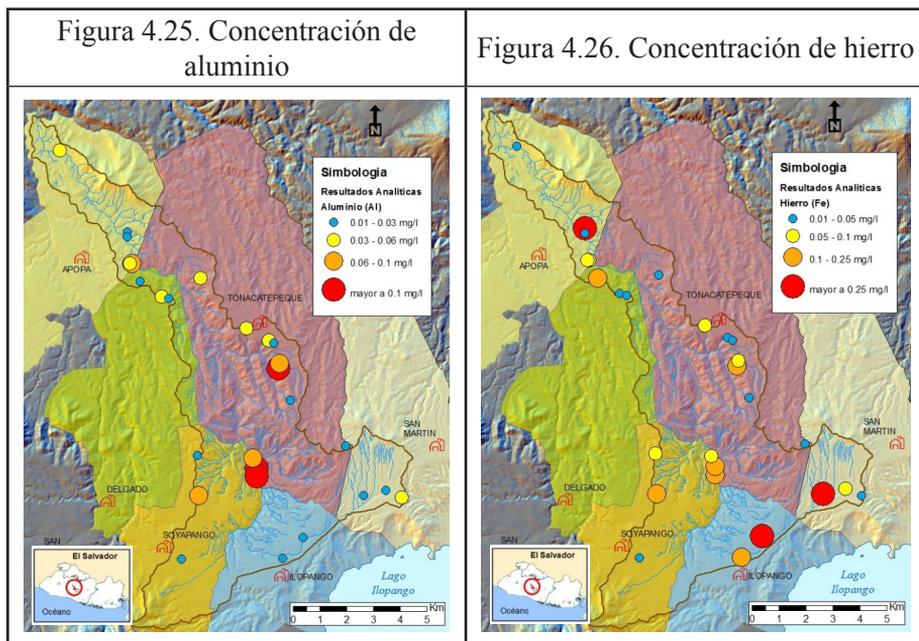
Según la norma salvadoreña de calidad de agua potable, el valor máximo permitido es de 1,0 mg/l. En la microcuenca, los valores de nitrito presentan concentraciones comprendidas entre 0 y 1,55 mg/l (figura 4.24). Como se observa, generalmente se presentan bajas concentraciones, tan solo dos por encima de 0.5 mg/l: una situada en Ilopango, y el pico (mayor a 1.55 mg/l) en Soyapango, también en la margen izquierda del río.

Aluminio

Las concentraciones de aluminio varían entre 0,014 y 0,128 mg/l (figura 4.25). Se observa que las mayores concentraciones se localizan entre la parte media y baja de la microcuenca, ya que estas se sitúan en la zona central del municipio de Tonacatepeque (en un punto), y en dos puntos en Soyapango, próximos al río en la margen izquierda. Según la norma salvadoreña obligatoria, el valor máximo permisible de aluminio en agua potable es 0,2 mg/l. Esto quiere decir que las concentraciones registradas en la microcuenca están por debajo de dicho límite, por lo que, respecto a este metal, podría considerarse agua potable.

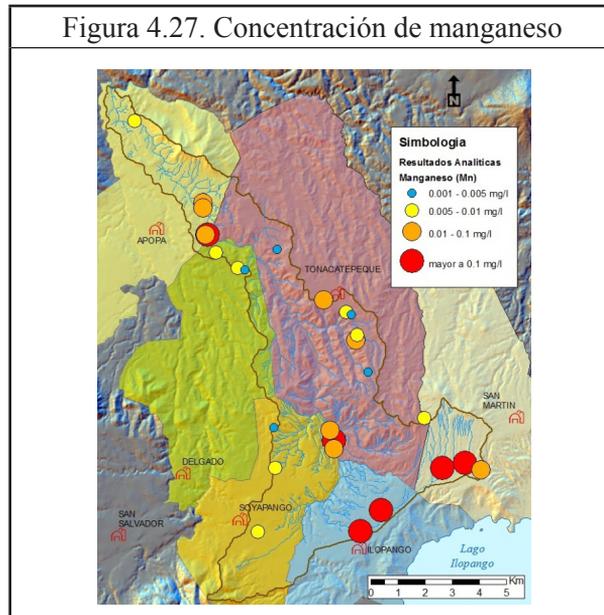
Hierro

Aunque puede registrarse alguna concentración de hierro en el agua subterránea, esta se mantiene controlada por las reacciones de oxidación-reducción y otros procesos químicos relacionados con carbonatos y sulfuros, así como con materia orgánica. Según la norma salvadoreña obligatoria, el valor máximo de hierro que se permite en un agua considerada como potable es 0,30 mg/l. En la microcuenca, el rango de los valores de hierro se encuentra entre 0,011 y 0,814 mg/l (figura 4.26).



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).

Nuevamente las mayores concentraciones se localizan en Apopa, Ilopango y San Martín, un punto en cada uno de ellos con concentraciones superiores a 0,30 mg/l (pero menores a 1,0 mg/l). Aunque también se registran concentraciones comprendidas entre 0,1 y 0,25 mg/l en Soyapango, Ilopango, Tonacatepeque y Delgado.



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).

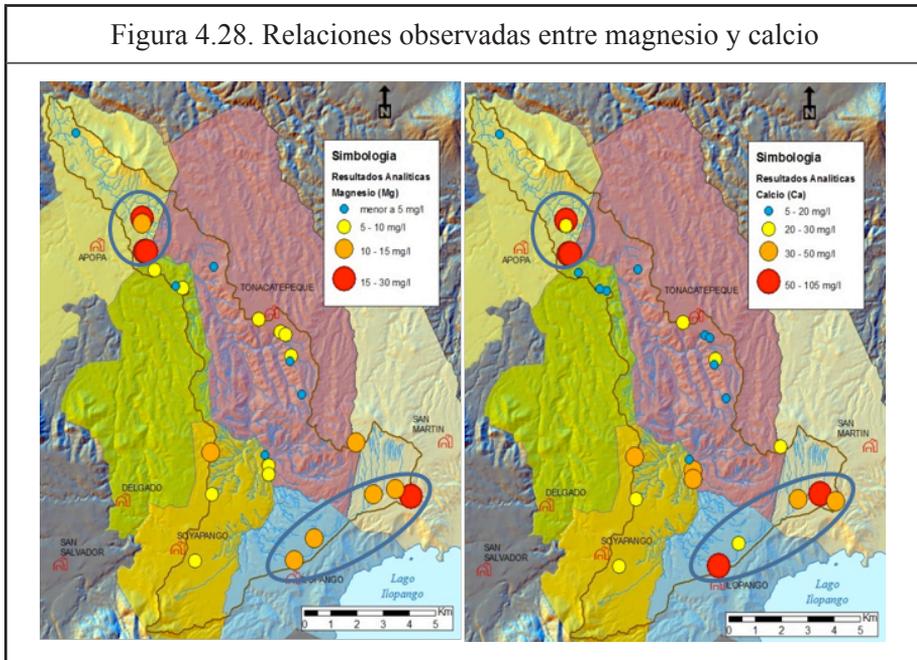
Manganeso

De forma natural, la concentración del manganeso siempre es menor a la del hierro. La norma salvadoreña obligatoria establece que el agua, para considerarse potable, no debe exceder una concentración de 0,10 mg/l de esta sustancia. Los valores reportados en el territorio presentan unas concentraciones comprendidas entre 0,00107 y 3,103 mg/l (figura 4.27). Se observa una marcada distribución de esta sustancia, ya que sus máximos valores se localizan en la cabecera, específicamente en San Martín (0,6851 y 0,7312 mg/l), Ilopango (1,0750 y 0,5343 mg/l) y Soyapango (0,5028 mg/l), aunque su valor máximo se registra en Apopa, el cual equivale a 3,1032 mg/l, es decir, más de treinta veces el valor permitido para agua potable.

Relaciones entre parámetros

Como se ha dicho, considerando información provista por una sola campaña de muestreo, es difícil establecer la distribución espacial de los distintos parámetros analizados, ni sus tendencias o evoluciones, ya que la información representa una situación puntual dentro de un sistema dinámico. Además, la red de muestreo que ha sido considerada en esta caracterización está formada por puntos que han sido seleccionados entre los que había disponibles, es decir, que la red no ha podido ser diseñada debidamente para abarcar espacialmente la totalidad de la microcuenca; por tanto, el agua que se recoge en una captación no siempre es representativa de todas las aguas del acuífero como tal, puesto que representa un porcentaje ínfimo de todo el sistema. También es cierto que tras la realización de los mapas de concentración se derivan ciertas relaciones entre los mayores valores de algunos parámetros, así como su distribución geográfica en la microcuenca. En las figuras 4.28 y 4.29 se exponen los mapas de los parámetros que presentan dicha relaciones.

Figura 4.28. Relaciones observadas entre magnesio y calcio



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).

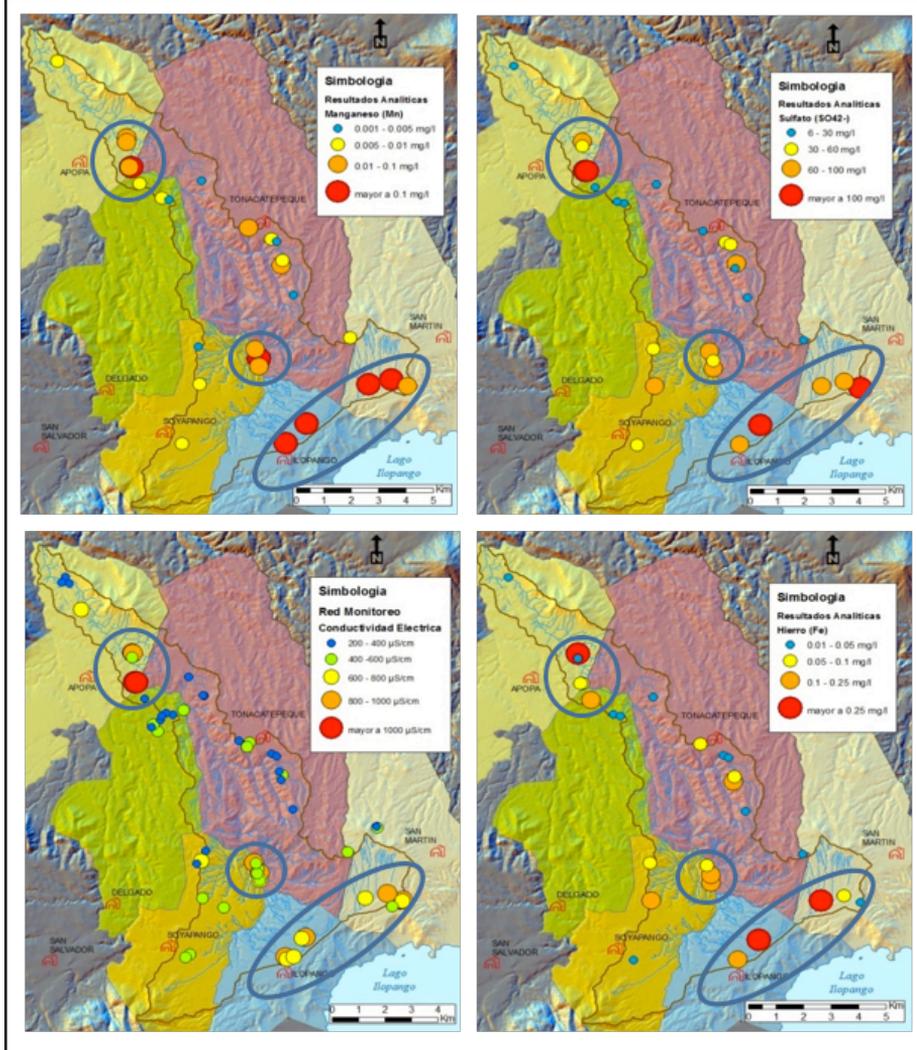
En la figura 4.28 se relacionan los cationes de magnesio (Mg) y calcio (Ca), cuyas mayores concentraciones se sitúan en San Martín, Ilopango y Apopa. Por otra parte, en la figura 4.29 se relacionan los parámetros conductividad eléctrica (CE), sulfato (SO_4^{2-}), hierro (Fe) y manganeso (Mn), que presentan sus mayores concentraciones en San Martín, Ilopango, Soyapango y Apopa.

Estas relaciones denotan un posible origen o causa común (antrópica o natural) debido a las características propias del agua subterránea en esas zonas específicas; sin embargo, para descifrar este origen, sería necesario un trabajo de campo específico que incluyera una identificación y descripción de las actividades industriales, un estudio de detalle de las aguas subterráneas circundantes a dichas zonas y un monitoreo, entre otras tareas.

Con base en esta información, se observa que existen once puntos que no cumplen algunos o varios de los parámetros establecidos por la norma salvadoreña. En la tabla 4.1 se presentan estos puntos marcados, cuyos valores superan los límites máximos permisibles, además se indica el uso al que se destina el agua y el municipio correspondiente.

