

Informe de investigación: Acceso al agua de calidad

Meraris López (coordinadora)
José Hernández
Violeta Martínez
Ingrid Gómez
Lorena Valle
Héctor Candray

Publicaciones Académicas UCA

Agosto, 2024

El siguiente documento *Acceso al agua de calidad* es el informe científico de la investigación para el Programa Estratégico de Investigación Institucional “Cambio social y desarrollo sostenible” de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, UCA, coordinado por la Vicerrectoría de Investigación e Innovación.

Equipo de investigación:

Meraris López, coordinadora
José Hernández
Violeta Martínez
Ingrid Gómez
Lorena Valle
Héctor Candray

Con la colaboración de:

Doorae Lee
Ibrahim Alyami
Hercilio Zimila
Fernando Bautista
Andrea Fuentes
María José López
Gerson Valencia

Editado por:

Publicaciones Académicas UCA
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas UCA.
Antiguo Cuscatlán, El Salvador
Correo: vicerrectoria.investigacioninnovacion@uca.edu.sv
Teléfono: 2210.6600

Diagramación:

XXXXXXXXXXXX

Corrección de estilo

Rodrigo Gálvez

ISBN:XXXX XXXX XXXX XXXX

Para citar:

Hernández, J., Martínez, V., Gómez, I., Valle, L., Candray, H. & López, M. (Coord. e Inv.). (2024). *Informe de investigación: Acceso al agua de calidad*. Publicaciones Académicas UCA.



El informe se publica bajo la Licencia Creative Commons Atribución/Reconocimiento-NoComercial-SinDerivados 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Contenido

1. Introducción.....	6
2. Las complejidades del agua	7
3. El ciclo hidrosocial y la problematización del agua	2
4. La problemática del agua en El Salvador	4
4.1. Resultados del componente “Diagnóstico de la oferta y utilización del agua”: panorama general de la disponibilidad de agua en El Salvador: una crisis hídrica de múltiples factores. 4	
4.2. Resultados del componente “Caracterización de la calidad del agua”: situación y Zonas de Interés de Cuenca del Río Lempa	18
4.3. Resultados del componente “Nuevos tipos de contaminación y posibilidades de remediación”	30
4.4. Resultados del componente “Vías judiciales y administrativas para la protección del derecho al agua y su efectividad”	38
5. Propuesta de política pública.....	47
6. Referencias bibliográficas	50

Lista de figuras

Figura 1. Dimensiones del ciclo hidrosocial.....	7
Figura 2. Ciclo hidrosocial: relaciones e interacciones entre el agua y la sociedad.....	9
Figura 3. Convergencia de los ejes de investigación dentro del enfoque del ciclo hidrosocial	3
Figura 4. Disponibilidad hídrica por persona al año en países de Centroamérica, 2019	5
Figura 5. Situación de la cuenca del río Lempa, y zona de interés aguas arriba de planta potabilizadora.....	19
Figura 6. Condiciones de clorofila y sedimentos de Embalse Cerrón Grande (Copernicus)	22
Figura 7. Situación de la cuenca del río Lempa en verano 2023, según Índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI) indicando sectores de humedad alta	23
Figura 8. Zonas que se identificaron como de interés (en amarillo) y en azul las priorizadas, en rojo se muestra área de interés estudiada aguas arriba de planta potabilizadora	24
Figura 9. Ubicación de planta potabilizadora Las Pavas (Torogoz) e identificando zonas de pérdidas de bosque aguas arriba	25
Figura 10. Zona de interés verano 2023, en amarillo se demarca parte de zonas afectadas por incendios desde 1973 a la fecha. Color rojo indica presencia de vegetación se observan que solo quedan restos de bosques nativos, más agricultura (Sentinel).....	26
Figura 11. Estrés de humedad verano 2017 (lo más oscuro indica presencia de humedad alta)	27
Figura 12. Valores de monóxido de Carbono de zona de estudio cerca planta potabilizadora..	28
Figura 13. Valores ICA correspondientes a la Región Hidrográfica Lempa para el año 2020 ..	31
Figura 14. Puntos seleccionados para la evaluación de contaminantes emergentes.....	33
Figura 15. Ubicación de los vertidos que se descargan sin ningún tipo de tratamiento	37

Lista de gráficos

Gráfico 1. Producción de agua a nivel nacional por tipo de operador (miles de m3). El Salvador, 2007-2021	7
Gráfico 2. <i>Distribución de agua en % por tipo de sistema a nivel nacional, El Salvador 2023</i>	8
Gráfico 3. Distribución de agua en % por sistema y zona geográfica, El Salvador 2023.....	8
Gráfico 4. Consumo anual de agua a nivel nacional (miles de m3). El Salvador, 2007-2021	10
Gráfico 5. Porcentaje de hogares con acceso a servicio de agua por tipo de fuente. El Salvador, 2005-2021	11
Gráfico 6. Formas de abastecimiento de agua por zona geográfica. El Salvador, 2023	13
Gráfico 7. Hogares con diferentes niveles de ingreso (quintiles) la calidad de la fuente de abastecimiento de agua (%). El Salvador, 2021	13
Gráfico 8. Tasas de participación en la recolección de agua de hombres y mujeres, a nivel nacional y por área de residencia. El Salvador, 2023	16
Gráfico 9. Variación temporal del ICA.....	31
Gráfico 10. Concentración de cafeína en los puntos de muestreo	34
Gráfico 11. Concentración de atenolol en los puntos de muestreo	35
Gráfico 12. <i>Concentración de ibuprofeno en los puntos de muestreo</i>	36
Gráfico 13. <i>Estimación de la cantidad de plantas de tratamiento de aguas residuales que existían en el país entre el 2012 y 2019 (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020)</i>	37
Gráfico 14. Distribución departamental de las plantas de tratamiento de aguas residuales ordinarias	37

Lista de tablas

Tabla 1: demanda bruta estimada por sector (MMC/año). El Salvador 2012, 2017 y 2022	10
Tabla 2: horas al día dedicadas a la recolección de agua por hombres y mujeres en zonas urbanas y rurales. El Salvador, 2023	16
Tabla 3: mecanismos de protección administrativos y judiciales del derecho humano al agua, por facultades	42

El agua: un recurso con la necesidad de muchas miradas

Meraris C. López, MSc. en Economía, Desarrollo y Cambio Climático, Departamento de Economía UCA, El Salvador, mclopez@uca.edu.sv. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7345-026X>

Violeta A. Ch. Martínez, Dra. Ingeniería Química y MSc. en Ingeniería Ambiental, Departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales UCA, El Salvador, vamartinez@uca.edu.sv. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4488-1183>

Ingrid Evangelina Gómez Aguilar, Maestra en Derecho de Empresa, Departamento de Ciencias Jurídicas UCA, El Salvador, igomez@uca.edu.sv. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5230-2607>

Lorena Valle Cuéllar, M.A. en Macroeconomía y Análisis de Política Económica. Investigadora y docente universitaria, especialista en economía feminista, El Salvador, lvalle@uca.edu.sv. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7999-4666>

José Hernández, Departamento de Ciencias Energéticas y Fluídicas UCA, El Salvador.

1. Introducción

Este documento es el informe científico de la investigación “Acceso al agua de calidad”, realizada dentro del Programa Estratégico de Investigación Institucional “Cambio social y desarrollo sostenible”, administrado por la Vicerrectoría de Investigación e Innovación de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA). La investigación cubrió los temas: “Diagnóstico de oferta y utilización hídrica”, “Caracterización de la calidad de agua”, “Acceso al agua de calidad: Nuevos tipos de contaminación y posibilidades de remediación” y “Vía administrativa y judicial para la reclamación del derecho al agua”.

En el informe se destaca que el agua es esencial para las especies humanas como no humanas que cohabitan el planeta tierra. Desde una perspectiva antropocéntrica, el agua es un recurso transversal para las actividades productivas y reproductivas que a diario se desarrollan, pero justamente esta transversalidad hace que su gestión y uso sostenible sea un desafío cada vez mayor.

Asimismo, se reconoce que el agua no puede entenderse desde un único enfoque, ya que múltiples factores afectan su disponibilidad, calidad, flujo y manejo. Por tanto, esta investigación busca ofrecer una visión multidimensional de la problemática del agua en El Salvador, identificando el estado actual del ciclo hidrosocial y los posibles escenarios en términos de oferta, demanda, distribución y consumo; evaluando el estado general de la Cuenca del Río Lempa en cuanto a cambios en su superficie; detectando la presencia de compuestos orgánicos emergentes en cuerpos de agua salvadoreños y explorando las posibilidades de remediación; así como la identificación de los procedimientos administrativos y procesos judiciales disponibles para los habitantes de El Salvador para reclamar vulneraciones al derecho al agua.