Figura 4.29. Relaciones observadas entre otros parámetros

Conductividad eléctrica, sulfato, hierro y manganeso



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).

El manganeso es el más repetitivo, con siete puntos que no cumplen la norma: dos en San Martín, dos en Ilopango, uno en Apopa, uno en ciudad Delgado y otro en Soyapango. Seguido se encuentra el hierro, con tres puntos que no cumplen con la norma: uno en Apopa, otro en Ilopango y uno más en

San Martín. Asimismo, el nitrato, con tres puntos que no cumplen la norma salvadoreña: uno en Apopa, uno en Tonacatepeque y otro en Soyapango. Por último se tiene el nitrito, que solo presenta un punto donde no se cumple la norma: en Soyapango. Por tanto, se observa que, salvo el nitrito, los demás parámetros que no cumplen se localizan en varios municipios. En la figura 4.30 se visualiza la red de muestreo, indicando los puntos donde se superan los límites máximos permisibles.

Tabla 4.1. **Puntos de la red de muestreo que no cumplen la norma salvadoreña**

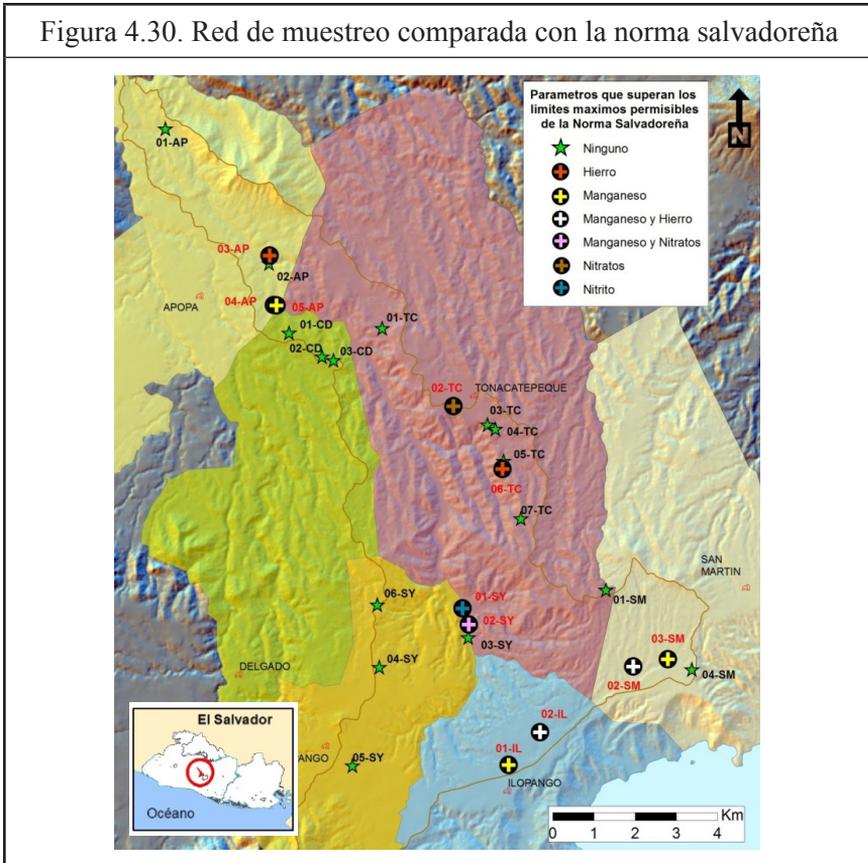
Municipio	Uso	Máximo permisible de acuerdo con la norma salvadoreña			
		1,00	45,00	0,30	0,10
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
		NO ₂	NO ₃	Fe	Mn
Apopa	Doméstico industrial sin consumo	-	1,8360	0,8136	0,0599
Apopa	Doméstico familiar sin consumo	0,1600	155,3570	0,0530	0,0120
Apopa	Doméstico familiar	0,1640	1,0470	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).

Observando con más detenimiento la tabla 4.1, es evidente 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 abastecen a comunidades y tres abastecen 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.

Nuevamente conviene destacar el hecho de que con una sola campaña de muestreo no se puede caracterizar hidro-químicamente la porción de la *Unidad Acuífero Poroso* situada dentro de los límites de la microcuenca, así como tampoco se puede determinar las distintas distribuciones y tendencias de los parámetros analizados. Esto es así debido a que un acuífero es un sistema dinámico, cuyas características pueden cambiar sustancialmente de una época a otra, como por ejemplo, del periodo de estiaje (estación seca) al periodo de recarga (estación lluviosa). Además, hay que indicar que la red de muestreo considerada como fuente de información no ha podido ser diseñada con la suficiente densidad de puntos necesarios para representar la totalidad de su superficie, por lo que existen zonas donde no se tiene ningún punto de observación.

Figura 4.30. 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).

Por tanto, es necesario tener en cuenta estas consideraciones a la hora de interpretar los resultados obtenidos en la campaña de muestreo analizada. No obstante, se ha observado cierta homogeneidad hidroquímica, la cual se repite en distintos parámetros, pudiendo dar una primera idea de la química y la problemática de las aguas subterráneas. Tras la representación de los componentes mayoritarios analizados en los diagramas de Piper, las facies de las aguas analizadas presentan facies bicarbonatadas cálcicas-magnésicas. Asimismo, con la comparativa realizada entre los resultados de los análisis de calidad con los límites máximos permisibles de la NSO 13.07.01:08, se ha comprobado que, de los puntos que se compone la red de muestreo, en once se han encontrado uno o varios parámetros que no la cumplen: nitrito, nitrato, hierro y manganeso.

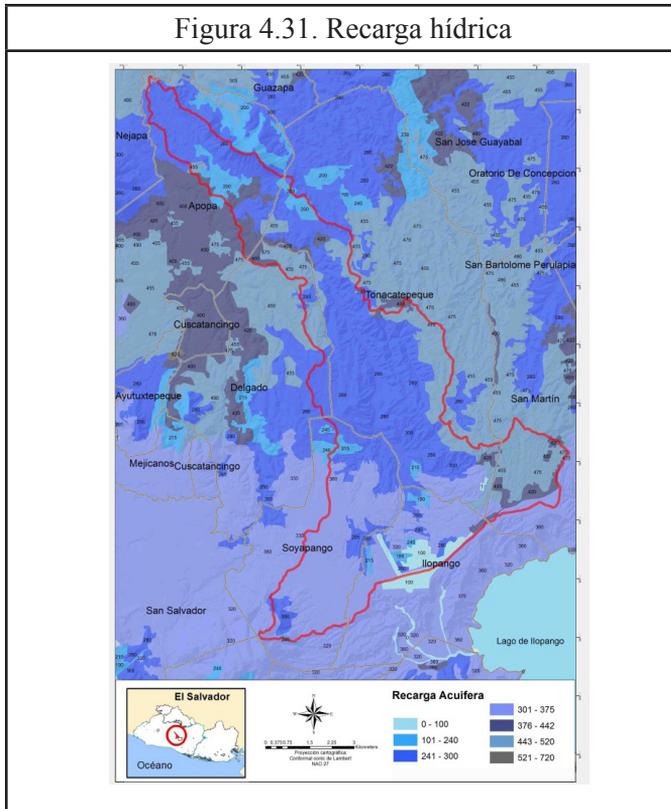
Lo más llamativo de esta comparación es la semejanza espacial que presentan algunos de los parámetros que no cumplen la norma. Es el caso de los metales pesados hierro y manganeso, ya que sus concentraciones son superadas en tres mismos municipios: Apopa, Ilopango y San Martín, precisamente los que presentan 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 a la cercanía de fosas sépticas, ya que estos puntos constituyen pozos artesanales situados en colonias aledañas al cauce del río Las Cañas.

Por todo lo anterior, 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; pero se sospecha la evidencia de problemas puntuales con respecto al nitrito, nitrato, hierro y manganeso. Finalmente, se puede afirmar que, como línea de base para el monitoreo, se deben tener en cuenta los resultados de los parámetros que no cumplen con la norma salvadoreña obligatoria de calidad de agua, tal como lo muestra la tabla 4.1.

4.8. Recarga hídrica

Según la información de la figura 4.31, el territorio tiene una buena capacidad de recarga hídrica, la cual puede alcanzar los 475 mm anuales, como es el caso de algunas áreas de Tonacatepeque y San Martín. En el otro extremo, se localizan áreas en el entorno del aeropuerto de Ilopango que alcanzan solo 100 mm anuales. Es clave señalar la importancia de Delgado en términos de la capacidad de recarga de agua que poseen sus tierras, la cual puede alcanzar los 455 mm por año. En términos generales, los terrenos con menos de 250 mm anuales de recarga de agua son escasos. De hecho, un poco más de un tercio del territorio posee niveles de recarga de 300 mm por año.

Figura 4.31. Recarga hídrica



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).

4.9. Calidad del agua superficial

Tomando como base el estudio realizado por el MARN (2011), denominado “Medidas de Control de la Contaminación de los Ríos Tomayate y Las Cañas”, se sabe que las aportaciones de carga orgánica de los ríos tributarios del río Las Cañas están en el rango de 59,03 a 9.580,03 kgDBO₅/día, por lo que la mayor carga contaminante registrada y aportada por la microcuenca del río las Cañas al río Acelhuate es de 28.310,34 kgDBO₅/d, y la cual está referida en el mes de junio (época de mayor dilución para los sistemas hídricos). En ese mismo estudio se menciona que las mayores cargas de otros contaminantes que aporta la microcuenca del río Las Cañas al Acelhuate son:

73.139,91 kgDQO/día, Coliformes Fecales en el orden de 1.016 NMP/día, 3.879,18 kg/d de nitrógeno total y 1,751.15 kg/d de fósforo total.

Con relación al comportamiento de los tributarios que aportan la carga de contaminación de la microcuenca del río Las Cañas, se reporta lo siguiente: el río Sumpa aporta el 73 % de la carga contaminante kgDBO₅ (17.256,50 kgDBO₅/d); el río Chantecuán contribuye con el 14 % (3.286,48 kgDBO₅/d); el río Las Pavas aporta el 11% (2.686,00 kgDBO₅/d), la quebrada Arenal Seco aporta el 1 % (242,09 kgDBO₅/d), y el río Ismatapa el 1 % (185,51 kgDBO₅/d).

Según la modelación de contaminantes hecha por el MARN para la microcuenca, el río Las Cañas presenta una carga de materia orgánica capaz de producir un déficit de oxígeno disuelto desde su cabecera hasta la desembocadura. Por ejemplo, desde la cabecera, a 2 km, el oxígeno disuelto es agotado hasta alcanzar la mínima concentración de 0.30 mg/l. Como se ha dicho, los valores de oxígeno disuelto cercanos a 0 mg/l representan un nivel “fatal” para la mayor parte de las especies acuáticas; es decir, que la calidad de agua del río Las Cañas no es apta para la vida acuática.

Después de que el cauce ha recorrido 2 km desde la cabecera, se experimenta un incremento en la velocidad del agua, lo cual contribuye a la re-aireación, favoreciendo la degradación de la materia orgánica remanente. Esto ocurre hasta que se han recorrido 5 km, ya que en este punto se da una situación crítica: la velocidad de consumo de oxígeno predomina, nuevamente por la carga orgánica que es adicionada justamente a 11 km antes de la desembocadura. Según la información del MARN (2011), 9 km antes de la desembocadura, el río presenta una concentración de oxígeno disuelto equivalente a 3.2 mg/l, lo cual indica que posee capacidad de autodepuración.

No obstante, en el mismo estudio se ha determinado el Índice de Calidad del Agua General⁹ (ICA) para el río Las Cañas, el cual establece que su agua es “Pésima” (ya que el valor del indicador ponderado es menor a 25)¹⁰, es decir, que “*imposibilita el desarrollo de vida acuática*”. Este índice se calcula tomando en cuenta los valores de la tabla 4.2. Las aguas de esta categoría

⁹ En el cual intervienen nueve parámetros: coliformes fecales (en NMP/100 ml), pH (en unidades de pH), DBO. en 5 días (DBO₅ en mg/l), nitratos (NO₃ en mg/l), fosfatos (PO₄ en mg/l), cambio de la temperatura (en °C), turbidez (en FAU), Sólidos disueltos totales (en mg/l) y oxígeno disuelto (OD en % de saturación).

¹⁰ Aunque mejora en 10 puntos en su desembocadura al río Acelhuate.

“pueden solamente apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación” (MARN, 2011).

Tabla 4.2. Valores de ICA y su interpretación

Calidad de agua	Rango de valor	Usos del agua
Excelente	91 a 100	Facilita el desarrollo de vida acuática
Buena	71 a 90	Facilita el desarrollo de vida acuática
Regular	51 a 70	Restringe el desarrollo de vida acuática
Mala	26 a 50	Restringe el desarrollo de vida acuática
Pésima	0 a 25	Imposibilita el desarrollo de vida acuática

Fuente: MARN, 2011.

Asimismo, se ha calculado el ICA_s,¹¹ el cual establece que el agua del río Las Cañas es “Pésima” (ya que el valor del indicador es igual o menor que 25), lo cual refleja el nivel de contaminación por sustancias tóxicas presentes en el río (MARN, 2011), tomando en cuenta los valores de la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Valores de ICAs

Calidad de agua	Rango de valor
Excelente	91 a 100
Buena	71 a 90
Regular	51 a 70
Mala	26 a 50
Pésima	0 a 25

Fuente: MARN, 2011.

¹¹ Considera los parámetros relevantes de contaminación orgánica (biodegradable) y tóxica, siendo los siguientes: arsénico (As), cromo (Cr), mercurio (Hg), plomo (Pb), oxígeno disuelto (OD), amoníaco (NH₃), coliformes fecales, DBO y compuestos fenólicos.

4.9.1. Fuentes puntuales de contaminación del agua

En la microcuenca se han registrado fuentes puntuales de contaminación del río y sus tributarios, las cuales están constituidas por 19 vertidos: 11 provenientes de aguas residuales ordinarias y 8 de aguas residuales especiales (MARN, 2011). En la tabla 4.4 y en la figura 4.32 se muestran los detalles correspondientes a las fuentes puntuales de contaminación del agua.

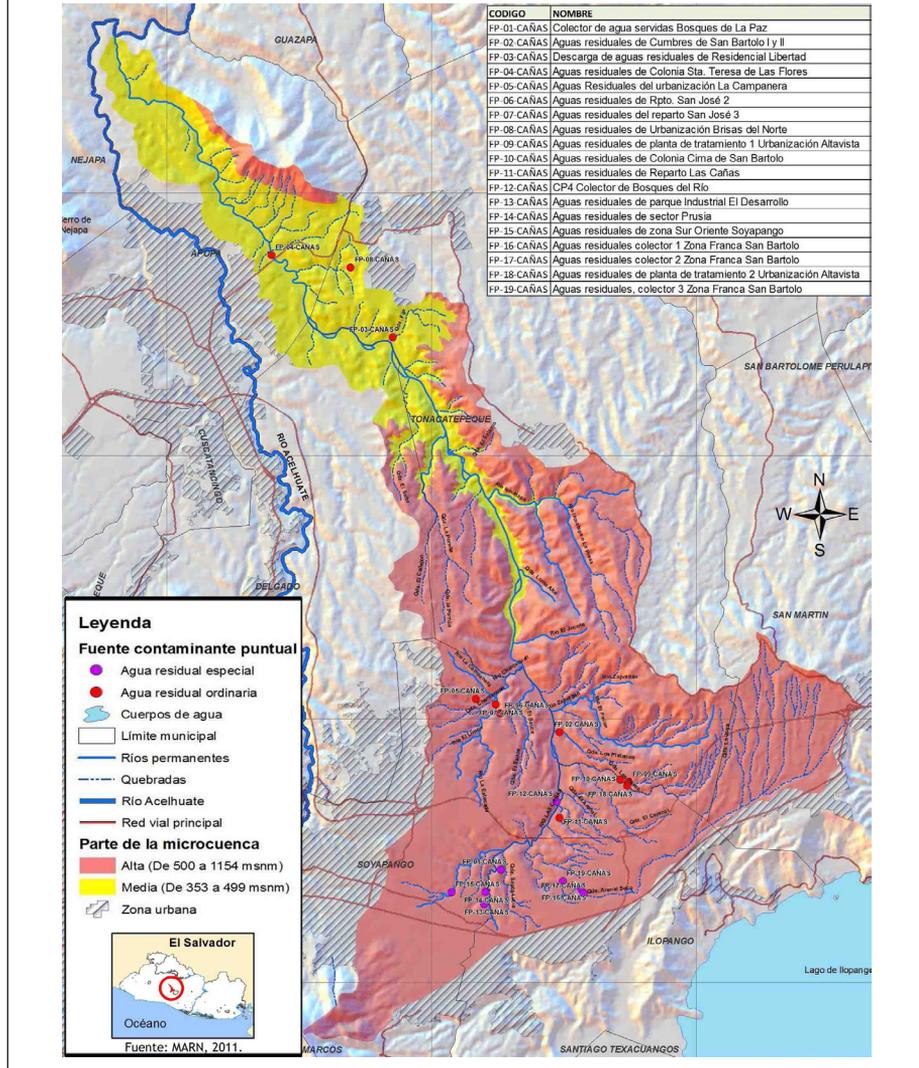
Tabla 4.4. Fuentes fijas de contaminación hídrica

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

Nombre	Tipo de vertido	Municipio	Cuerpo receptor
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.

Figura 4.32. Localización de fuentes puntuales de contaminación hídrica

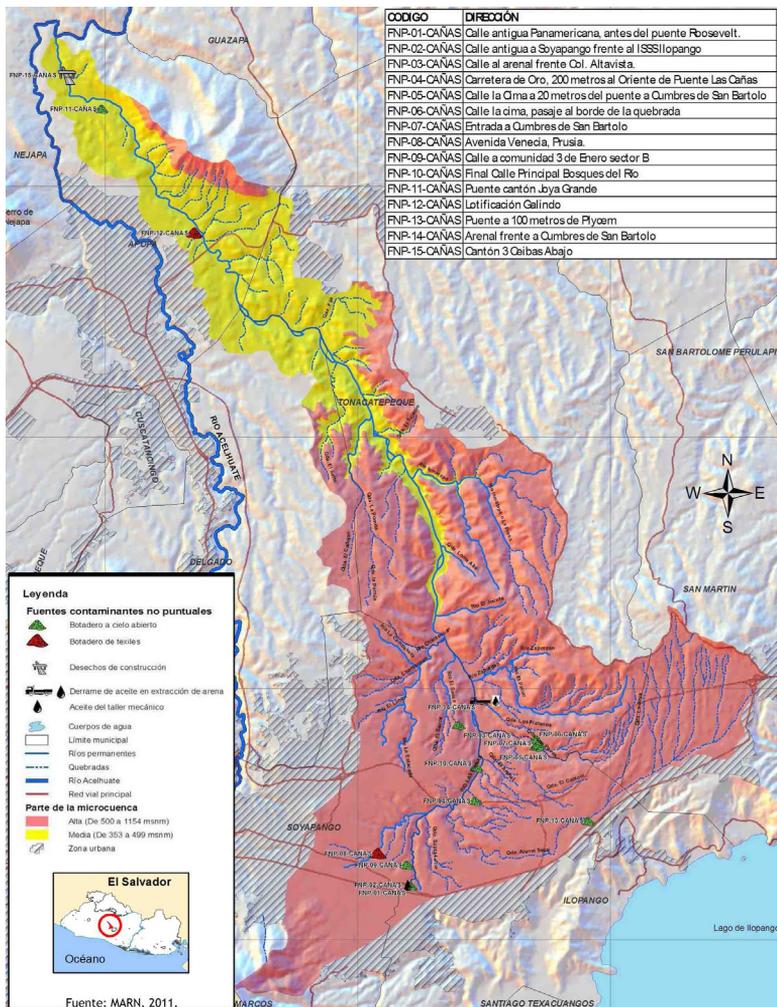


Es necesario tomar en cuenta que estas fuentes puntuales de contaminación son consideradas como un tipo de descarga de agentes contaminantes (contenidos principalmente en aguas residuales ordinarias¹² y/o especiales¹³), las cuales tienen una localización geográfica específica, y que se

12 Cuyo origen es la actividad doméstica.
 13 Derivada de actividad industrial específica.

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.

Figura 4.33. Localización de fuentes no puntuales de contaminación hídrica



4.9.2. Fuentes no puntuales de contaminación del agua

Las fuentes no puntuales de contaminación del agua en la microcuenca del río Las Cañas son el resultado de la disposición inadecuada de desechos sólidos y líquidos (aceites y lubricantes de motores), y de la extracción de pétreos que se verifica en el cauce del mismo río. En la figura 4.33 y la tabla 4.5 se presentan los detalles correspondientes a las fuentes no puntuales de contaminación del agua.

Tabla 4.5. 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

Nombre	Cantón/Colonia	Municipio	Cuerpo receptor
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.

CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO SOCIOECONÓMICO

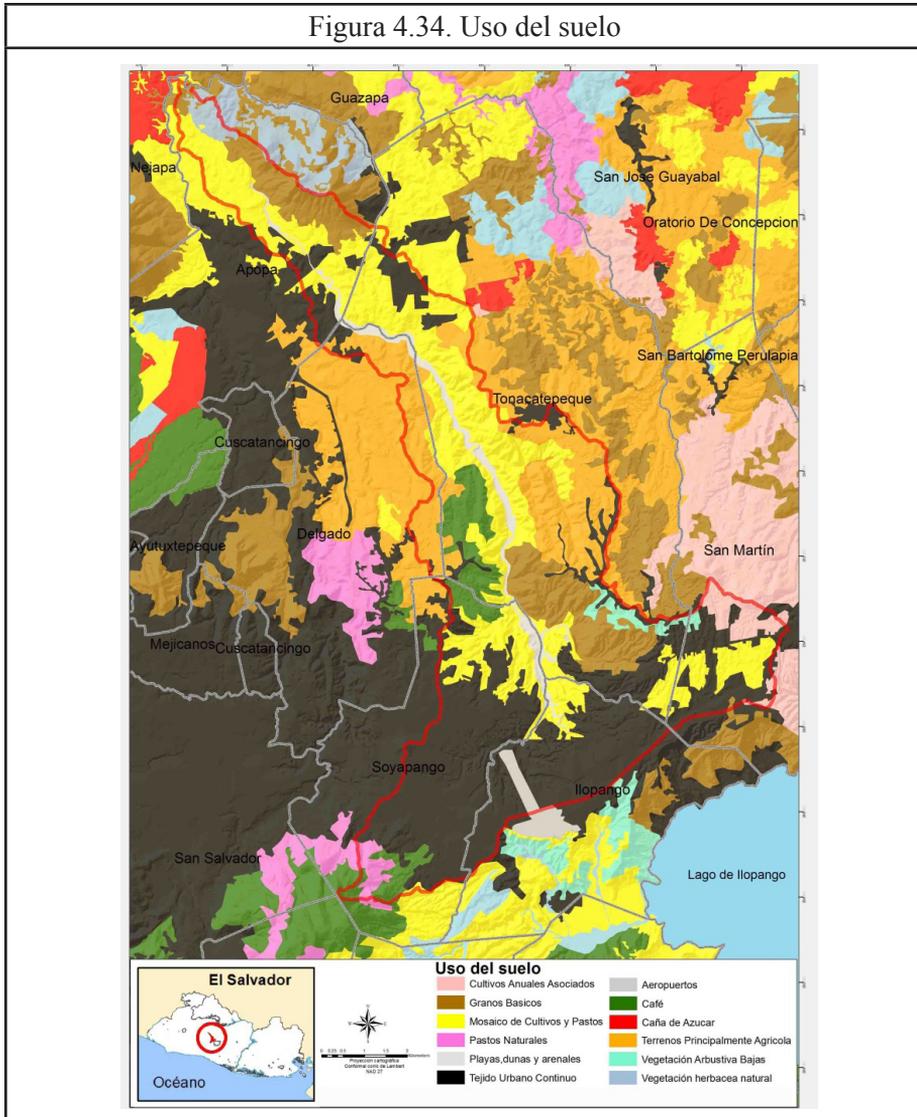
Las características socioeconómicas de la microcuenca, desde el punto de vista hídrico, se presentan a continuación.

4.10. Uso del suelo

Para realizar el mapeo del uso de suelo de la microcuenca, se tomó como base el mapa de *uso actual del suelo*, elaborado por la Universidad de El Salvador y la Fundación Salvadoreña para la Investigación del Café (Procafé) en el año 2010 (escala 1: 50,000). En la figura 4.34 pueden observarse las categorías de uso presentes en el territorio. Con esta información, y con la ayuda de un sistema de información geográfica (ArcGis 10.3), se ha construido la tabla 4.6, en la cual se presentan las áreas y porcentajes de los diferentes tipos de cobertura existentes en la microcuenca.

A pesar de que el territorio pertenece al AMSS, la información relacionada con el uso del suelo permite 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 un *mosaico de cultivos y pastos*, con el 27 % de la superficie territorial (2.031,09 ha), seguido de un 13 % de *terrenos principalmente agrícolas pero con importantes espacios de vegetación natural* (equivalente a 984,51 ha), un 10 % de áreas cultivadas con *granos básicos* (754,06 ha), un 2 % de *cultivos anuales asociados con otros cultivos* (130,03 ha), y un 1 % de *pastos naturales* (es decir 64,58 ha).