Para cumplir con estos objetivos, se estructuran varios apartados. En primer lugar, se desarrolla la concepción teórica de la investigación, basada en el ciclo hidrosocial y las complejidades del agua. Posteriormente, se presentan los principales resultados sobre el estado de los recursos hídricos en el país y las diversas problemáticas asociadas al agua. Considerando que una única

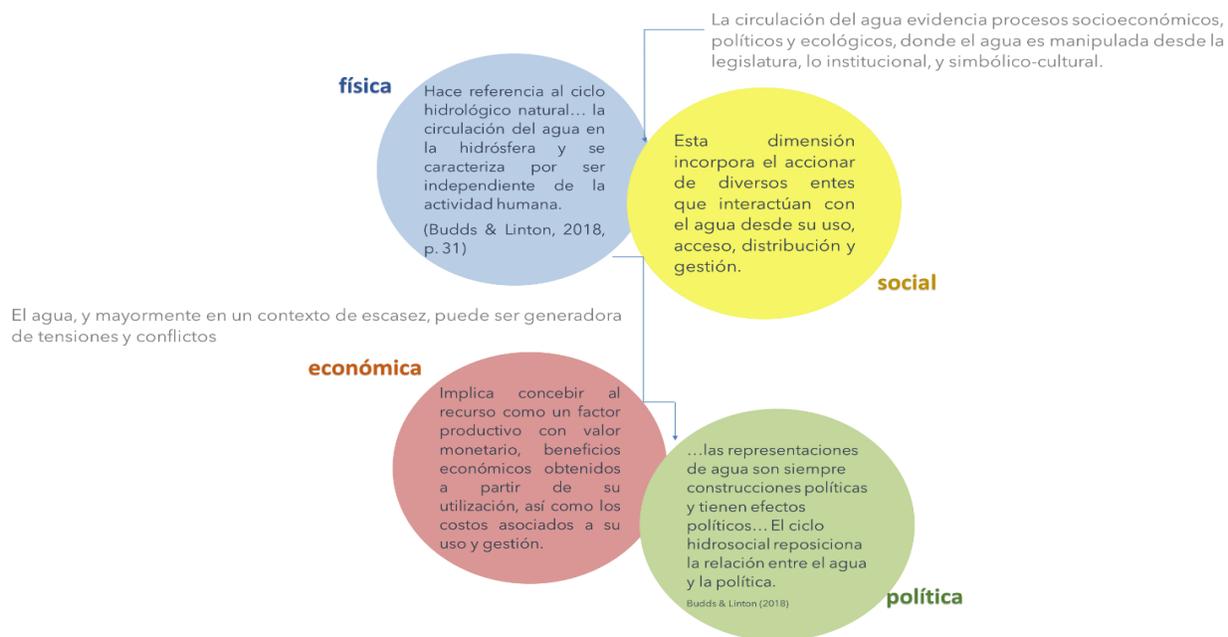
perspectiva no abarca todas las dimensiones del agua, esta investigación incorpora tanto el enfoque socioeconómico, físico-químico y jurídico, con el objetivo de ofrecer un análisis integral. A pesar de que elementos como lo biológico y antropológico aún no se aborden completamente, estos resultados representan la primera aproximación multidimensional al agua, lo cual constituye un avance significativo para comprender sus dinámicas y proponer pasos cruciales hacia una gestión sostenible de este recurso vital. Además, en la sección final se presentan una serie de recomendaciones orientadas a promover una gestión integral y sostenible del recurso hídrico.

Es importante destacar que más allá de ser un ejercicio académico, este informe aspira a convertirse en un documento de consulta para agentes gubernamentales y no gubernamentales. Su propósito principal es generar conocimiento, informar, sustentar decisiones y, sobre todo, contribuir a que todas las comunidades del país tengan acceso a agua de calidad.

2. Las complejidades del agua

La relación de las sociedades con el agua está enmarcada en complejas dinámicas, pasando de ser un recurso natural a un recurso social que fluye tanto en los ríos como en las estructuras sociales, a las que transforma y bajo las cuales es también transformado. Desde una perspectiva multidimensional, tal y como se muestra en la Figura 1, el agua es una entidad compleja cuyo estado refleja las dinámicas sociales y que, por lo tanto, exige un abordaje multidisciplinario para entender de mejor manera cómo las dimensiones física, social, económica y política se entrelazan y determinan su distribución, acceso, uso y gestión.

Figura 1. Dimensiones del ciclo hidrosocial



Fuente: elaboración propia

En la Figura 2 se puede identificar cómo el ciclo hidrosocial, al ser un marco conceptual que analiza las relaciones e interacciones entre el agua y la sociedad, permite comprender de una forma más integral y holística este complejo proceso a través de la multidisciplinariedad. Por supuesto, el ciclo hidrosocial contempla más elementos de los que son abordados en esta investigación. Por ejemplo, los procesos culturales que evidencian el uso y valor que las diferentes culturas le dan al agua, incluyendo creencias, rituales o ceremonias. También considera los procesos políticos y cuotas de poder, lo cual implica analizar las relaciones que se establecen entre los actores sociopolíticos y cuya interacción influye en las decisiones que se toman en torno al uso, distribución y acceso al agua. Asimismo, el ciclo hidrosocial hace alusión a los aspectos financieros y relaciones técnicas del agua, indicando la necesidad de conocer en detalle las inversiones en infraestructura, tecnología, sistemas de riego e incluso el tratamiento de las aguas residuales. Sin embargo, a pesar de que no se abordan de forma exhaustiva todos los elementos que este enfoque sugiere, se integran todas las dimensiones mencionadas en la Figura 1, donde cada uno de los componentes de investigación aporta a un entendimiento más amplio del agua.

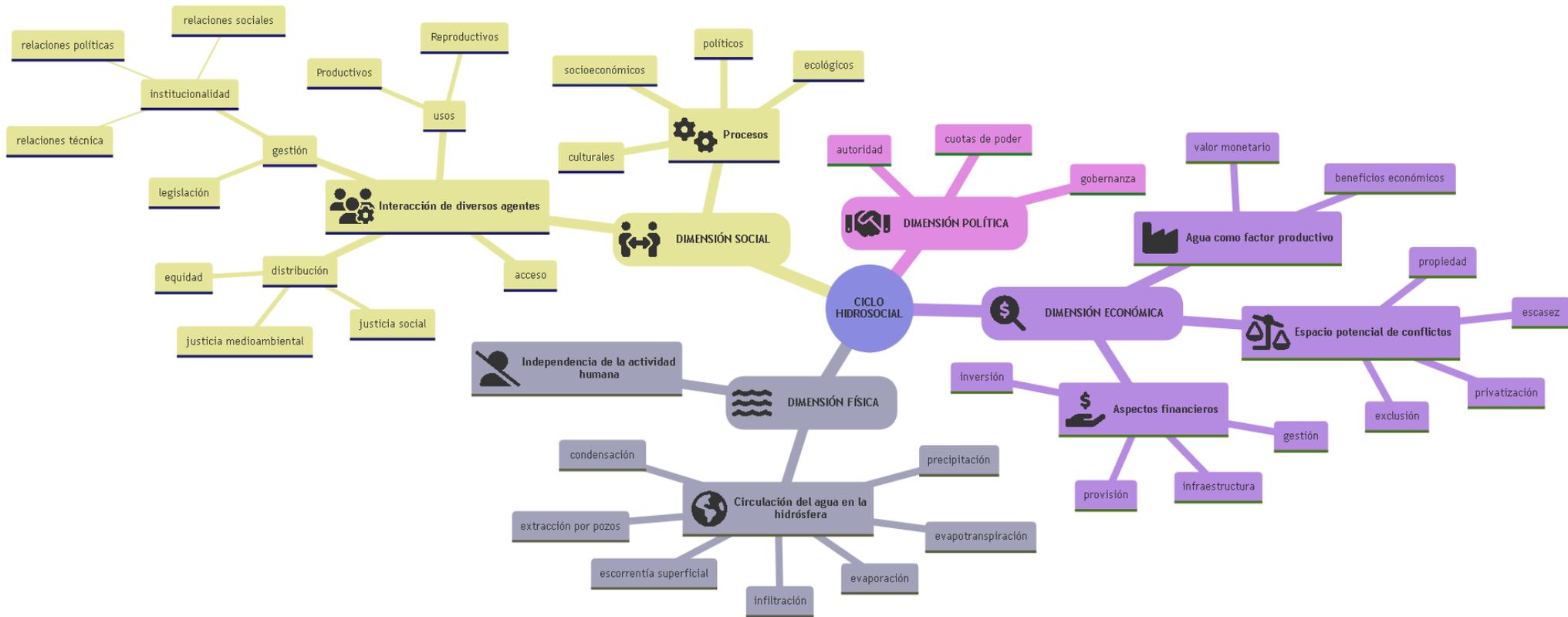
De esta forma, desde la perspectiva socioeconómica plasmada en el componente de investigación: “Diagnóstico de la oferta y utilización del agua” se examinan los usos productivos y reproductivos del recurso, las presiones que se pueden generar por la diversidad en su utilización, así como las desigualdades que se generan desde lo geográfico, económico y simbólico.

Por otro lado, es relevante mencionar que la investigación también destacó las desigualdades de género relacionadas con los usos y el acceso al agua, desde una óptica de economía feminista y de cuidados. Esto implica reconocer que el agua, además de ser fundamental como insumo para sectores productivos como la agricultura y la industria, es esencial para las actividades de cuidado, las cuales son cruciales para asegurar la sostenibilidad de la vida y las condiciones necesarias para el funcionamiento del sistema socioeconómico.

Debido a los patrones de género y a la división sexual del trabajo que se deriva de los mismos, las actividades de cuidados son realizadas mayoritariamente por mujeres y niñas. Dado que gran parte de estas actividades son intensivas en el uso del agua, las deficiencias en la provisión de agua y las limitaciones en el acceso a la misma, sobre todo para los hogares rurales y de menores ingresos, alteran las condiciones para la realización del trabajo de cuidados, incrementando el tiempo y la carga que dedican las mujeres a estas labores, debido a la necesidad de recolectar agua por medios alternativos y tratarla para su uso y consumo en el hogar. Así, desde la mirada del ciclo hidrosocial en conjunto con un enfoque feminista de cuidados, se pone de manifiesto la intersección entre las inequidades en los usos y la distribución del agua, y las desigualdades de género, territoriales y de ingresos.

De esta forma se configuran fuertemente las dimensiones social y económica que se expresan en la Figura 2. Además, en tanto existe una potencialidad en la generación de conflictos por los usos y presiones que se generan alrededor del agua, este eje también tiene conexiones con la dimensión política.

Figura 2. Ciclo hidrosocial: relaciones e interacciones entre el agua y la sociedad



Fuente: elaboración propia

También, desde la perspectiva geográfica y ambiental es posible incluir variables físicas y ecológicas del ciclo hidrosocial, como los cambios climáticos y la distribución de las precipitaciones, las condiciones de humedad, los cambios en el uso del suelo, la distribución de la vegetación y su relación con la temperatura en regiones clave, tomando en cuenta la geología, geomorfología y hidrogeología. En este sentido, el componente de investigación titulado "Caracterización de la calidad del agua" aborda directamente las variables de la dimensión física y los cambios que ha experimentado la cuenca debido a las actividades humanas. Además, en el análisis se identifican aspectos de la dimensión social y política, ya que la interacción con el entorno y la diversidad de actores pueden complicar y modificar las variables mencionadas, potencialmente contribuyendo a la escasez de agua en el futuro.

Por su parte, desde la ingeniería y la tecnología, el agua se aborda directamente en términos de calidad en un contexto de influencia antropogénica. Las actividades humanas, como la urbanización, la industria y la agricultura, son fuentes directas de contaminación si no se gestiona adecuadamente el recurso hídrico. Bajo este enfoque, no solo se evalúa la calidad del agua, sino también se proponen soluciones tecnológicas para asegurar que, a largo plazo, el agua cumpla con los estándares necesarios para el consumo humano, el riego, la recreación y otros usos. Por tanto, el componente de investigación 'Nuevos tipos de contaminación y posibilidades de remediación' aborda directamente variables relacionadas con las dimensiones físicas, sociales y económicas del ciclo hidrosocial.

Otra dimensión complementaria en el abordaje del recurso dentro del ciclo hidrosocial es la política, entendida como la esfera de toma de decisiones, gobernanza, participación ciudadana y cuestiones institucionales. Asegurar la gestión integral, sostenible y equitativa del agua implica establecer políticas y leyes que planifiquen, protejan y regulen las disposiciones sobre ella, teniendo en cuenta la diversidad de actores involucrados en el tema.

Desde la dimensión política, es relevante considerar las cuotas de poder que pueden influir en la toma de decisiones y favorecer ciertos grupos en el uso (o abuso) del agua. En este contexto, la pregunta central es si existen vías para que la ciudadanía reclame o actúe ante posibles vulneraciones de su derecho humano al agua. Aquí cobra importancia el componente de investigación "Vía administrativa y judicial para la reclamación del derecho al agua", pues busca identificar las vías disponibles en El Salvador para que los habitantes ejecuten reclamaciones por vulneraciones de su derecho al agua, en todas sus dimensiones, considerando la normativa nacional e internacional aplicable. Además, se reflexiona sobre la efectividad e idoneidad de los mecanismos de reclamación identificados, es decir, si estos realmente protegen o reparan el derecho humano vulnerado.

En síntesis, el agua como recurso complejo requiere un análisis integral que considere diversas perspectivas con el objetivo común de asegurar su calidad, disponibilidad, acceso, distribución y gestión. Este enfoque integral debe conducir a propuestas sostenibles y soluciones adaptadas al contexto donde el agua interactúa con las dinámicas sociales, económicas y ambientales.

3. El ciclo hidrosocial y la problematización del agua

Ante lo expuesto en el apartado anterior, es evidente que el agua y su problematización no pueden limitarse a una sola óptica. En su análisis se entrelazan las dimensiones del ciclo hidrosocial y convergen externalidades negativas de la relación agua-sociedad que no pueden estudiarse ni remediarse desde un entendimiento unidimensional.

En la figura 3 se presenta una esquematización de algunas de las múltiples variables que pueden ser analizadas desde las dimensiones del ciclo del agua en la sociedad. El centro del esquema, o nivel uno, evidencia este ciclo sociocultural como el punto de partida para el análisis, dando lugar a un segundo nivel que representa los cuatro componentes que integran esta investigación.

En un tercer nivel se establece cómo cada uno de los componentes se relaciona con más de una dimensión. Por ejemplo, el componente de oferta y utilización no solo se vincula con lo económico, sino que también se conecta con las dimensiones política y social. Del mismo modo, el componente de contaminación y soluciones, donde la dimensión física es fundamental, también presenta nexos con las dimensiones social y económica. Esto indica que problemas como la contaminación del agua no solo corresponden al análisis de los cambios físicos, sino también a las causas que los provocaron. Además, la disminución en la disponibilidad de agua no responde únicamente a los usos socioeconómicos, sino también a todo el aparato jurídico e institucional que ha propiciado determinado manejo o gestión del recurso, lo que con el tiempo puede llevar a la escasez o a un costo elevado para los ciudadanos.

En el cuarto nivel del esquema se evidencian estos nexos, ya que las dimensiones expresan una serie de problemas coincidentes entre sí y entre los componentes de investigación. En el nivel cinco, se observa cómo estos problemas pueden afectar la calidad de vida de las poblaciones, provocar escasez debido a la falta de una gestión integral, generar conflictos por el agua e incluso llevar a la muerte (de especies humanas y no humanas), como el resultado más alarmante de los múltiples problemas relacionados con el agua.

Cabe destacar que, desde este abordaje, más allá de identificar y problematizar al agua y sus dinámicas, lo más importante es proponer soluciones integradoras. Estas soluciones deben no solo observar y caracterizar el fenómeno desde múltiples perspectivas, sino también abordar las dimensiones analizadas del recurso hídrico. El objetivo último de esta investigación es procurar el acceso al agua de calidad para la población salvadoreña

4. La problemática del agua en El Salvador

4.1. Resultados del componente “Diagnóstico de la oferta y utilización del agua”: panorama general de la disponibilidad de agua en El Salvador: una crisis hídrica de múltiples factores

Por: M. López y L. Valle

El Salvador ha experimentado una degradación sistemática de sus cuerpos de agua desde hace al menos 50 años, como consecuencia de la interacción de fenómenos antrópicos (provocados por la acción humana) y naturales (SNET, 2005; MARN, 2021)..

Esta realidad es respaldada por las percepciones de la sociedad salvadoreña. Los datos obtenidos a través de la encuesta sobre el acceso al agua de calidad del Programa Estratégico de Investigación, realizada en enero de 2023, muestran que aproximadamente ocho de cada diez personas encuestadas reconocen que el país enfrenta una crisis de agua. Además, de las personas encuestadas que habitan cerca de algún cuerpo de agua, el 85.4 % percibe que existe algún tipo de contaminación. Entre las razones de esta contaminación se destacan la falta de tratamiento en aguas residuales domésticas e industriales (43.87%), la utilización de las fuentes de agua como basurero (47.58%), y otras razones como la acumulación de desechos animales o la filtración en el suelo de químicos utilizados en la agricultura.

Ciertamente, la degradación hídrica en El Salvador está relacionada con factores naturales como cambios en el patrón de lluvia, la evaporación directa del agua y la transpiración de la vegetación. Sin embargo, la disponibilidad y calidad del agua se ven más fuertemente afectadas por actividades antropogénicas, como la creciente demanda para satisfacer las necesidades de todos los sectores productivos y para el consumo humano, los cambios de uso de suelo, la descarga de aguas residuales sin tratamiento adecuado, el crecimiento poblacional y, en general, la sobreexplotación de los recursos hídricos.

En términos de disponibilidad y demanda hídrica, los datos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) para 2012 y 2022 indican que, en una década, la disponibilidad disminuyó aproximadamente un 2.5%, mientras que la demanda aumentó un 16.4% en el mismo período (bajo escenarios del Plan Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico, 2017

En ese mismo orden de ideas, teniendo en cuenta las estimaciones de disponibilidad de agua y población, El Salvador estaría actualmente dentro de los parámetros de "suficiencia hídrica relativa", es decir, en un rango por encima de los 1700 m³/persona/año (Sojachenski, 2010), con una disponibilidad por persona de aproximadamente 2800 m³ al año. Sin embargo, esto nos ubica más cerca del estrés hídrico, que se define como una situación en la que se dispone de 1700 m³ o menos por persona al año, y más lejos del promedio de disponibilidad hídrica del resto de los países de la región (Figura 4). Por ejemplo, en Guatemala, la disponibilidad de agua es de 6577 m³/persona/año, en Honduras es de 9103 m³/persona/año, en Costa Rica es de 22,224 m³/persona/año, y en Panamá es de 32,274 m³/persona/año (Banco Mundial, 2019).

Figura 4. Disponibilidad hídrica por persona al año en países de Centroamérica, 2019



Fuente: elaboración propia con base en datos del Banco Mundial (2019), MARN (2017) y EHPM (2022).

Un elemento que altera de forma negativa la disponibilidad de agua en el país es el cambio de uso de suelo. Desde 2005, diversos estudios han señalado una tasa anual de pérdida de bosque del 2% (4500 ha/año) e identifican una pérdida de cobertura en la cuenca del río Lempa del 27% en menos de 15 años (CATIE, 2005). El cambio acelerado de uso del suelo tiene un impacto directo en la regulación hídrica, la infiltración de agua, el caudal de los ríos y la erosión de los suelos, contribuyendo de manera paulatina pero sostenida a la reducción en la disponibilidad de agua en el territorio.

A estos factores se añade la disminución en la disponibilidad de agua por la mala calidad del recurso debido a la contaminación por la descarga de aguas residuales sin tratar. Para 2013, la Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental señalaba que el 95% de las aguas residuales

domésticas se descargaban en cuerpos de agua receptores sin ningún tratamiento (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) 2013). En cuanto a las aguas residuales industriales, no se tiene un registro exacto. De hecho, desde 2005, el SNET (citado en ANDA, 2014) ya señalaba que el bajo nivel de aguas con calidad para el desarrollo de la vida acuática se debe fundamentalmente a la "falta de tratamiento adecuado de las aguas servidas y al débil control de la contaminación industrial" (p. 22).

Otra variable que vulnera cada vez más la disponibilidad hídrica en el corto y largo plazo es el fenómeno global del cambio climático. Según los escenarios del estudio Climate Model Based Consensus on the Hydrologic Impacts of Climate Change to the Rio Lempa Basin of Central America (Maurer et al., 2009, p. 190), para finales de siglo, las precipitaciones podrían disminuir entre un 5% y un 10%, reduciendo hasta en un 24% las entradas de agua a los principales embalses, y disminuyendo entre un 33% y un 53% la generación de energía.