Figura 4.34. Uso del suelo



Fuente: Elaboración propia utilizando base cartográfica del Centro Nacional de Registros, y el Vice-Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano.

En un 33 % predomina el *tejido urbano continuo*, que si se suma a las categorías *tejido urbano discontinuo* (2%) y *tejido urbano precario* (2%), 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.

Es importante señalar la relación que existe entre la capacidad de recarga y el uso del suelo, sobre todo en lo que respecta al riesgo que puede representar para el acuífero de San Salvador la existencia de *terrenos principalmente agrícolas* en suelos en donde su capacidad de recarga es “alta”, como es el caso de los terrenos ubicados al sureste del casco urbano de Tonacatepeque (ver figuras 4.31 y 4.34); o bien, las áreas agrícolas del noreste de Delgado. 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 (figura 2.34), 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.

Tabla 4.6. 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 con 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.

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 el 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 municipios 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.

4.10.1. Crecimiento urbano

En la figura 4.35 y la tabla 4.7 se ilustra el crecimiento urbano que ha experimentado el área metropolitana de San Salvador desde el año 1594. En poco más de 415 años, la ocupación urbana del suelo se ha multiplicado considerablemente, pasando de una cobertura urbana de 24 a 18.863 hectáreas, lo que equivale a un crecimiento aproximado de 200 % cada cien años.

Tabla 4.7. Evolución del área urbana en el área metropolitana de San Salvador

Año	Hectáreas	Año	Hectáreas
1594	24,04	1948	1.546,06
1700	36,06	1955	2.286,68
1800	72,63	1977	5.925,24
1850	106,81	1995	9.582,53
1880	151,56	2002	14.658,34
1900	227,17	2008	15.971,38
1915	293,53	2010	18.862,57
1938	1.002,65		

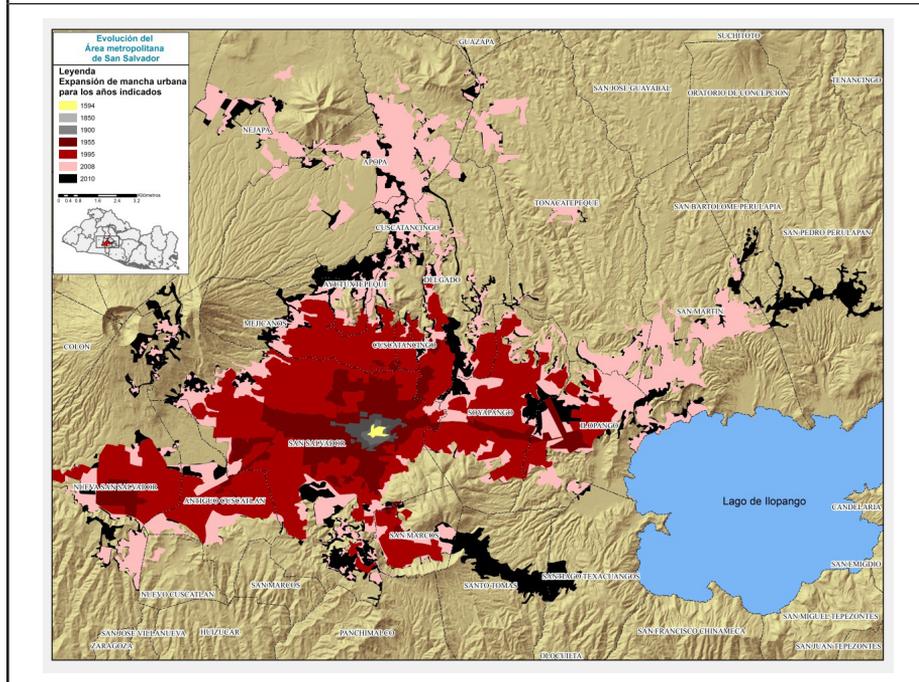
Fuente: Elaboración propia con base en el Centro Nacional de Registros y el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano.

Los cambios de cobertura urbana más acelerados comenzaron a experimentarse desde el año 1700 al 1800, cuando se tuvo un porcentaje de 101 de crecimiento. De 1915 a 1938 se registra un porcentaje de 242; es decir, que en solo 23 años se pasó de 294 a 1.003 hectáreas. A partir de entonces, en períodos que no superan los 25 años, se registran porcentajes de más del 50 %. Por ejemplo, de 1955 a 1977 (22 años) se registró un porcentaje de crecimiento de 159, pero de ese año a 1995 (18 años) el crecimiento fue de 62%. Llama la atención que de 1995 a 2002 (tan solo 7 años) el crecimiento registrado fue de 53 %. En el lapso de dos años (2008 a 2010) se ha verificado un crecimiento de 18 %.

Estos cambios de cobertura urbana han significado la pérdida de áreas forestales y de ecosistemas estratégicos para el aseguramiento de bienes y servicios ambientales, como la provisión de agua (en cantidad y calidad), regulación del clima, belleza escénica, captura y fijación de carbono y reducción de riesgo frente a eventos climáticos, entre otros beneficios. Sin embargo, en virtud de la dinámica de crecimiento que se ha venido experimentado en los últimos años, es de esperarse que ecosistemas de bosque, cafetales y agroecosistemas cedan espacio a la expansión urbana, tal y como está ocurriendo en áreas de interés ecológico situadas en el entorno del volcán de San Salvador,

que para 1995 no estaban desarrolladas, al igual que los espacios naturales próximos a la cordillera del Bálsamo, el cerro San Jacinto y la cuenca del lago de Ilopango; o más internamente a la conurbación, en el cerro Milingo y en la finca La Argentina, del municipio de Delgado.

Figura 4.35. Evolución del área urbana en el área metropolitana de San Salvador



Fuente: Elaboración propia con base en el Centro Nacional de Registros y el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano.

Merece la pena destacar el crecimiento urbano acelerado que también se ha dado entre 1995 y 2008 en Ayutuxtepeque, Cuscatancingo, Santo Tomás y San Pedro Perulapán, en donde se registran crecimientos del orden del 10 % en períodos menores a diez años. Por otra parte, parece ser que desde antes del 2008 se ha dado una expansión acelerada hacia la parte norte del área metropolitana, que abarca los municipios de Apopa, Nejapa y Guazapa.

Finalmente, resulta lógico pensar que la demanda y disposición de agua en este territorio ha acrecentado la problemática de disponibilidad de este

recurso para los distintos usos, ya sea porque se requiere de nuevas fuentes que satisfagan las necesidades de la población (principalmente subterráneas), con el costo que eso supone, o por la progresiva degradación del recurso en su calidad, lo cual representa una seria limitante para el aprovechamiento en cualquier de los sectores económicos.

4.10.2. Población

En 2014, la población total que habita en los municipios que conforman 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 %). En la tabla 4.8 se presentan estos datos.

Tabla 4.8. 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
	1.015.716	169.286	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos catastrales municipales.

Si se asume 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.

4.10.3. Abastecimiento de agua potable

De acuerdo con información de Anda (2011), en cinco de los seis municipios que conforman la microcuenca se localizan sistemas de producción de agua potable que son administrados por 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 4.9.

En términos de consumo, Anda (2011) reporta información para todos los municipios dentro de la microcuenca, a excepción de Tonacatepeque; según esos datos, el consumo promedio mensual por servicio de acueducto oscila entre 17 m³ y 22 m³. En la región metropolitana de San Salvador, el consumo promedio es de 24 m³ (ver tabla 4.10).

Tabla 4.9. Producción de agua por municipios para el año 2011¹⁴

Municipio	Sistema	Producción (en miles de m ³)
Delgado	Tradicional	8.333,0
Soyapango	Tradicional	16.893,0
	Las Pavas	7.885,3
Ilopango	Tradicional	4.848,3
	Las Pavas	2.628,4
San Martín	Tradicional	605,9
	Las Pavas	2.553,3
Apopa	Tradicional	12.878,0
Total		56.625,2

Fuente: Anda, 2011.

Con base en esta información, si se asume un consumo promedio de agua de 20 m³ al mes en la microcuenca, y con un aproximado de 138.010,5 viviendas, se tiene un consumo de agua potable de 2.760.210 m³ por mes en el territorio.

¹⁴ La producción de agua es a través de los sistemas administrados por Anda y operadores descentralizados.

Tabla 4.10. Consumo de agua por municipios para el 2011

Municipio	Consumo (en m³/mes)
Delgado	21
Soyapango	21
Ilopango	19
San Martín	17
Apopa	22

Fuente: Anda, 2011.

4.10.4. Otras fuentes de abastecimiento de agua

Con base en 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” (ejecutado en el 2014), se dispone de información relacionada con fuentes de abastecimiento de agua (en uso), entre las que destacan 10 pozos artesanales, 10 nacimientos/manantiales de agua y 21 pozos con bombeo (tabla 2.11). Además, se sabe que 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 abastecimiento doméstico, reportando un consumo promedio de 16 m³ al mes; y para abastecimiento industrial, del cual no se tiene registro mensual.

Tabla 4.11. 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 4.12 se presenta información de la calidad de agua de los pozos y nacimientos/manantiales 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 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 presenta 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 4.12).

Tabla 4.12. 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	45,00	0,30	0,10
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
			NO ₂	NO ₃	Fe	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

Municipio	Tipo	Uso	Máximo permisible de acuerdo con la norma salvadoreña 13.07.01:08			
			1,00	45,00	0,30	0,10
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
			NO ₂	NO ₃	Fe	Mn
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.

Cabe señalar que, además de los análisis fisicoquímicos y de metales pesados, también se han realizado análisis bacteriológicos en los puntos de monitoreo de la campaña realizada en el marco 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 acuerdo con la NSO 13.07.01:08, los resultados obtenidos en los análisis microbiológicos no superan los límites máximos, en cuanto a la concentración de bacterias coliformes totales, fecales, *Escherichia coli*, bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas, y organismos patógenos.

4.10.5. Salud de la población

En vista de que se han identificado nueve fuentes de agua (pozos artesanales y con bombeo en uso) que presentan problemas de calidad, por su contenido de hierro, manganeso, nitrato y nitrito, se ha hecho una búsqueda de información sobre estadísticas que refieren al número de muertes por IRC y pacientes de ERC registrados en los municipios de la microcuenca, con especial atención en aquellos en donde se ha detectado problemas en la calidad del agua para abastecimiento humano.

Mortalidad por insuficiencia renal crónica

En la tabla 4.13 y el gráfico 4.2, se presentan los datos correspondientes a la mortalidad por insuficiencia renal crónica (de mujeres y hombres) para el período entre 2007 y 2013, en los municipios del territorio.

Tabla 4.13. Mortalidad por insuficiencia renal crónica

Municipio	2007			2008			2009			2010			2011			2012			2013			TG
	F	M	T	F	M	T	F	M	T	F	M	T	F	M	T	F	M	T	F	M	T	
Apopa	5	6	11	8	5	13	2	8	10	7	11	18	-	5	5	7	11	18	6	5	11	86
Ilopango	5	3	8	3	5	8	5	5	10	5	5	10	4	9	13	4	7	11	3	5	8	68
San Martin	2	2	4	1	-	1	2	3	5	3	1	4	-	7	7	2	4	6	4	2	6	33
Soyapango	2	13	15	4	15	19	10	10	20	9	15	24	7	15	22	14	12	26	9	8	17	143
Tonacatepeque	-	3	3	2	1	3	1	7	8	3	6	9	3	5	8	3	2	5	1	5	6	42
Delgado	1	7	8	5	5	10	4	15	19	4	6	10	8	14	22	2	8	10	6	6	12	91

F: femenino. M: masculino. T: total; TG: total general.

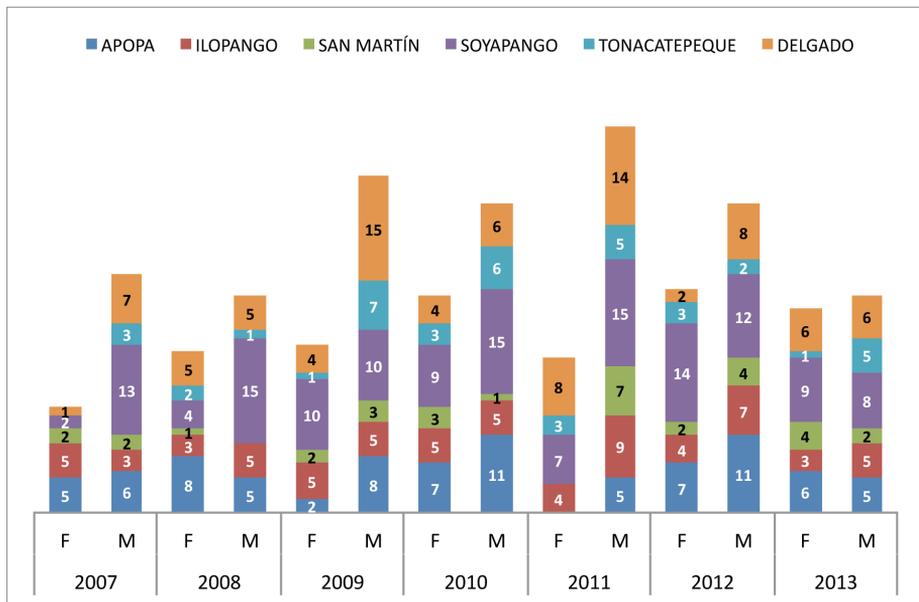
Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto salvadoreño del seguro social sobre "Mortalidad institucional por insuficiencia renal crónica desagregado por municipio y sexo del 2007 al 2013".