Ante ese panorama, se sostiene que El Salvador enfrenta una crisis hídrica latente y multicausal, en la cual el aumento de la brecha entre una demanda creciente y una disponibilidad cada vez menor puede acarrear serias repercusiones en el tiempo si no se impulsan acciones inmediatas en las diferentes áreas relacionadas con el recurso.

Para comprender mejor los posibles impactos, se presentan los resultados más importantes del diagnóstico realizado en cuanto a la oferta, demanda y condiciones de acceso al agua. Se parte de la premisa de que la naturaleza se transforma en un contexto de poder, relaciones dispares y estructuras sociales que determinan quiénes explotan los recursos, en qué condiciones y a quiénes impacta positiva o negativamente (Budds, 2012). En este contexto, el ciclo hídrico se ve afectado por acciones y relaciones antropogénicas, por lo tanto, el ciclo del agua no puede desasociarse de la sociedad.

Oferta hídrica

De acuerdo con la Autoridad Salvadoreña del Agua (ASA), para efectos de análisis hidrográficos, el país está dividido en tres zonas y diez regiones, conformadas por las cuencas y microcuencas más importantes del país (ASA, 2022). Según datos del Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico (MARN, 2017, p. 64), las aportaciones anuales promedio (1970-2012) de las regiones que integran el sistema hidrográfico nacional indican que más de la mitad de estas aportaciones provienen de la región del Lempa (56.9 %), siendo esta la principal en términos de oferta hídrica para El Salvador. Le siguen la región hidrográfica (RH) del Goascorán con un 8.9 % de las aportaciones y la RH de Jiboa/Estero de Jaltepeque con un 6.9%.

Según las proyecciones del MARN (2017), las aportaciones totales de las RH aumentaron en un 0.54% respecto al promedio estimado en 2012, alcanzando una aportación total de 20,402.8 MMC. Sin embargo, a pesar de esta ligera variación positiva, la disponibilidad hídrica ha experimentado una tasa de crecimiento negativa del 2.5%, lo que indica que la demanda de recursos ha crecido de manera más acelerada en los últimos diez años, como se mencionó anteriormente.

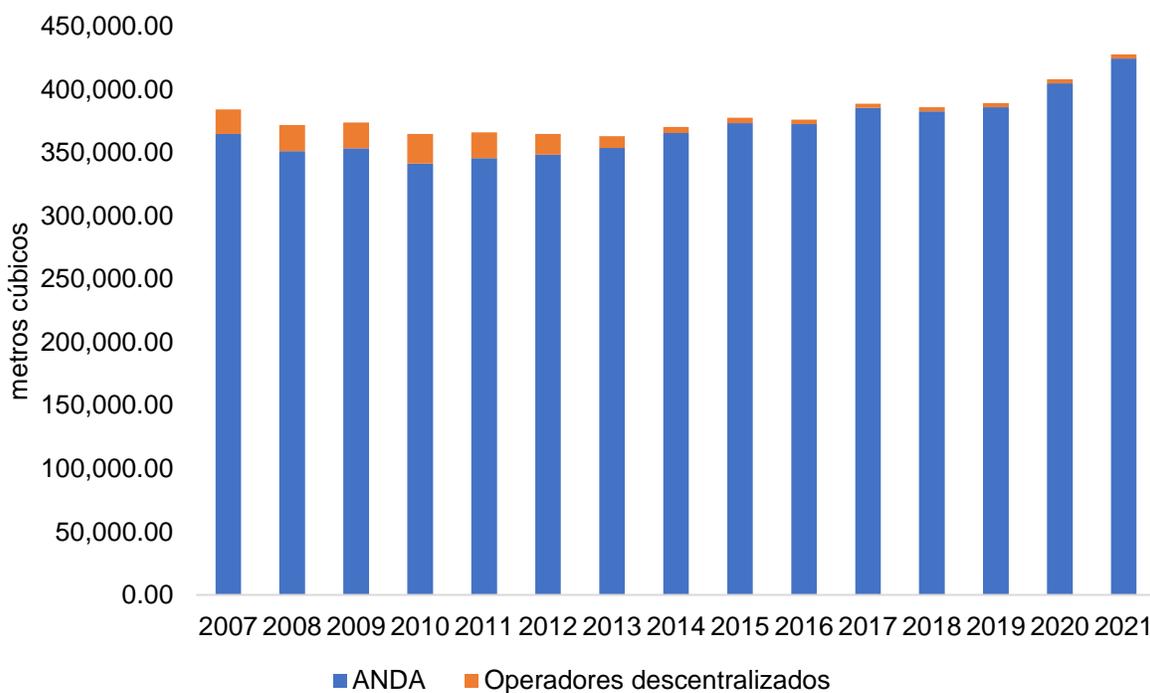
Producción y distribución de agua

Además de conocer las aportaciones hídricas en términos de la oferta, conviene analizar el comportamiento de la producción de agua a nivel nacional. Esta variable indica la cantidad de recurso que se extrae de los cuerpos hídricos para la producción de agua potable. En el caso de El Salvador existen dos sistemas para la extracción y producción de dicho recurso: el sistema centralizado operado por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) y los sistemas descentralizados operados ya sea por sistemas privados, sistemas municipales o por juntas de agua.

De acuerdo con los Boletines Estadísticos de ANDA (2006-2021), la producción de agua potable en El Salvador actualmente asciende a 427,732.6 MMC al año. Durante los últimos 15 años, la producción ha experimentado un incremento sostenido, con una tasa de variación promedio del 12.5%. Específicamente, en los últimos ocho años se destaca un aumento en la producción de agua del 17.3%.

Asimismo, los datos también muestran que el sistema de ANDA produce el mayor porcentaje de agua potable a nivel nacional. Durante los últimos 15 años (2006-2021), el 97.2% de la producción de agua a nivel nacional estuvo a cargo de ANDA, mientras que el 2.8% restante fue producido por sistemas descentralizados. Para el año 2021, el 99.2% del agua fue producido por la entidad estatal, con solo un 0.8% proveniente de sistemas descentralizados. El Gráfico 1 ilustra la distribución anual de la producción por tipo de sistema.

Gráfico 1. Producción de agua a nivel nacional por tipo de operador (miles de m3). El Salvador, 2007-2021

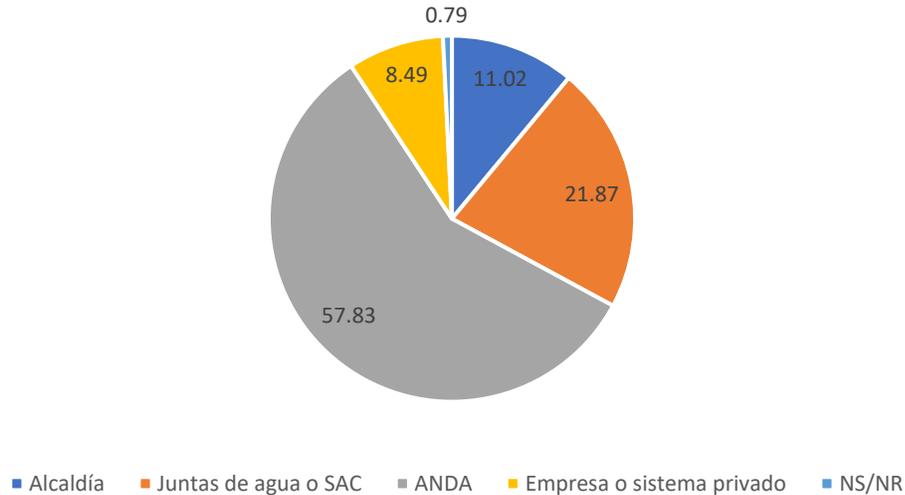


Fuente: Boletines Estadísticos ANDA 2007-2021

A pesar de que un porcentaje muy bajo del agua potable es producida por sistemas distintos a ANDA, la encuesta realizada en el marco del proyecto muestra que aproximadamente 22 de cada 100 personas encuestadas dependen de sistemas descentralizados como las Juntas de Agua para abastecerse de agua (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Sobre todo, el rol que juegan las juntas de agua y los sistemas comunitarios (SAC) se vuelven

fundamentales en las zonas rurales, donde el 50 % de los encuestados que habitan en estas zonas señala que son abastecidos por dichas entidades con una frecuencia en la mayoría de los casos (68 %) de más de 5 horas por día y con un promedio de pago de 7.14 USD al mes.

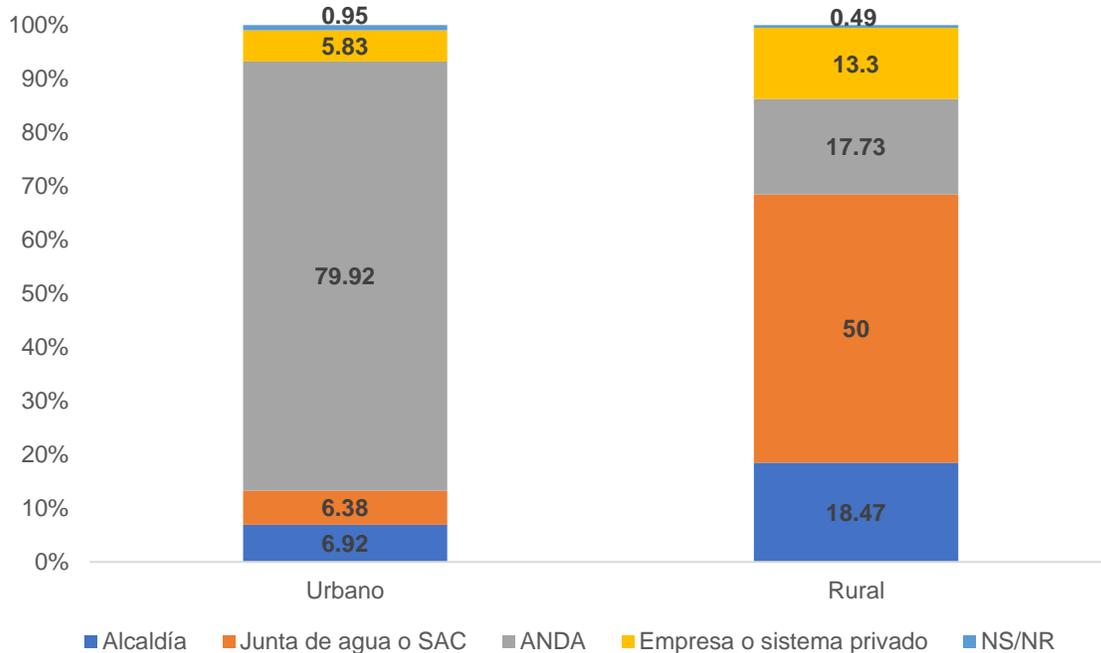
Gráfico 2. Distribución de agua en % por tipo de sistema a nivel nacional, El Salvador 2023



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Encuesta sobre el acceso al agua de calidad del Programa Estratégico de Investigación, 2023.