Resulta evidente que, en ese período, la cantidad de hombres fallecidos por insuficiencia renal crónica es mayor que la de mujeres, 176 y 287, respectivamente (es decir 463 muertes en total); con una tendencia de 2 a 1 en algunos municipios; siendo Soyapango el que registra más muertes, 143

(55 mujeres y 88 hombres); seguido de Ciudad Delgado, con 91 (30 mujeres y 61 hombres); y de Apopa, con 86 (35 mujeres y 51 hombres).

A escala municipal, los datos de muertes en la microcuenca solo son superiores al municipio de San Salvador, en donde se registran 234 (87 mujeres y 147 hombres). En términos porcentuales, el número de muertes por insuficiencia renal crónica reportados en los municipios de la microcuenca representan el 44 % de las defunciones ocurridas en todo el departamento de San Salvador (para el período en análisis). Por sexo, el número de mujeres fallecidas en la microcuenca constituye el 46 % de mujeres fallecidas en el departamento de San Salvador; mientras que en el caso de hombres, representa el 43 % del mismo departamento.

Gráfico 4.2. Mortalidad por insuficiencia renal crónica



Fuente: Elaboración propia con base en datos del ISSS sobre “Mortalidad institucional por insuficiencia renal crónica desagregado por municipio y sexo del 2007 al 2013”.

Morbilidad por insuficiencia renal crónica

En ese acápite se muestran los casos de morbilidad por IRA y 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.

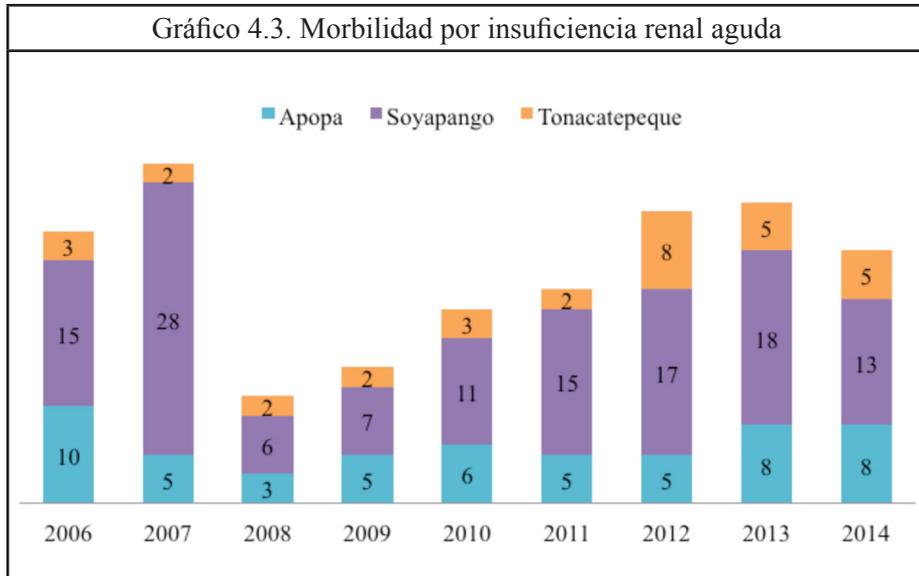
De acuerdo con los datos de la tabla 4.14, la IRA es menos frecuente que la IRC en los tres municipios analizados, ya que en un período de nueve años se reportan 217 casos (respecto a 8.064 casos de IRC) en el sistema de salud pública, siendo Soyapango el que registra el mayor número de enfermos, con 130 casos; seguido de Apopa, con 55; y Tonacatepeque, con 32.

Tabla 4.14. 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.



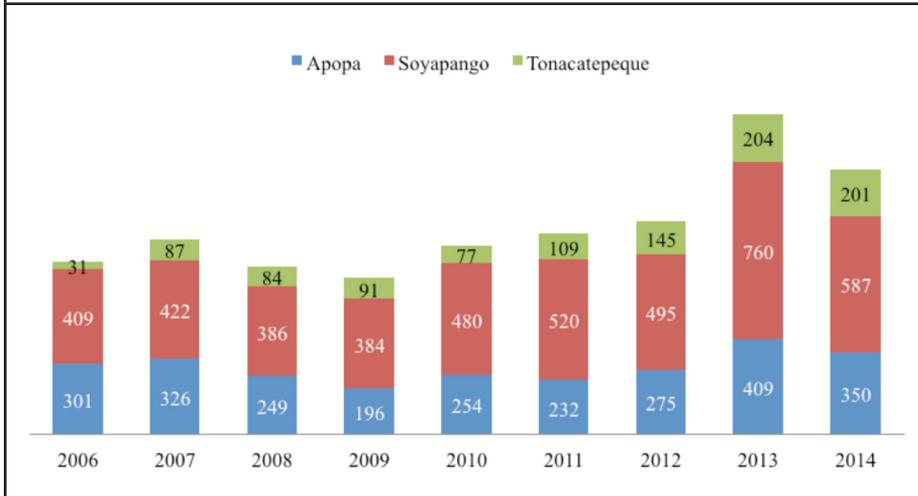
Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 4.3 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 periodo 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 periodo, 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 periodo 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.

Gráfico 4.4. Morbilidad por insuficiencia renal crónica



Fuente: elaboración propia.

En el análisis de la morbilidad por IRC 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 y 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.

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 otro. 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 rango. 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 4.15).

Tabla 4.15. Morbilidad por insuficiencia renal crónica (por rango de edades)

Municipios	Años	Edades						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

Municipios	Años	Edades						Total
		1-4	5-9	10-14	15-19	20-59	≥60	
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.

ANÁLISIS DOSIS-RESPUESTA

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

1. Solo se han tomado en cuenta los casos de IRC, entendida 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. Estudios nacionales demuestran que la IRC tiene un patrón no tradicional que afecta principalmente a hombres, aunque se ha detectado también en adolescentes y niños, y en menos proporción en mujeres (García et al., 2002). Asimismo, se relacionan factores de riesgo ambiental derivados de entornos en donde se desarrollan actividades agropecuarias intensivas; es decir, un ambiente con agentes tóxicos (sustancias químicas y metales pesados) presentes en el aire, suelo y agua, que varían con el clima y uso del suelo, entre otros factores (INS-Minsal, 2014).

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 4.15), durante un período de nueve años, lo cual dejaría por fuera a las personas por debajo de 10 años de edad, justificando una menor significancia estadística debido a que existe menor exposición a los factores de riesgo dichos con anterioridad, incluidas las condiciones ambientales de ecosistemas agropecuarios y riesgos ocupacionales.

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.

Es importante señalar que la mayoría de casos de IRC obedecen etiológicamente a factores como la diabetes mellitus, hipertensión arterial y otras enfermedades renales, así como a determinantes sociales, entre los que sobresalen: (i) antecedentes familiares; (ii) obesidad; (iii) tabaquismo y alcoholismo; y (iv) bajo peso al nacer (INS-Minsal, 2014). No obstante, la relación que se quiere establecer toma en cuenta otros factores no tradicionales, como son las condiciones ambientales del entorno, particularmente la calidad del agua para consumo humano, la cual está asociada a las actividades económicas que se desarrollan en la microcuenca, especialmente la agricultura (con uso intensivo de agroquímicos) y la industria, que de paso constituye una de las más importantes a escala nacional.

El análisis se basa en información anual del período 2006-2014 presentada en la tabla 4.16, 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 nacimientos/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.

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, Manganeseo, 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.

Tabla 4.16. 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

Con la información de la tabla 4.16 se realiza el análisis de regresión, cuyos resultados se detallan en los anexos. Cada estimación se ha hecho utilizando mínimos cuadrados ordinarios; la letra L denota logaritmo natural, y la B el intercepto de la regresión.

La primera regresión (anexo) muestra que tanto la variable *proxy* representada por el caudal de vertido, así como la carga de nitrógeno y DQO, cuyos valores han sido expresados en función logarítmica, parecen no tener mayor incidencia directa en la morbilidad por IRC, a pesar de que los coeficientes de la regresión arrojan signos positivos y un buen nivel de significancia al 5 %. Es probable que el número de observaciones utilizadas esté afectando el grado de ajuste, ya que ha resultado ser muy bajo, apenas el 52 % de la variación de la tasa bruta de morbilidad es explicada por la regresión. No obstante, este primer modelo no evidencia problemas econométricos de autocorrelación y heteroscedasticidad. Es claro que en este modelo no es posible disponer de un estimativo de la elasticidad de la tasa bruta de morbilidad con respecto a la contaminación hídrica por sustancias contaminantes.

Removiendo la variable independiente no significativa ($LDQO$) obtenemos la segunda regresión, con la que nuevamente se presenta la dificultad de obtener una estimación de la elasticidad de la TBM generada por los cambios en los niveles de contaminación hídrica como efecto del caudal de vertido y la carga de nitrógeno (LN), a pesar de que la estimación es significativa al 5 %. Una vez más el R^2 es de 52 %, y aunque no existen evidencias de contradicciones econométricas, tampoco expresa la proporción de varianza de la TBM que está explicada por la variable independiente LN . De esta forma, resulta claro que el número limitado de observaciones es el factor más importante que condiciona la estimación del comportamiento de la morbilidad por IRC, como efecto de las concentraciones de sustancias contaminantes presentes en el agua.

Ambas regresiones hacen pensar que el comportamiento de la morbilidad por IRC se explica, al menos en un 50 %, por las variaciones en la carga de nitrógeno (nitrato y nitrito), pero es obvio que no se están tomando otros condicionantes de carácter socioeconómico; por esta razón, y de acuerdo con la información disponible sobre el consumo mensual de agua de pozos (artesanales y con bomba), se han incorporado dos variables independientes,

Cons y *Pob* en la regresión 3. La variable *Pob* resulta de la descomposición de la tasa bruta de morbilidad ($TBM = MORB/POB$). De esta forma, el modelo ahora incluye tres variables independientes, que en conjunto explican el 63 % de la varianza de la variable dependiente *LMORB*.

En esta tercera regresión, el error típico de los residuos (0,0766499) ha aumentado levemente respecto a la regresión 2 (0,0673990), lo que indica que el ajuste de la relación econométrica no se ha modificado sustancialmente. Esta vez el valor corregido de R^2 es menor que el corregido. Por otra parte, el estadístico *F* podría hacer pensar que existe algún nivel de relación lineal entre la variable dependiente (*LMORB*) y las variables independientes (*QV*, *Cons* y *Pob*), aunque no de forma tan significativa, ya que el nivel de significancia Sig. = 0,147.

La tabla de coeficientes de la regresión 3 también se muestra en los anexos, y contiene toda la información necesaria para construir la ecuación de regresión mínimo-cuadrática. Por ejemplo, el coeficiente correspondiente a la variable *LQV*, cuyo valor es 0,114, indica que, si el resto de variables se mantienen constantes, cualquier aumento en una unidad (m^3) del caudal de descarga le corresponde, en promedio, un aumento de 0,114 en la tasa de morbilidad por IRC. No obstante, debe aclararse que estos coeficientes son de “regresión parcial”, ya que el valor que efectivamente tomará en el modelo estará ajustado, teniendo en cuenta la presencia del resto de variables independientes. De estos resultados, también se observa que los coeficientes de regresión estandarizados le confieren la mayor importancia en la ecuación de regresión al caudal de vertido (*LQV*), seguido de la población (*LPob*) y del volumen de consumo que esta realiza (*LCons*). Al igual que en la regresión parcial, estos coeficientes poseen un nivel de dependencia y una relación entre ellos.

En vista de que las pruebas realizadas hasta ahora presentan muy poca significancia estadística, en parte (como se ha dicho) por lo estrecho de las observaciones realizadas, la información sobre la morbilidad se descompondrá en dos subgrupos: personas menores de 20 años y mayores (o iguales) de 20 años. Esta desagregación hará que el número de observaciones independientes se duplique. Dicha segregación se presenta en la tabla 4.17.

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 4.17. 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.

Los resultados se presentan en la regresión 4, en donde se visualiza un ajuste bastante bueno ($R^2 = 95\%$), mucho mayor que el de las pruebas anteriores; es más, 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:

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

ESTIMACIÓN DEL COSTO MARGINAL DE LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA

El costo marginal social derivado de la contaminación generado a raíz de los vertidos con alta carga de sustancias químicas y orgánicas, y su incidencia en la morbilidad por IRC de la población que se abastece de fuentes de agua no seguras, se puede realizar con el valor de la elasticidad entre ambas variables, las cuales, como ya se ha dicho, están relacionadas con la edad de la población y el consumo de agua de dichas fuentes de abastecimiento. La técnica utilizada para estimar dicho costo es a través de la medición de los costos de consulta y tratamiento que requiere una persona con IRC.

Por lo tanto, 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 hidrogeoquímicos 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.

Aunque estos supuestos sean razonables, y parte esencial de la estimación de los costos sociales de la contaminación, es oportuno sentar la recomendación acerca de la urgencia de estudiar con más detenimiento la relación directa (más exacta) entre las actividades agropecuarias e industriales que se identifican en la microcuenca del río Las Cañas, las fuentes de

contaminación (puntuales y no-puntuales) y los niveles de contaminación en el territorio analizado. Es por ello que los resultados de esta investigación pueden considerarse como indicativos (o de referencia) para tales efectos.

Como se ha dejado evidenciado en los acápites anteriores, la elasticidad de la morbilidad por IRC, respecto a la concentración de sustancias contaminantes en los cuerpos de agua, es de 0,425. 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/seg, el cual debe ser proporcional a las fuentes puntuales de contaminación que tienen más incidencia geográfica en los pozos y nacimientos/manantiales 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 ($\partial \text{Morb} / \partial Q_v$).

Por otra lado, según el Instituto Salvadoreño de Bienestar Magisterial (2011), el costo promedio anual del tratamiento total de un paciente con IRC es de US\$6,000, sin medicamentos; por lo que si a ese costo se le calcula el 25 % en ese concepto, 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 (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\$27,870,272.6 (de 2013) por año. Esta cifra equivale a la inversión necesaria para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales (a través de técnicas de depuración), prevista en el Plan de cogestión de la microcuenca del río Las Cañas.¹⁵ Dicha planta supone dar servicio a una población de alrededor de 650.000 habitantes, con una capacidad de 2,5 m³/s, con lo cual se estaría beneficiado a una población de 800.000 habitantes, considerando incluso personas que se localizan fuera de la microcuenca. El costo de esa obra está presupuestada en US\$27,000,000.00

¹⁵ El cual se ha elaborado en el marco del Proyecto denominado “Gestión intermunicipal de la cuenca del río Las Cañas bajo el enfoque de género y la reducción del riesgo de desastres El Salvador”, ejecutado en 2014.

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, en contraste con los objetivos de la investigación, se han consolidado las siguientes conclusiones:

1. Es posible hablar de contaminación del río Las Cañas y sus tributarios, a partir del cálculo del Índice de Calidad del Agua General (ICA) y el Índice de Calidad Sanitaria de las Aguas (ICA_s) realizado por el MARN en 2011, mediante los cuales se establece que su agua es *Pésima*, es decir que “*imposibilita el desarrollo de vida acuática*”, y por el nivel de contaminación con sustancias tóxicas presentes en el río, entre ellas metales pesados. Sin embargo, no es posible hablar de contaminación del agua subterránea de la microcuenca, debido al alcance de los resultados obtenidos en la campaña de muestreo realizada en 2014 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”, y analizados en esta investigación. No obstante, se ha observado cierta homogeneidad hidroquímica, que se repite en distintos parámetros, pudiendo dar una primera idea de la química y la problemática de las aguas subterráneas. Asimismo, con la comparativa realizada entre los resultados de los análisis de calidad con los límites máximos permisibles de la NSO 13.07.01:08, se ha comprobado que existen puntos de la red en donde se han encontrado uno o varios parámetros que no cumplen con la referida norma, tales como nitrito, nitrato, hierro y manganeso.
2. Algunos pozos (artesanales y de bomba) y nacimientos/manantiales en donde se han detectado concentraciones de hierro, manganeso, nitrito y nitrato que sobrepasan (en varias veces) los límites permisibles de la NSO, son utilizados para el abastecimiento de agua para consumo humano, agrícola (e industrial, en algunos casos). Este hallazgo se localiza en Apopa, Ilopango y San Martín, que son precisamente los municipios en donde se verifica una intensa actividad industrial y agropecuaria. En esos municipios, se han registrado 271 muertes entre el año 2007 a 2013. Asimismo, en el lapso de 2006 al 2014, se registran 217 casos de insuficiencia renal aguda y 8.064 casos de morbilidad por insuficiencia renal crónica. El rango de edades en donde se registran más casos es entre los 20 a 60 (o más) años, con un total de 7.162, es decir, el 89 % de los casos.

3. El comportamiento de la morbilidad por IRC 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 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. 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, es decir, que un incremento del 10 % en el vertido de sustancias contaminantes aumenta los casos de morbilidad por IRC en 4 %. Además, las personas mayores de 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. En esos términos, el modelo econométrico que mejor explica la relación entre la morbilidad por IRC y las variables relacionadas con la calidad del agua es:

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

4. 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\$27,870,272.6 (de 2013) por año. Esta cifra casi iguala a la inversión necesaria para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales (a través de técnicas de depuración), prevista en el Plan de cogestión de la microcuenca del río Las Cañas. Dicha planta supone dar servicio a una población de alrededor de 650.000 habitantes, con una capacidad de 2,5 m³/s, con lo cual se estaría beneficiado a una población de 800.000 habitantes, considerando incluso personas que se localizan fuera de la microcuenca. El costo de esa obra está presupuestada en US\$27,000,000.00

6. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados y conclusiones de la investigación, se enlistan las siguientes recomendaciones:

1. En vista de que solo se dispone de una campaña de monitoreo de la calidad del agua subterránea de la microcuenca del río Las Cañas, lo cual no permite confirmar algún nivel de contaminación, se requiere movilizar recursos financieros y técnicos, en frecuencia y puntos de monitoreo para desarrollar al menos dos campañas por año, una en la época seca y otra en la lluviosa, y de esa forma poder contrastar sus resultados a lo largo de un ciclo hidrológico completo. Así se podrá establecer una distribución espacial de los distintos parámetros analizados, sus tendencias o evoluciones y enfrentar la limitante que una sola campaña provee en cuanto a información de una situación puntual dentro de un sistema dinámico.
2. Es necesario disponer de medidas urgentes de depuración hídrica o, en su defecto, controlar, o incluso clausurar, las fuentes de agua (pozos y nacimientos/manantiales) a 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 la población debe estar informada respecto a la calidad de agua con la que se abastece, y, sobre todo, comunicar los riesgos en cuanto a los efectos en la salud, principalmente los que están asociados a la IRC. 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. También se ha establecido que el caudal de vertido (con sustancias tóxicas) es un factor que incide directamente sobre los impactos en la salud. De manera que en este punto resulta 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 sub-sector de agua potable y saneamiento. Dicha gestión debe estar acompañada por la rectoría a la que está facultado ejercer el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales respecto al cumplimiento de la normativa para el control de la contaminación hídrica.

3. En función de lo anterior, 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. Existen suficientes experiencias en Latinoamérica de fondos financieros, que son creados entre organizaciones públicas y privadas para movilizar recursos monetarios, los cuales son invertidos en la conservación de cuencas hidrográficas (incluidas acciones de recuperación del recurso hídrico), llevando consigo beneficios sociales, en términos de mejoras en la calidad de vida de la población. Estos mecanismos son perfectamente operativos sin un marco legal nacional del sector hídrico; por el contrario, son el resultado de procesos de concertación y definición de acuerdos entre actores interesados en la protección del agua como recurso dinamizador del desarrollo territorial. Eso no significa que no se deba avanzar en un marco legal, sea nacional o local, que fiscalice acciones que pongan en riesgo la cantidad y calidad del agua, en función de los impactos que eso genera, tanto para los ecosistemas como para la población en general.

4. En la microcuenca del río Las Cañas se ha creado recientemente una asociación de actores públicos y privados (con el liderazgo de los concejos municipales de San Martín, Ilopango, Soyapango, Tonacatepeque, Delgado y Apopa), quienes han elaborado el Plan de cogestión de la microcuenca, en el cual se expone un programa de control de la contaminación hídrica. Por lo tanto, es oportuno que los resultados de esta investigación, y principalmente la estimación del costo social de la contaminación del agua (calculado en US\$27,870,272.6 anuales) se aprovechen en función de articular estrategias y planes nacionales de gestión integrada de los recursos hídricos. En otras palabras, el costo social de la contaminación en este territorio debe suponer una redefinición del marco programático nacional, con énfasis en reducir los factores que tienen relación directa con la contaminación, pero trabajando de forma articulada con los actores del territorio y alineando las acciones con los planes locales de gestión integrada del agua.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aledo, A., & Domínguez, A. (2001). “Arqueología de la sociología ambiental”. En A. Aledo, & A. Domínguez, *Sociología Ambiental* (págs. 1-25). Granada: Grupo Editorial Universitario.
- Anda. (2013). *Boletín estadístico 2011*. El Salvador.
- Asamblea Legislativa de El Salvador (2013). “Dictamen #12 de la Comisión de Medio Ambiente y Cambio Climático”. San Salvador.
- Barrantes, G., & Di Mare, M. (2004). *Metodología para la evaluación económica de daños ambientales en Costa Rica*. Heredia, Costa Rica: Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS).
- Barrera, M. (Septiembre de 2010). “Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de áreas de recarga en el acuífero de San Salvador. San Salvador, El Salvador”: Universidad de El Salvador.
- Chelala, C. (1999). *Impacto del ambiente sobre la salud infantil*. Washington D.C.: Organización Panamericana de la Salud.
- COMEST (2005). *Informe del Grupo de Expertos sobre el principio precautorio*. París: Unesco.
- Digestyc (2014). Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples. ciudad Delgado, San Salvador, El Salvador.
- Fernández Fernández, S.; Cordero Sánchez, J., & Córdoba Largo, A. (2002). *Estadística descriptiva*. Madrid: ESIC.
- García, R.; Aguilar, R.; Carlos, S.; Mercado, M., & Leiva, R. (2002). “Nefropatía terminal en pacientes de un hospital de referencia en El Salvador”. *Revista Panamericana de Salud Pública*, ISSN 1020-4989.
- González Álvarez, T., & Mallafré Andruig, J. (2009). *Nefrología. Conceptos básicos en atención primaria*. Barcelona: Marge Médica Books.

- ISBM. (2013). *Guías clínicas de atención a las personas con enfermedad renal crónica*. San Salvador, El Salvador.
- Instituto Nacional de Salud (2014a). “Contaminación de arsénico en suelos, sedimentos y agua en la región del Bajo Lempa de El Salvador. Generación de una base de datos compatible con SIG para manejo eficiente de la información espacial”. Revista *Salud*.
- Instituto Nacional de Salud (2014b). “Enfermedad renal crónica: estrategias para su abordaje integral”. Revista *Salud*.
- Instituto Nacional de Salud (2014c). “Caracterización epidemiológica de la enfermedad renal crónica de las comunidades agrícolas (Estudio Nefrosalva Epidemiológico)”. Revista *Salud*.
- INS-Minsal (2014). “Abordaje Investigativo de la ERC en El Salvador. Hipótesis de la investigación”. Revista *Salud*. Edición especial dedicada a la investigación en salud renal.
- Ipgaramss (2006). “*Diagnóstico de riesgos en el Área Metropolitana de San Salvador e información existente*”. San 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
- MARN (2012). Política nacional del medio ambiente. San Salvador, El Salvador.
- Marx, K. (2006). *Manuscritos económicos y filosóficos de 1844*. Buenos Aires: Ediciones Colihue S.R.L.

- Minsal (2013). *Boletín Epidemiológico, Semana Epidemiológica 47*. San Salvador.
- Minsal (2013). *Ministerio de Salud*. Recuperado en octubre de 2014, de <http://www.salud.gob.sv/oir/estadisticas.html>
- Moreno, J., & Ussa, J. (2008). “Valoración económica de pasivos ambientales estudio de caso: pasivos generados por el campo petrolero Cicuco-Boquete, Mompós, Colombia. (H. Sánchez, Ed.) *Colombia Forestal, 11*(ISSN: 0120-0739), 231.
- OMS (1998). *Guías para ambientes seguros en aguas recreativas: Vol.1: Aguas costeras y aguas dulces*. Ginebra.
- OMS (2000). “Evaluación y uso de evidencia epidemiológica para la evaluación de riesgos ambientales para la salud”. De Bilt, Holanda: Oficina Regional para Europa de la OMS.
- OMS (Marzo de 2014a). Recuperado el 10 de noviembre de 2014, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- OMS (2014b). Recuperado en septiembre de 2014, de http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/burden/es/
- Padilla, A., & García, N. (2012). Hidroquímica del agua superficial de la subcuenca del río Quiscab, Guatemala. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, pp.17-20.
- Polo, J.M. (2006). “Informe diagnóstico, zonificación, base para la metodología de trabajo y recomendaciones para la priorización en el componente de los recursos hídricos del Programa Ipgaramss”. San Salvador.
- Prüss-Üstün, A., & Corvalán, C. (2006). “Ambientes saludables y prevención de enfermedades : hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente: resumen de orientación”. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.