En el caso de las áreas urbanas el indicador es menor, pero aun así, pese a que ANDA sule al 80 % de las personas encuestadas en dicha área, al menos 6 de cada 100 señalan que su sistema de provisión de agua es una junta o sistema comunitario.

Gráfico 3. Distribución de agua en % por sistema y zona geográfica, El Salvador 2023



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Encuesta sobre el acceso al agua de calidad del Programa Estratégico de Investigación, 2023.

Demanda hídrica y acceso al agua

La demanda hídrica corresponde a la variable que cuantifica el consumo realizado por los diferentes sectores productivos, así como por personas y hogares (consumo humano), durante un período determinado. Según estimaciones del MARN (2017), la demanda total estimada para 2022 fue de 2468.1 MMC, lo cual representa un aumento de 347.69 MMC en comparación con la demanda registrada en 2012 (2120.41 MMC). Esto indica que la demanda hídrica incrementó un 16.4% a lo largo de diez años. Los datos sectoriales indican que para 2022, el sector agropecuario demanda la mayor cantidad de agua, representando un 53.58% de la demanda total, seguido del sector de abastecimiento (consumo humano) con un 28.97%, y el sector energético con un 10.38% de la demanda total. La Tabla 1 detalla las demandas estimadas por sector para los años 2012, 2017 y 2022.

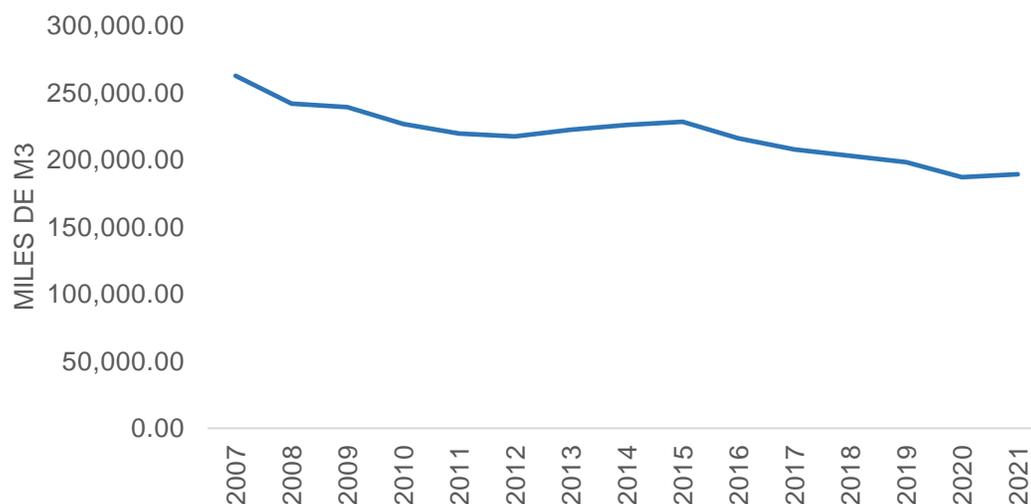
Tabla 1. Demanda bruta estimada por sector (MMC/año). El Salvador 2012, 2017 y 2022

SECTOR	2012		2017		2022	
	MMC	%	MMC	%	MMC	%
ABASTECIMIENTO	577.44	27.23%	662.23	29.73%	715.08	28.97%
AGROPECUARIO	1148.27	54.15%	1153.22	51.77%	1322.43	53.58%
INDUSTRIA	78	3.68%	79.61	3.57%	81.22	3.29%
ENERGÍA	252.07	11.89%	256.28	11.50%	256.28	10.38%
HOTELERO	2.34	0.11%	3.41	0.15%	4.54	0.18%
ACUÍCOLA	62.29	2.94%	72.92	3.27%	88.55	3.59%
TOTAL	2120.41	100.00%	2227.67	100.00%	2468.1	100.00%

Fuente: estimaciones del MARN para el PNGIRH (MARN, 2017, p. 93)

Respecto al consumo de agua potable, datos de los Boletines Estadísticos de ANDA entre 2007 y 2021 muestran una reducción del 28% en el consumo total anual. En 2007, el consumo registrado fue de 262,588.6 miles de metros cúbicos, mientras que para 2021 este indicador descendió a 189,284.9 miles de metros cúbicos (ver Gráfico 4).

Gráfico 4. Consumo anual de agua a nivel nacional (miles de m3). El Salvador, 2007-2021



Fuente: Boletines Estadísticos ANDA 2007-2021

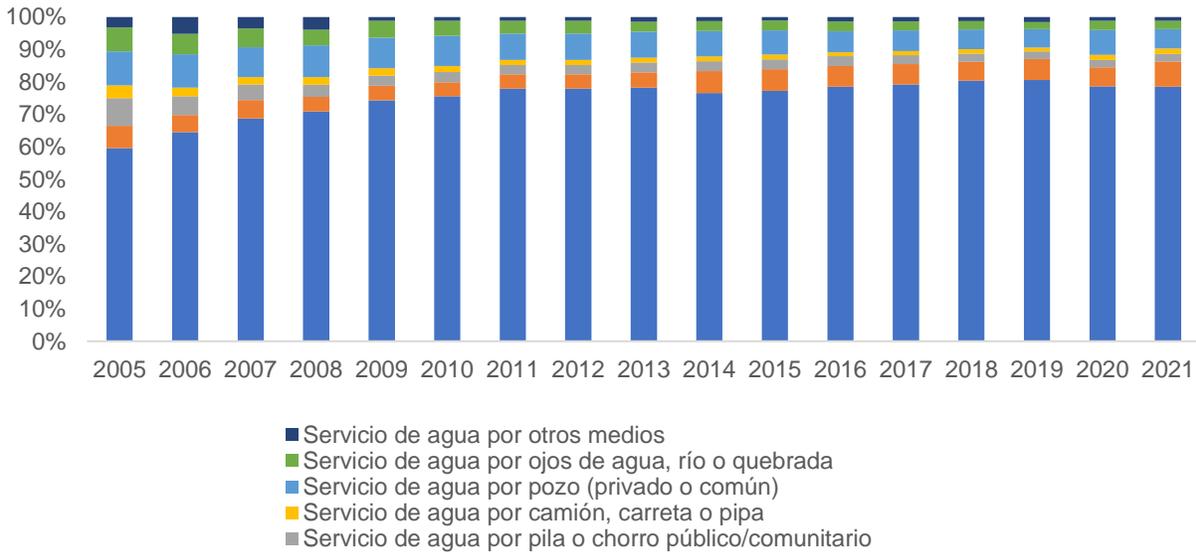
Esta tendencia muestra una contradicción respecto a la producción de agua en el mismo período, ya que mientras la producción de agua ha aumentado, el consumo ha disminuido considerablemente. La explicación para este fenómeno radica en que, según ANDA (2021), existe un subregistro del consumo debido a diversas razones como el agua producida pero no

contabilizada, que resulta del deterioro y las fallas por antigüedad en las redes de distribución, conexiones ilegales, servicios públicos no facturados, entre otras variables. Estos factores contribuyen a que la producción y el consumo de agua no coincidan (p. 71).

Del agua potable producida, la mayor parte es demandada para el consumo humano, representando más del 60 % durante todo el período 2007-2021. Este dato coincide con las estadísticas del Banco Mundial (2005-2020), que muestran un aumento progresivo en el acceso de la población al servicio de agua potable, alcanzando casi el 98% para el año 2020.

Pese a la mejora en la cobertura del servicio de agua potable, el acceso al agua de calidad en El Salvador sigue siendo limitado y desigual. Según datos históricos de las Encuestas de Hogares de Propósitos Múltiples de 2005 a 2021, ha habido un aumento gradual en el porcentaje de hogares que tienen servicio de agua por cañería dentro de la vivienda o propiedad. No obstante, persiste un número significativo de hogares salvadoreños sin acceso adecuado al agua. Aproximadamente 22 de cada 100 hogares en El Salvador aún no tienen acceso a agua por cañería en sus viviendas, y dependen de vecinos, fuentes comunitarias, camiones cisterna, o deben recurrir a fuentes naturales como pozos, ojos de agua, ríos y quebradas para abastecerse. El Gráfico 5 muestra la distribución histórica de las fuentes de acceso disponibles para los hogares.

Gráfico 5. *Porcentaje de hogares con acceso a servicio de agua por tipo de fuente. El Salvador, 2005-2021*



Fuente: elaboración propia con datos de EHPM 2008-2015.

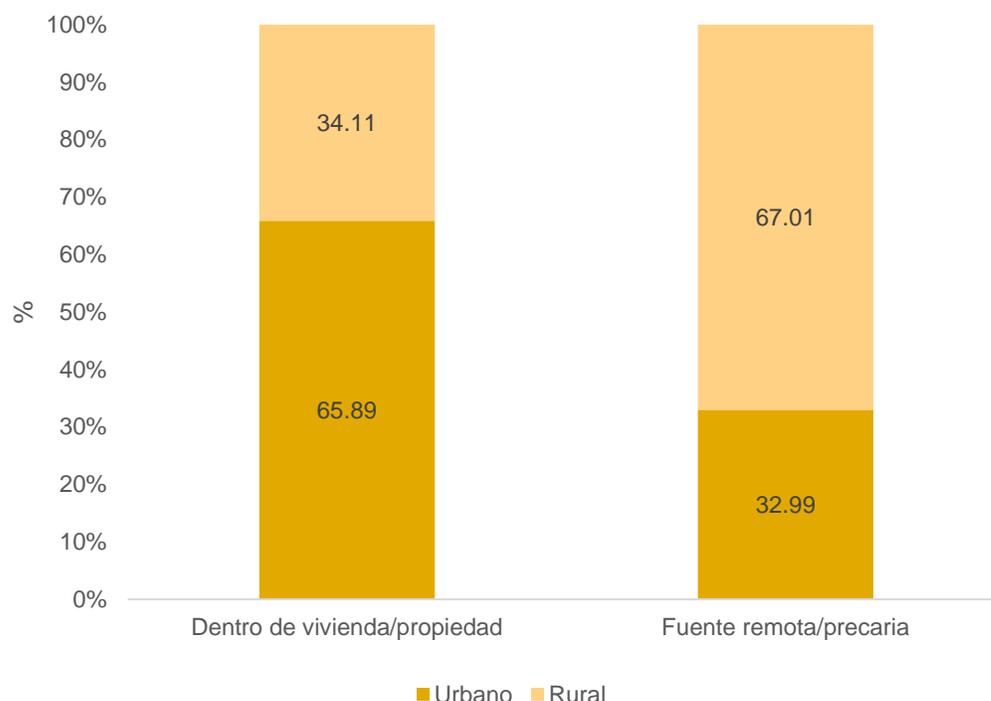
Estos datos son respaldados por la encuesta realizada en el contexto de esta investigación, los cuales muestran que la gran mayoría de personas/hogares reportan contar con abastecimiento de agua dentro de la vivienda y/o propiedad (84.49%). Sin embargo, al desagregar por área de residencia (ver Gráfico 6), es posible observar que:

- El 65.89% de hogares que se abastecen de agua dentro de la vivienda son de la zona urbana.
- El 67.01% de hogares que se abastecen de agua mediante fuentes remotas/precarias son de la zona rural.
- Aproximadamente 3 de cada 10 hogares en la zona rural se abastecen de agua mediante fuentes remotas/precarias; y en la zona urbana apenas 1 de cada 10.

Datos de la encuesta realizada en el marco de esta investigación confirman que el servicio de abastecimiento de agua por parte de ANDA para los hogares rurales es minoritario en comparación con otros proveedores como las juntas de agua. Solo el 17.73% de los hogares rurales que tienen acceso a agua mediante cañería propia, del vecino o chorro público reciben

servicio de ANDA, mientras que el 50% se abastecen a través de las juntas de agua. Este contraste es significativo en comparación con los hogares urbanos, donde el 79.92% cuenta con servicio de ANDA.

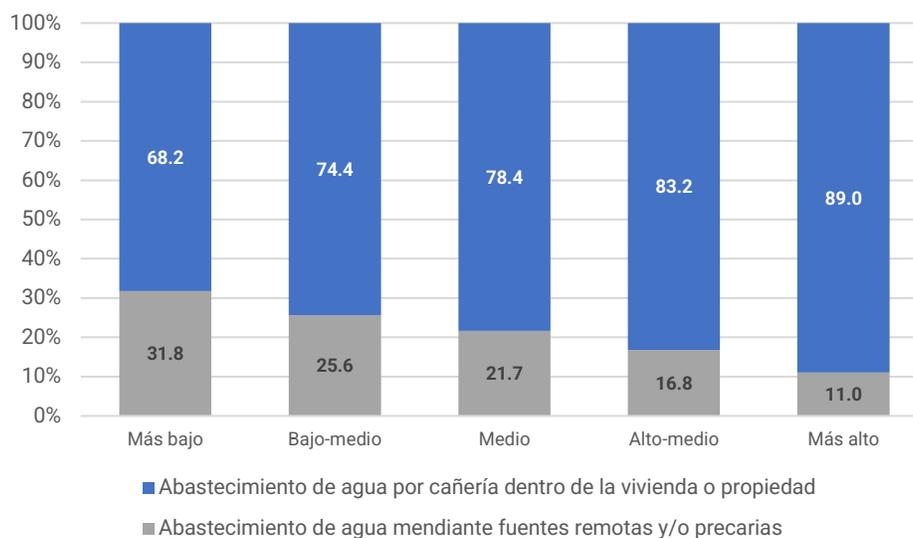
Gráfico 6. Formas de abastecimiento de agua por zona geográfica. El Salvador, 2023



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Encuesta sobre el acceso al agua de calidad del Programa Estratégico de Investigación, 2023.

Las desigualdades en el acceso al agua también están vinculadas con el nivel de ingreso de los hogares. Datos de la EHPM para 2021 indican que los porcentajes de hogares que se abastecen de agua mediante fuentes remotas y/o precarias por falta de servicio por cañería son mayores entre los quintiles de menores ingresos. De cada 10 hogares de los ingresos más bajos, 3 carecen de servicio de agua por cañería, mientras que en solo 1 de cada 10 hogares de los ingresos más altos se encuentra en esta situación. Esto pone en evidencia que el acceso al agua de calidad en El Salvador está ligado a una cuestión de ingresos (Gráfico 7).

Gráfico 7. Hogares con diferentes niveles de ingreso (quintiles) la calidad de la fuente de abastecimiento de agua (%). El Salvador, 2021



Fuente: elaboración propia con datos de EHPM 2021

A las inequidades en la cobertura del servicio de agua potable se suma el carácter regresivo de las tarifas y el gasto de los hogares destinado al pago de servicio de agua. Según datos de la Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples (EHPM) de los últimos diez años (2011-2021), los hogares de menores ingresos destinan una proporción mayor de su presupuesto al pago del servicio de agua provisto por ANDA en comparación con los hogares de mayores ingresos. En promedio durante este período, se estima que los hogares de menores ingresos han destinado el 21% de su gasto total en servicios al recurso hídrico, mientras que para los hogares de mayores ingresos esta proporción fue del 12.7%.

Para el año 2021, el análisis muestra que a medida que aumentan los ingresos, disminuye el peso del gasto en el servicio de agua con respecto al gasto total en servicios. Los hogares con menores ingresos destinaron aproximadamente el 17% de su gasto total a este fin, los hogares de ingresos medio-bajo un 12.9%, los de ingreso medio un 11.6%, los de ingreso medio alto un 10.9%, y los hogares con los ingresos más altos destinaron un 8.8% de su presupuesto total en servicios al pago del servicio de agua.

Acceso al agua, trabajo de cuidados y relaciones de género

El agua es un recurso fundamental para la producción en sectores clave como la agricultura y la industria. Además, desempeña una función vital en la satisfacción de necesidades humanas y medioambientales a corto y largo plazo. Por lo tanto, constituye un insumo esencial para una amplia gama de actividades que aseguran el bienestar propio y de otros, como lavar, cocinar, limpiar, bañar a niños y niñas, y regar las plantas. Estas actividades, identificadas por la economía feminista como trabajo de cuidados, son esenciales para la reproducción de la vida y la sociedad.

En ese sentido, los procesos de reproducción de la vida, donde el agua y los cuidados están intrínsecamente vinculados, de igual modo son atravesados por relaciones de género y, en particular, por la división sexual del trabajo. Esta división asigna a las mujeres las actividades relacionadas con la reproducción y los cuidados en el hogar, las cuales incluyen usos del agua indispensables para la salud, la higiene y la realización de las tareas mencionadas anteriormente.

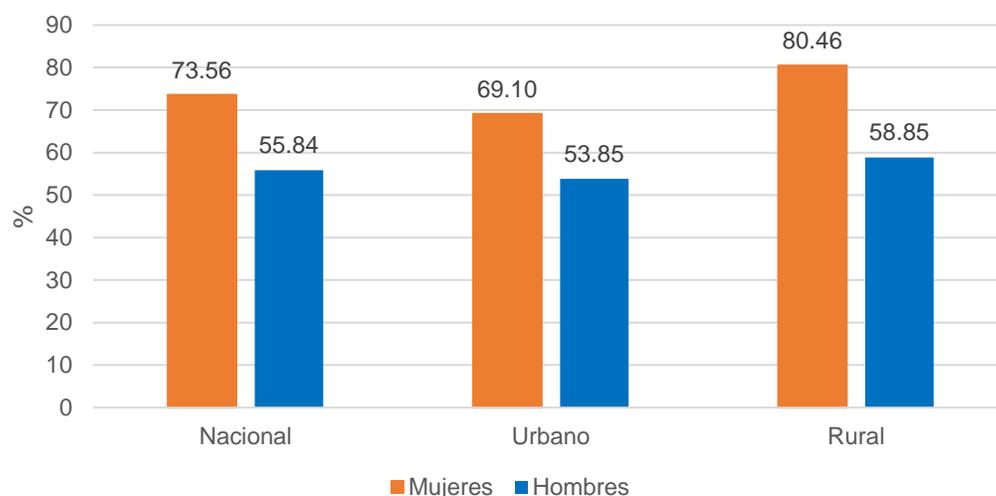
En las últimas décadas, los estudios empíricos basados en datos de uso del tiempo han explorado los vínculos entre género, trabajo de cuidados y acceso al agua en países del Sur global. Estos estudios demuestran que existen importantes desequilibrios de género en la carga de trabajo de cuidados no remunerado, especialmente en contextos donde la recolección diaria de agua es necesaria debido a la falta de acceso a agua potable. Esta situación afecta principalmente a las mujeres que viven en condiciones de pobreza y en áreas rurales. En el caso de El Salvador, las mediciones derivadas de la Encuesta Nacional de Uso del Tiempo de 2017 indican que:

- Aproximadamente **7 de cada 10 mujeres en El Salvador participan activamente y de manera cotidiana en actividades intensivas de cuidado que requieren un uso significativo de agua diariamente**, tales como lavar platos, ropa, regar plantas, bañar niños y personas con enfermedades o discapacidades permanentes, cocinar y limpiar la casa. En contraste, solo 3 de cada 10 hombres colaboran en este tipo de actividades. Estas tasas de participación son similares tanto en el área urbana como rural.