Sánchez Alhama, J. (2001). “Salud y medio ambiente, la perspectiva sociológica”. En A. Aledo, & A. Domínguez, *Sociología Ambiental* (págs. 273-319). Granada: Grupo Editorial Universitario.

Tomasini, D. (2007). *Valoración económica del ambiente*. Buenos Aires, Argentina.

Unicef (2005). Recuperado en noviembre de 2014, de http://www.unicef.org/spanish/wash/index_water_quality.html

8. ANEXOS

REGRESIÓN 1

DATASET ACTIVATE DataSet11. DATASET CLOSE DataSet12. DATASET ACTIVATE DataSet13. REGRESSION /DESCRIPTIVES MEAN STDDEV CORR SIG N /MISSING LISTWISE /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA CHANGE /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10) /NOORIGIN /DEPENDENT LTBM /METHOD=ENTER LQV LDQO LN.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.719 ^a	.517	.448	.0673990	.517	7.498	1	7	.029

a. Predictors: (Constant), LN

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.034	1	.034	7.498	.029 ^a
	Residual	.032	7	.005		
	Total	.066	8			

a. Predictors: (Constant), LN

b. Dependent Variable: LTBM

Coefficients^a

Model	B	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		Std. Error	Beta			
1	(Constant)	.809	.217		3.731	.007
	LN	.106	.039	.719	2.738	.029

a. Dependent Variable: LTBM

REGRESIÓN 2

REGRESSION /DESCRIPTIVES MEAN STDDEV CORR SIG N /
MISSING LISTWISE /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA CHANGE
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10) /NOORIGIN /DEPENDENT LTBM /
METHOD=ENTER LQV LN.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.719 ^a	.517	.448	.0673990	.517	7.498	1	7	.029

a. Predictors: (Constant), LN

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.034	1	.034	7.498	.029 ^a
	Residual	.032	7	.005		
	Total	.066	8			

a. Predictors: (Constant), LN

b. Dependent Variable: LTBM

Coefficients^a

Model	B	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		Std. Error	Beta			
1	(Constant)	.809	.217		3.731	.007
	LN	.106	.039	.719	2.738	.029

a. Dependent Variable: LTBM

REGRESIÓN 3

REGRESSION/DESCRIPTIVES MEAN STDDEV CORR SIG N /
MISSING LISTWISE /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA CHANGE /
CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10) /NOORIGIN /DEPENDENT LMORB /
METHOD=ENTER LQV LCons.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.783 ^a	.612	.483	.0714340	.612	4.742	2	6	.058

a. Predictors: (Constant), LCons, LQV

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.048	2	.024	4.742	.058 ^a
	Residual	.031	6	.005		
	Total	.079	8			

a. Predictors: (Constant), LCons, LQV

b. Dependent Variable: LMORB

Coefficients^a

Model	B	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		Std. Error	Beta			
1	(Constant)	4.272	2.303		1.855	.113
	LQV	-.271	.408	-1.683	-.664	.531
	LCons	.377	.391	2.439	.963	.373

a. Dependent Variable: LMORB

REGRESIÓN 4

REGRESSION /DESCRIPTIVES MEAN STDDEV CORR SIG N /
MISSING LISTWISE /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA CHANGE /
CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10) /NOORIGIN /DEPENDENT LMORB /
METHOD=ENTER Edad_1 LQV LCons.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.973 ^a	.947	.942	.1160728	.947	191.507	3	32	.000

a. Predictors: (Constant), LCons, Edad_1, LQVm3/año

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7.740	3	2.580	191.507	.000 ^a
	Residual	.431	32	.013		
	Total	8.172	35			

a. Predictors: (Constant), LCons, Edad_1, LQVm3/año

b. Dependent Variable: LMORB

Coefficients^a

Model	B	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		Std. Error	Beta			
1	(Constant)	4.209	1.892		2.224	.033
	Edad_1	.919	.039	.964	23.741	.000
	LQVm3/año	-.425	.335	-.520	-1.269	.021
	LCons	.503	.321	.641	1.566	.012

a. Dependent Variable: LMORB



Santa Tecla, 14 de julio de 2015

A quien interese:

Por medio de la presente se autoriza a José Ricardo Calles para el uso de la información contenida en la "Caracterización y Diagnóstico de la Microcuenca del Río Las Cañas", desarrollados en el marco 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", del cual, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), formó parte como financiador.

El Sr. Calles podrá hacer uso de dicha información haciendo las referencias bibliográficas correspondientes y tomando en cuenta las disposiciones legales vigentes en nuestro país sobre los Derechos de Autor.

Atentamente,

Firma

Modesto Antonio Juárez Vásquez
Representante del CATIE
Oficina El Salvador
Tel. 2228-2996
Correo: mjuarez@catie.ac.cr



RECOPIACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES PUBLICADAS 2008-2014

PRODUCTO	COLECCIÓN
Curso de Derecho Penal Salvadoreño. Parte General Volumen III. Teoría de la ley penal. Miguel Alberto Trejo Escobar	Colección Jurídica
Etnografía de salvadoreños migrantes en Brentwood y Hempstead Nueva York Jorge Arturo Colorado Berrios	Facultad de Ciencias Sociales
Proyecto de registro y reconocimiento de sitios arqueológicos históricos de El Salvador (PAHES-UTEC) José Heriberto Erquicia Cruz	Facultad de Ciencias Sociales Escuela de Antropología
En defensa de la Patria. Historia del Conflicto Armado en El Salvador 1980-1992 General Humberto Corado Figueroa	
Las controversiales fichas de fincas salvadoreñas. Antecedentes, origen y final. José Luis Cabrera Arévalo	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social. Escuela de Antropología
Recopilación Investigativa. Tomo I	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social
Recopilación Investigativa. Tomo II	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social
Recopilación Investigativa. Tomo III	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social
Apuntes sobre Mercadeo moderno José A. Exprúa	
El Estado Constitucional Dr. Mario Antonio Solano Ramírez	Colección Jurídica
Las agrupaciones ilícitas como delincuencia organizada Leonardo Ramírez Murcia	Colección Jurídica
La mujer dormida. Novela corta Eduardo Badía Serra	Colección Literaria
Koot. Revista de museología No. 1	Museo Universitario de Antropología
De la ilusión al desencanto. Reforma económica en El Salvador 1989-2009 Juan Héctor Vidal	Colección Ciencias Sociales
Casa Blanca Chalchuapa, El Salvador. Excavación en la trinchera 4N Nobuyuki Ito	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social. Escuela de Antropología

Recopilación Investigativa 2009. Tomo 1	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social
Recopilación Investigativa 2009. Tomo 2	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social
Recopilación Investigativa 2009. Tomo 3	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social
El nuevo proceso civil y mercantil salvadoreño	Colección Jurídica
Koot. Revista de museología No. 2	Museo Universitario de Antropología
Discursos en el tiempo para graduados y otros temas educativos José Adolfo Araujo Romagoza	
Recopilación Investigativa 2010	Vicerrectoría de Investigación
Recopilación Investigativa 2010	Vicerrectoría de Investigación
Recopilación Investigativa 2010	Vicerrectoría de Investigación
Decisiones Dr. Jorge Bustamente	
Compendio Gramatical. José Braulio Galdámez	
Foro económico: El Salvador 2011	Colección Ciencias Sociales
La violencia social delincinencial asociada a la salud mental en los salvadoreños. Investigación Dr. José Ricardo Gutiérrez Quintanilla	Vicerrectoría de Investigación
Recopilación de investigación 2011 Tomo I	Vicerrectoría de Investigación
Recopilación de investigación 2011 Tomo II	Vicerrectoría de Investigación
Recopilación de investigación 2011 Tomo III	Vicerrectoría de Investigación
Programa psicopreventivo de educación para la vida efectividad en adolescentes UTEC-PGR Ana Sandra Aguilar de Mendoza- Milton Alexander Portillo	Vicerrectoría de Investigación
El lenguaje delincinencial en El Salvador. Braulio Galdámez	
Medicina tradicional entre los indígenas de Izalco, Sonsonate, El Salvador Beatriz Castillo	Colección Ciencias Sociales
Contenido y proyección del anteproyecto de constitución política de 1950. Dr. Alfredo Martínez Moreno	Colección Jurídica
Revista Koot No 3 Dr. Ramón Rivas	Museo Universitario de Antropología

<p>Causas de la participación del clero salvadoreño en el movimiento emancipador del 5 de noviembre de 1811 en El Salvador y la postura de las autoridades eclesiales del Vaticano ante dicha participación. Claudia Rivera Navarrete</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>Estudio Histórico proceso de independencia: 1811-1823 Tomo II Dr. José Melgar Brizuela</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>El Salvador insurgente 1811-1821 Centroamérica. Tomo III César A. Ramírez A.</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>Antropología en El Salvador. Recorrido histórico y descriptivo Dr. Ramón Rivas</p>	<p>Colección Ciencias Sociales</p>
<p>Representatividad y pueblo en las revueltas de principios del siglo XIX en las colonias hispanoamericanas Héctor Raúl Grenni Montiel.</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>Guía básica para la exportación de la Flor de Loroco, desde El Salvador hacia España, a través de las escuelas de hostelería del País Vasco. Álvaro Fernández Pérez</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>La regulación jurídico-penal de la trata de personas especial referencia a El Salvador y España Hazel Jasmin Bolaños Vásquez</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>Infancia y adolescencia en la prensa escrita, radio y televisión salvadoreña Camila Calles Minero Morena Azucena Mayorga</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>Participación científica de las mujeres en El Salvador Primera aproximación Camila Calles Minero</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>Mejores prácticas en preparación de alimentos en la micro y la pequeña empresa José Remberto Miranda Mejía</p>	<p>Colección Investigaciones No. 29</p>
<p>Evaluación de factores psicosociales de riesgo y de protección de violencia juvenil en El Salvador José Ricardo Gutiérrez Quintanilla</p>	<p>Colección Investigaciones No. 30</p>
<p>Historias, patrimonios e identidades en el municipio de Huizúcar, La Libertad, El Salvador José Heriberto Erquicia Cruz Martha Marielba Herrera Reina Ariana Ninel Pleitez Quiñónez</p>	<p>Colección Investigaciones No. 31</p>
<p>Condiciones socioeconómicas de preparación para la PAES de los estudiantes de Educación Media Saúl Campos Morán Paola María Navarrete</p>	<p>Colección Investigaciones No. 32</p>

<p>Inventario de las capacidades turísticas del municipio de Chiltiupán, departamento de La Libertad Lisette Cristalina Canales de Ramírez Carlos Jonatán Chávez Mejía Mario Antonio Aguilar Flores</p>	<p>Colección Investigaciones No. 33</p>
<p>Delitos relacionados con la pornografía en personas menores de 18 años. Especial referencia a las tecnologías de información y la comunicación como medio comisivo Hazel Jasmin Bolaños Vásquez Miguel Ángel Boldova Pasamar Carlos Fuertes Iglesias</p>	<p>Colección Investigaciones No. 34</p>
<p>Condiciones culturales de los estudiantes de educación media para el aprendizaje del idioma inglés Saúl Campos Morán Paola María Navarrete Julio Anibal Blanco</p>	<p>Colección Investigaciones No. 35</p>
<p>Valoración económica del recurso hídrico como un servicio ambiental de las zonas de recarga en las subcuencas del río Acelhuate José Ricardo Calles</p>	<p>Colección Investigaciones No. 36</p>
<p>Migración forzada y violencia criminal: Una aproximación teórico-práctica en el contexto actual Elsa Ramos</p>	<p>Colección Investigaciones No. 37</p>
<p>La prevención del maltrato en la escuela. Experiencia de un programa entre alumnos de educación media Ana Sandra Aguilar de Mendoza José Manuel Andreu Rodríguez María Elena Peña Fernández</p>	<p>Colección Investigaciones No. 38</p>
<p>Percepción del derecho a la alimentación en El Salvador. Perspectiva desde la biotecnología Carolina Lucero Morán Jeremías Ezequiel Yanes Densy Samuel Trejo Quintana</p>	<p>Colección Investigaciones No. 39</p>
<p>Publicidad y violencia de género en El Salvador Camila Calles Minero Francisca Guerrero Morena L. Azucena Hazel Bolaños</p>	<p>Colección Investigaciones No. 40</p>
<p>El domo el güegüecho y la evolución volcánica.San Pedro Perulapán (departamento de Cuscatlán), El Salvador. Primer informe Walter Hernández Guillermo E. Alvarado Brian Jicha Luis Mixco</p>	<p>Colección Investigaciones No. 41</p>