- **Las mujeres dedican, en promedio, el doble de tiempo cada día al trabajo intensivo de cuidados relacionado con el uso del agua en comparación con los hombres:** 4 horas frente a menos de una hora y media. En el caso de las mujeres que residen en zonas rurales, el tiempo promedio dedicado a este tipo de trabajo es ligeramente mayor que en las mujeres de zonas urbanas (3.6 vs. 3.1 horas, respectivamente).

- Estimaciones más recientes derivadas de la "Encuesta sobre el acceso al agua de calidad del Programa Estratégico de Investigación" realizada en 2023 indican que **la recolección de agua es una actividad significativa para muchos hogares salvadoreños**, siendo las mujeres quienes más participan y dedican más tiempo a esta labor. A nivel nacional, de cada 10 mujeres salvadoreñas, 7 están involucradas en la recolección de agua para el consumo doméstico, lo cual incluye llenar recipientes, almacenar agua, y acarrearla, entre otras actividades. En contraste, de cada 10 hombres, 5 participan en estas labores. Además, las mujeres rurales tienen una participación mayor en comparación con los hombres tanto en áreas urbanas como rurales (ver Gráfico 8).

Gráfico 8. Tasas de participación en la recolección de agua de hombres y mujeres, a nivel nacional y por área de residencia. El Salvador, 2023



Fuente: elaboración propia con datos de la “Encuesta sobre el acceso al agua de calidad del Programa Estratégico de Investigación”

En términos del tiempo dedicado a esta actividad, el 61.55% de las mujeres que residen en zonas rurales dedican entre 1 y 5 horas diarias a la recolección de agua, mientras que un 53.12% de las mujeres en zonas urbanas hacen lo propio (ver Tabla 2). Estas cifras son consistentes con la información sobre las fuentes de acceso al agua en los hogares, donde un mayor porcentaje de hogares rurales se abastecen de agua mediante fuentes remotas y/o precarias, lo cual implica que las mujeres participen principalmente en el proceso de recolección.

Tabla 2. Horas al día dedicadas a la recolección de agua por hombres y mujeres en zonas urbanas y rurales. El Salvador, 2023

Horas al día dedicadas a recolectar agua	Mujeres		Hombres	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural
Menos de 1 hora	14.77	17.23	14.41	11.73
Entre 1 y 5 horas	53.12	61.55	38.58	45.58
Entre 6 y 12 horas	1.10	1.68	0.88	1.32
24 horas	0.14	0.00	0.00	0.22
No se dedica a esta actividad	30.22	19.33	46.00	40.49
NS/NR	0.68	0.21	0.15	0.66

Fuente: elaboración propia con datos de la “Encuesta sobre el acceso al agua de calidad del Programa Estratégico de Investigación”

Estos resultados muestran que, en contextos de serias deficiencias en el acceso al agua, como es el caso de El Salvador, las personas – principalmente mujeres y habitantes de zonas rurales – se ven forzadas a dedicar tiempo a la recolección de agua, incrementando la carga y el tiempo dedicado al trabajo de cuidados no remunerado en general, y particularmente en aquellas actividades que implican un uso intensivo del agua.

En cuanto a la demanda de agua por parte de la industria, se ha determinado que su principal fuente de abastecimiento no es el sistema de producción de agua. Para el año 2021, esta representó solo el 0.41 % del total, según datos de la ASA (2022). Sin embargo, a nivel de demanda total, la ASA registra una necesidad de 868 MMC, lo que indica que las industrias recurren a otras fuentes para satisfacer sus necesidades hídricas. Es relevante señalar que el 62 % de las industrias identificadas extraen agua de la región hidrográfica Lempa, según datos también de la ASA (2022). De un total de 18,429 industrias identificadas, 11,359 están ubicadas en esta región, lo que refleja la significativa presión ejercida sobre el recurso hídrico por parte de esta actividad productiva. Esto implica una demanda anual de 75.15 MMC solo en la región hidrográfica Lempa.

Para la industria y las actividades productivas en general, es crucial considerar que las presiones no solo derivan de la demanda generada, sino también de las externalidades negativas resultantes de sus procesos, las cuales inciden en la disminución de la disponibilidad hídrica. Se enfatiza en las industrias debido a que sus operaciones generan ganancias que a menudo se incrementan a expensas de no asumir los impactos negativos y de la práctica de utilizar el medio ambiente como vertedero. A diferencia de las aguas residuales domiciliarias, cuya responsabilidad recae principalmente en el Estado dado que el saneamiento es un derecho humano, en el caso de las aguas residuales industriales, la responsabilidad recae en las propias empresas, dado que el agua representa un factor productivo fundamental.

A modo de comentario final, es importante señalar que en el caso salvadoreño los datos indican que no existe un contexto de escasez absoluta y aún se puede considerar una situación de no estrés hídrico. Sin embargo, la disponibilidad limitada del recurso y la alta dependencia del Río Lempa, que aporta el 56.9 % de las aguas superficiales y subterráneas al sistema hidrográfico del país, son factores que podrían contribuir al recrudecimiento de la crisis en los próximos años.

Por otra parte, aunque los indicadores generales de acceso y cobertura del servicio de agua potable muestran niveles aceptables o incluso sobresalientes, los análisis diferenciados por zona geográfica, quintiles de ingreso, estratos socioeconómicos y variables de género han evidenciado inequidades en el acceso y uso del recurso. Estas inequidades tienen el potencial de agravarse en escenarios de mayor escasez y crisis. Además, se deben considerar las posibles violaciones a la justicia social debido a deficiencias en los medios legales e institucionales para abordar estas disparidades.

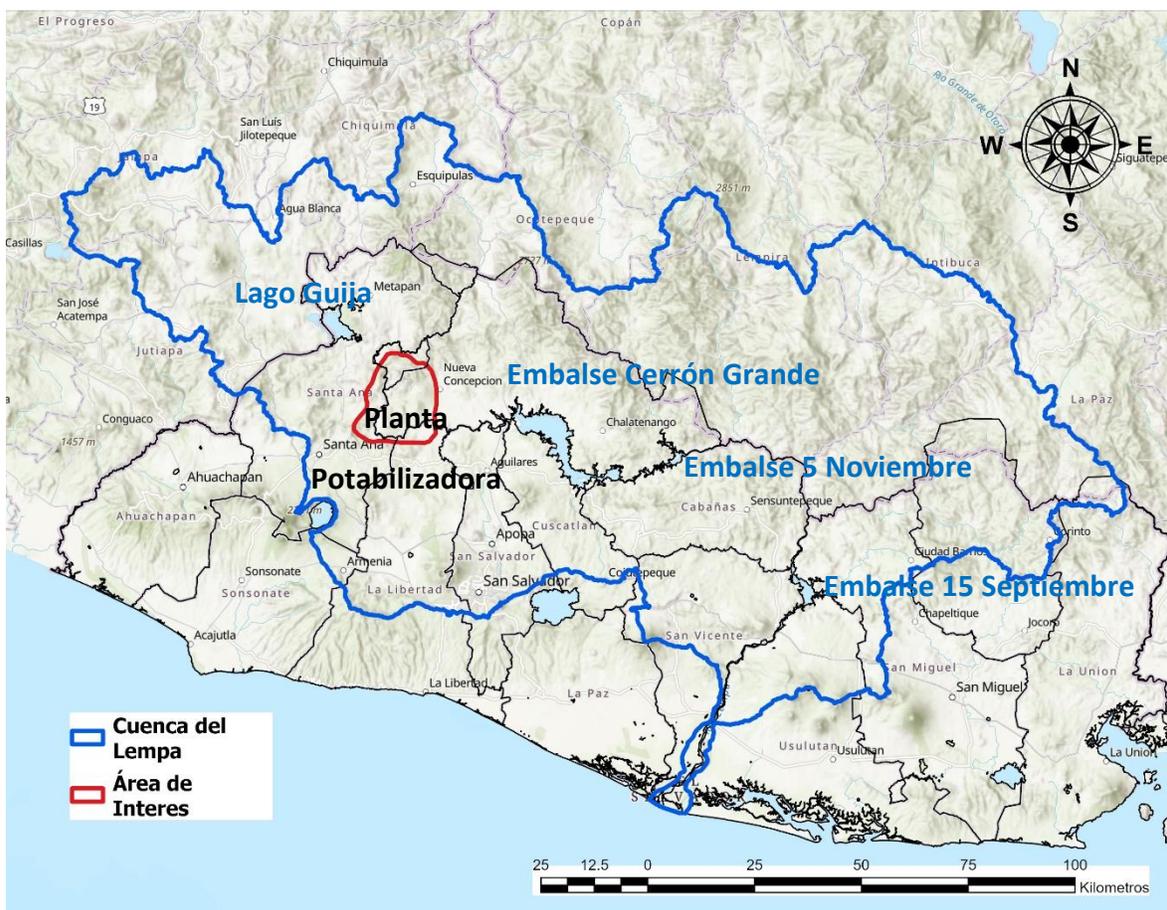
4.2. Resultados del componente “Caracterización de la calidad del agua”: situación y Zonas de Interés de Cuenca del Río Lempa

Por: J. Hernández

La cuenca del río Lempa (Figura 5) es el río más importante para El Salvador. Sus aguas son la materia prima fundamental para la generación de energía eléctrica, con más del 95 % de la potencia hidráulica del país concentrada en esta cuenca, lo que representa aproximadamente el 25 % de la matriz energética nacional. Además, es la segunda fuente más importante de abastecimiento para el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), proporcionando el 34 % del suministro de agua total. La cuenca también es crucial para actividades de riego, cultivos, piscicultura y acuicultura. Sin embargo, enfrenta desafíos significativos como la erosión intensa y las inundaciones, problemas que se incrementan cada año.