Imaginario colectivo, movimientos juveniles y cultura ciudadana juvenil en El Salvador Saúl Campos Morán Paola María Navarrete Carlos Felipe Osegueda	Colección Investigaciones No. 42
Estudio de buenas prácticas en clínica de psicología. Caso Utec Edgardo Chacón Andrade Sandra Beatriz de Hasbún Claudia Membreño Chacón	Colección Investigaciones No. 44
Modelo de reactivación y desarrollo para cascos urbanos Coralía Rosalía Muñoz Márquez	Colección Investigaciones No. 48
Historia, patrimonio e identidades en el municipio de Comasagua, La Libertad, El Salvador José Heriberto Erquicia Cruz Martha Marielba Herrera Reina	Colección Investigaciones No. 49

RECOPIACIÓN DE COLECCIONES “CUADERNILLOS” 2008-2014

TITULO	COLECCIÓN
El método en la investigación. Breve historia del derecho internacional humanitario desde el mundo antiguo hasta el tratado de Utrecht Colección de Derecho No. 1 Dr. Jaime López Nuila Lic. Aldonov Frankeko Álvarez Ferrufino	Colección de Derecho
Modo de proceder en el recurso de casación en materias: civiles, mercantiles y de familia Colección de Derecho No. 2 Dr. Guillermo Machón Rivera	Colección de Derecho
La administración de justicia y la elección de los magistrados de la corte suprema de justicia luego de los acuerdos de paz Colección de Derecho No. 3 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez	Colección de Derecho
La Proyección Social una propuesta práctica Colección Cuaderno No. 1 Lic. Carlos Reynaldo López Nuila	Rectoría Adjunta
Hacia una nueva cultura jurídica en materia procesal civil y mercantil Colección de Derecho No. 4 Lic. Juan Carlos Ramírez Cienfuegos	Colección de Derecho
La educación: ¿derecho natural o garantía fundamental? Dr. Jaime López Nuila	Colección de Derecho
Realidad Nacional 1 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez	Colección Ciencias Sociales
Realidad Nacional 2 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez	Colección Ciencias Sociales
Realidad Nacional 3 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez	Colección Ciencias Sociales
Realidad Nacional 4 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez	Colección Ciencias Sociales
Realidad Nacional 5 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez	Colección Ciencias Sociales

Realidad Nacional 6 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez	Colección Ciencias Sociales
Realidad Nacional 7 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez	Colección Ciencias Sociales
Obstáculos para una investigación social orientada al desarrollo Colección de Investigaciones Dr. José Padrón Guillen	Vicerrectoría de Investigación
Estructura familia y conducta antisocial de los estudiantes en Educación Media Colección de Investigaciones No. 2 Luis Fernando Orantes Salazar	Vicerrectoría de Investigación
Prevalencia de alteraciones afectivas: depresión y ansiedad en la población salvadoreña Colección de Investigaciones No. 3 José Ricardo Gutiérrez	Vicerrectoría de Investigación
Violación de derechos ante la discriminación de género. Enfoque social Colección de Investigaciones No. 4 Elsa Ramos	Vicerrectoría de Investigación
Diseño de un modelo de vivienda bioclimática y sostenible. Fase I Colección de Investigaciones No. 5 Ana Cristina Vidal Vidales	Vicerrectoría de Investigación
Importancia de Iso indicadores y la medición del quehacer científico Colección de Investigaciones No. 6 Noris López de Castaneda	Vicerrectoría de Investigación
Situación de la educación superior en El Salvador Colección de Investigaciones No. 1 Lic. Carlos Reynaldo López Nuila	Vicerrectoría de Investigación
La violencia social delincuencial asociada a la salud mental. Colección de Investigaciones No. 7. Lic. Ricardo Gutiérrez Quintanilla	Vicerrectoría de Investigación
Estado de adaptación integral del estudiante de educación media de El Salvador Colección de Investigaciones No. 8 Luis Fernando Orantes	Vicerrectoría de Investigación
Aproximación etnográfica al culto popular del Hermano Macario en Izalco, Sonsonate, El Salvador. Colección de Investigaciones No. 9 José Heriberto Erquicia Cruz	Vicerrectoría de Investigación

<p>La televisión como generadora de pautas de conducta en los jóvenes salvadoreños Colección de Investigaciones No. 10 Edith Ruth Vaquerano de Portillo Domingo Orlando Alfaro Alfaro</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Violencia en las franjas infantiles de la televisión salvadoreña y canales infantiles de cable Colección de Investigaciones No. 11 Camila Calles Minero Morena Azucena Mayorga Tania Pineda</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Factores que influyen en los estudiantes y que contribuyeron a determinar los resultados de la PAES 2011 Colección de Investigaciones No. 12 Saúl Campos Blanca Ruth Orantes</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Responsabilidad legal en el manejo y disposición de desechos sólidos en hospitales de El Salvador Colección de Investigaciones No. 13 Carolina Lucero Morán</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Obrajes de añil coloniales de los departamentos de San Vicente y La Paz, El Salvador Colección de Investigaciones No. 14 José Heriberto Erquicia Cruz</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>San Benito de Palermo: elementos afrodecendientes en la religiosidad popular en El Salvador. Colección de Investigaciones No. 16 José Heriberto Erquicia Cruz y Martha Marielba Herrera Reina</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Formación ciudadana en jóvenes y su impacto en el proceso democrático de El Salvador Colección de Investigaciones No. 17 Saúl Campos</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Turismo como estrategia de desarrollo local. Caso San Esteban Catarina. Colección de Investigaciones No. 18 Carolina Elizabeth Cerna, Larissa Guadalupe Martín y José Manuel Bonilla Alvarado</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Conformación de clúster de turismo como prueba piloto en el municipio de Nahuizalco. Colección de Investigaciones No. 19 Blanca Ruth Galvez García, Rosa Patricia Vásquez de Alfaro, Juan Carlos Cerna Aguiñada y Oscar Armando Melgar.</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Mujer y remesas: administración de las remesas. Colección de Investigaciones No. 15 Elsa Ramos</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>

<p>Estrategias pedagógicas implementadas para estudiantes de educación media Colección de Investigaciones No. 21 Ana Sandra Aguilar de Mendoza</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Participación política y ciudadana de la mujer en El Salvador Colección de Investigaciones No. 20 Saúl Campos Morán</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Estrategia de implantación de clúster de turismo en Nahuizalco (Propuesta de recorrido de las cuatro riquezas del municipio, como eje de desarrollo de la actividad turística) Colección de Investigaciones No. 22 Blanca Ruth Gálvez Rivas Rosa Patricia Vásquez de Alfaro Óscar Armando Melgar Nájera</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Fomento del emprendedurismo a través de la capacitación y asesoría empresarial como apoyo al fortalecimiento del sector de la Mipyme del municipio de Nahuizalco en el departamento de Sonsonate. Diagnóstico de gestión. Colección de Investigaciones No. 23 Vilma Elena Flores de Ávila</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Proyecto migraciones nahua-pipiles del postclásico en la Cordillera del Bálsamo Colección de Investigaciones No. 24 Marlon V. Escamilla William R. Fowler</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Transnacionalización de la sociedad salvadoreña, producto de las migraciones Colección de Investigaciones No. 25 Elsa Ramos</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Imaginario y discursos de la herencia afrodescendiente en San Alejo, La Unión, El Salvador Colección de Investigaciones No. 26 José Heriberto Erquicia Cruz Martha Marielba Herrera Reina Wolfgang Effenberger López</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Metodología para la recuperación de espacios públicos Colección de Investigaciones No. 27 Ana Cristina Vidal Vidales Julio César Martínez Rivera</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>

José Ricardo Calles Hernández

El autor es Ingeniero Agrónomo con especialidad en economía agrícola, título obtenido en la ciudad de San Salvador en el año 2000. En el 2003 obtiene el título de Magister Scientiae (MSc) en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas con especialidad en Administración y Gerencia Ambiental, en la ciudad de Turrialba, Costa Rica. A mediados del 2008 recibe el título de posgrado en Políticas e Instrumentos de gestión ambiental, en las ciudades de Madrid y París.

Como docente, el autor ha impartido diversas cátedras a nivel de maestría y licenciatura del área ambiental en universidades reconocidas de El Salvador. Entre los cursos impartidos destacan: Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, Evaluación de Impacto Ambiental, Turismo y Medio Ambiente, Manejo de Sistemas Forestales y Economía Ambiental.

En el área profesional, el autor ha desarrollado importantes estudios de consultoría para empresas públicas y privadas, nacionales e internacionales, entre la que sobresalen: “Formulación de planes de microcuencas de los ríos Champato, Ereguayquín, Comalapa, Los Frailes y Matalío-Moscúa”; “Formulación de Planes de Gobernanza Territorial en 3 Regiones Hidrográficas Prioritarias”; “Diagnóstico y diseño del plan de cogestión de la microcuenca del río Las Cañas”; “Desarrollo y puesta en marcha de un sistema para la supervisión y evaluación de los impactos de las actividades productivas de pesca y turismo en la zona costero marina”; “Diseño y puesta en marcha de mecanismo financiero para el sector hídrico bajo el Fondo Nacional del Ambiente de El Salvador”; “Fortalecimiento institucional en gestión financiera para el manejo sostenible de la tierra en Centroamérica y República Dominicana”; “Plan de Desarrollo Territorial de la Subregión Metropolitana de San Salvador”; “Sistematización de la información contenida en el registro de ejecución técnica del PMIIE, para documentar los procesos y su incidencia en la conservación de biodiversidad y uso cultural del territorio en Centroamérica”; “Inventario de Gases de Efecto Invernadero para la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático, El Salvador”; “Costos Económicos de la Contaminación Hídrica en la Cuenca del río Acelhuate”; y “Análisis del Impacto financiero producido con la implementación de la Metodología de Extensión Agrícola del Proyecto AGUA”; entre otros.

Asimismo, ha impartido diversos cursos a importantes actores del quehacer ambiental en el país, tales como municipalidades, ONG, y empresas

privadas. Los cursos más notables han sido: “Fortalecimiento técnico a unidades ambientales municipales”; “Producción más limpia aplicada al sector de beneficiado de café y avícola de El Salvador”; “Ecología, tecnología y economía ambiental”; y “Seguimiento y evaluación de proyectos socio-ambientales”.

En el área de investigación, el autor ha desarrollado los siguientes estudios: “Valoración económica del recurso hídrico como un servicio ambiental de las zonas de recarga en la subcuenca del río Acelhuate” (2014); “Libro verde UTEC 2012: Estado del medio ambiente y perspectivas de sostenibilidad” (2013); “Diagnóstico ambiental del lago de Güija con énfasis en la calidad del agua” (2012); “Evaluación del servicio ambiental hídrico en la cuenca del río Lempa y su aplicación en el ajuste de la tarifa hídrica del Área Metropolitana de San Salvador” (2003).

Las publicaciones más sobresalientes del autor han sido: “El valor del agua que producen los bosques y cafetales en la subcuenca del río Acelhuate” (2014) en Revista Entorno de la Universidad Tecnológica, San Salvador, El Salvador; “Aplicación del marco de referencia FMPEIR para la determinación del estado ambiental de El Salvador” (2013) en Revista Entorno de la Universidad Tecnológica, San Salvador, El Salvador; “Diagnóstico ambiental del lago de Güija con énfasis en la calidad del agua” (2012) en “Informe de estudios sobre humedales en Metapán”, San Salvador, El Salvador; “La valoración económica del servicio ambiental hídrico como fundamento para el ajuste de tarifas en el AMSS” (2007) en Suplemento Alternativas para el desarrollo, FUNDE, San Salvador, El Salvador; y “Evaluación del servicio ambiental hídrico en la cuenca alta del río Lempa” (2006) en Suplemento Recursos Naturales y Ambiente, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

El objetivo de esta investigación es la estimación monetaria del costo social por contaminación del agua en la microcuenca del río Las Cañas, además de establecer con base estadística, la relación que existe entre la contaminación y la afectación de la salud humana, en dicho territorio. Para ello, se ha diseñado un modelo econométrico en el que se relacionan un conjunto de variables explicativas de la morbilidad por Insuficiencia Renal Crónica (IRC), utilizando elasticidades dosis-respuesta.

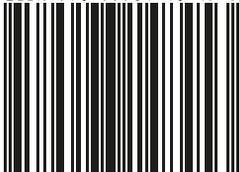
Vicerrectoría de Investigación

Edificio Dr. José Adolfo Araujo Romagoza,
Calle Arce y 19.^a Avenida Sur No. 1045, 2.^o nivel
San Salvador, El Salvador, C. A.

Tel.: 2275-1011

vicerrectoriadeinvestigacion@utec.edu.sv

ISBN 978-99961-48-45-3



9 789996 148453 >