Afecciones como el cambio climático, cambios en el uso del suelo, actividades contaminantes y procesos antropogénicos impactan la sostenibilidad del recurso hídrico y la salud de la población. En el futuro, estos factores pueden reducir la disponibilidad de agua y aumentar los costos asociados con los procesos de descontaminación y extracción. Esto podría provocar crisis de abastecimiento hídrico y de seguridad alimentaria, además de ocasionar problemas como erosión, sedimentación e inundaciones.

Figura 5. Situación de la cuenca del río Lempa, y zona de interés aguas arriba de planta potabilizadora



Fuente: elaboración propia.

La cuenca del Río Lempa puede ser crucial para evaluar la situación del agua en El Salvador. En esta investigación, se ha caracterizado tanto la cuenca del Lempa en general como una zona específica de interés ubicada aguas arriba de la planta potabilizadora (ver Figura 5). Esta área es fundamental para el abastecimiento de agua potable en gran parte del país, y las presiones actuales sobre esta zona son significativas. El objetivo es proporcionar recomendaciones para áreas que han experimentado o experimentarán cambios en el uso del suelo o actividades que podrían afectar la sostenibilidad del recurso hídrico y el ciclo hidrológico en términos de cantidad y calidad del agua. Además, se pretende definir acciones que puedan involucrar a la población, informarla y capacitarla para participar en la gestión hídrica, así como para defender y proteger sus derechos.

Actualmente, los cambios en el uso del suelo en las zonas rurales, destinados principalmente a la agricultura con la eliminación de bosques y la disminución del precio del café, así como problemas de plagas, han provocado alteraciones significativas. Las zonas de cafetales y bosques son importantes áreas de recarga acuífera. La pérdida de esta cobertura boscosa afecta la regulación de los flujos tanto subterráneos como superficiales, incrementando la erosión e inundaciones (Cuellar y Duarte, 2001). En sectores de geología antigua poco permeable y fracturada, la deforestación tiene un alto impacto al reducir la infiltración del agua que alimenta

los caudales en épocas secas de los ríos. Además, el cambio climático está generando lluvias más intensas, convectivas y de corta duración, lo cual limita la infiltración y aumenta la evapotranspiración debido al incremento de la temperatura (Estrategia Nacional de Recursos Hídricos, 2013).

Según el mapa hidrogeológico de El Salvador (ANDA, 2008), los acuíferos principales se encuentran en lavas fracturadas y piroclastos o sedimentos recientes. En las rocas antiguas, aunque la cantidad de agua subterránea es limitada, son áreas donde suelen surgir manantiales. Es posible que el agua se transporte a través de fallas y fracturas, lo que convierte a estas zonas en áreas de interés. En ocasiones, el caudal de estos manantiales puede variar según las estaciones del año o ser perennes.

En cuanto a los cambios en los niveles del agua subterránea, al revisar la red de monitoreo del Sistema de Información Hidrogeológica (SIHI) del MARN, se observa que abarca los principales acuíferos del país. En la zona norte, específicamente en el sector de Santa Ana, la red de monitoreo es relativamente nueva (desde 2019) y muestra un comportamiento estacional de fluctuación en los niveles de los acuíferos. No se ha observado una disminución drástica en los niveles durante el corto período de monitoreo. Entre el lago de Coatepeque y el sector occidental del volcán de San Salvador, sí se observa cierta disminución en los niveles del agua subterránea, probablemente debido a la explotación en esta área. Con el tiempo, el monitoreo continuo permitirá entender mejor el comportamiento de los niveles acuíferos. La misma situación se visualiza en los pozos de monitoreo del gran San Salvador, en general (con algunas excepciones) se ve una disminución de los niveles acuíferos, posiblemente asociada a la extracción de agua en la ciudad. En el sector entre San Salvador y Cuscatlán al norte, se observa cierto equilibrio e incluso en algunos casos un aumento en los niveles acuíferos. Un comportamiento similar se aprecia en la cuenca baja de San Vicente y Usulután. En la desembocadura del río Lempa, se observa que el agua emerge bastante superficialmente.

En El Salvador, se disponen de mapas de recarga y vulnerabilidad a la contaminación según el Sistema de Información Hidrogeológica (SIHI, 2023). Estos mapas se elaboran utilizando un balance hídrico del ciclo hidrológico, que considera las entradas y salidas del sistema, así como información sobre el tipo de roca/suelo y la profundidad de los acuíferos, entre otros factores. La utilidad principal de estos mapas radica en la toma de decisiones respecto al manejo del recurso hídrico y las actividades que pueden permitirse. Es importante destacar que muchas de las zonas de recarga hídrica significativas se encuentran en áreas de volcanes recientes o antiguos, frecuentemente cubiertos por bosques.

Se compiló información detallada sobre la cuenca del río Lempa y la zona prioritaria, incluyendo aspectos geológicos y antecedentes relevantes. En este caso, se dio prioridad al uso de sensores remotos con el objetivo de identificar cambios en el uso del suelo y características superficiales que puedan indicar variables como humedad, temperatura, calidad del aire, entre otros.

Los sensores remotos son sistemas o instrumentos diseñados para captar información de un objeto a distancia. La teledetección o percepción remota se refiere específicamente a la adquisición de datos de la superficie terrestre mediante estos sensores remotos, así como al procesamiento e interpretación de los datos obtenidos. Esta tecnología permite capturar las características físicas de la superficie terrestre mediante mediciones de radiación reflejada y emitida por cada componente de esa superficie (Gupta, 2017).

Las imágenes de satélite o sensores remotos se utilizan para observar lugares que son difíciles y costosos de alcanzar o inaccesibles a la vista humana debido a la topografía, la cobertura vegetal densa, o porque son áreas tan grandes que resulta impracticable enviar un equipo de personas. Además, permiten retroceder en el tiempo y visualizar los cambios ocurridos hasta la

fecha. Los datos multiespectrales proporcionan información muy útil para establecer diferencias en suelos y rocas, así como para analizar la cobertura boscosa, la expansión urbana, los índices de vegetación, los cambios en la cobertura vegetal, la deforestación, y la distribución espacial del agua, incluyendo su monitoreo. Para esta investigación se ha hecho uso de sensores remotos como Landsat1, Sentinel y GRACE que ofrecen datos abiertos y permiten un seguimiento continuo a futuro de manera accesible incluso para la población.

De igual modo, se utilizó una combinación de bandas RGB simple con la banda NIR B04 (800-1100 nm) en el canal rojo, la banda roja B02 en el canal verde y la banda verde B01 en el canal azul. Esto hace que la vegetación se muestre en color rojo, ya que la banda NIR refleja fuertemente la luz mientras absorbe el rojo. La banda 4 también penetra la neblina atmosférica y distingue entre la tierra y el agua. Las zonas urbanas y el suelo desnudo se presentan en tonos grises oscuros, y el agua aparece en tonos azules o negros.

Además, para Landsat se utilizó el índice de vegetación NDVI (Rouse et al., 1974), que es simple y ayuda a cuantificar la vegetación verde y evaluar su estado de salud. También se empleó el índice de humedad NDWI (McFeeters, 1996), que se usa para monitorear los cambios relacionados con el contenido de agua en los cuerpos de agua. El NDMI (Gao, 1996) es un índice de humedad de diferencia normalizada que utiliza las bandas NIR y SWIR. La banda SWIR refleja cambios tanto en el contenido de agua de la vegetación como en la estructura del dosel vegetal.

Para los años 2017 en adelante, se utilizó imágenes de Sentinel 2-5 y Sentinel 1 de Radar (disponibles desde 2014). Las imágenes de Sentinel-1 son proporcionadas por dos satélites en órbita polar, que operan día y noche y generan imágenes de radar de apertura sintética de banda C. Esto les permite adquirir imágenes independientemente del clima o la hora del día. Estas imágenes fueron procesadas y corregidas para comparar tres fechas: 2016, 2020 y 2023, con el fin de observar zonas donde se han producido cambios en el uso del suelo o incendios durante ese periodo.

En cuanto a las imágenes de Sentinel 2, se utilizaron también el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI, Soil Adjusted Vegetation Index) (Huete, 1988), que es similar al índice normalizado de vegetación (NDVI) pero más adecuado en zonas con cobertura vegetal pobre (< 40 %). Además, se empleó el índice normalizado de humedad (NDMI, Normalized Difference Moisture Index) relacionado con el estrés hídrico. Valores de este índice por encima de 0, y conocido el uso y la cobertura del suelo, permiten detectar si se ha dado riego con suficiencia o excedencia, además de relacionar la humedad con la presencia de agua subterránea. También se utilizó el índice de suelo desnudo (Trong et al., 2021), que ayuda a distinguir mejor la cobertura vegetal, mostrando toda la vegetación en verde y el suelo desnudo en colores rojos. Se procesaron dos imágenes de Sentinel 2, correspondientes a los años 2017 y 2023, para clasificar (sin supervisión) los usos de suelo predominantes.

Con el satélite Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) de la NASA, se pueden considerar las anomalías gravitacionales a nivel mundial para detectar variaciones en los niveles de agua subterránea en la cuenca. Los resultados obtenidos corroboran, de alguna manera, lo observado en la red de monitoreo. Además, es posible relacionar estos hallazgos con los fenómenos de El Niño (iniciando en 2015) y La Niña (iniciando en 2020), ya que durante periodos de sequía se observa una disminución en los niveles de los acuíferos, seguida por un incremento tras periodos de lluvias intensas.

Una herramienta trascendental actualmente disponible es el Sentinel Hub EO Browser, accesible en <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. En esta plataforma, se pueden acceder y descargar imágenes de Sentinel que ya están procesadas, permitiendo visualizar fácilmente cambios en diferentes formatos. Esta herramienta es útil para obtener mapas de temperatura

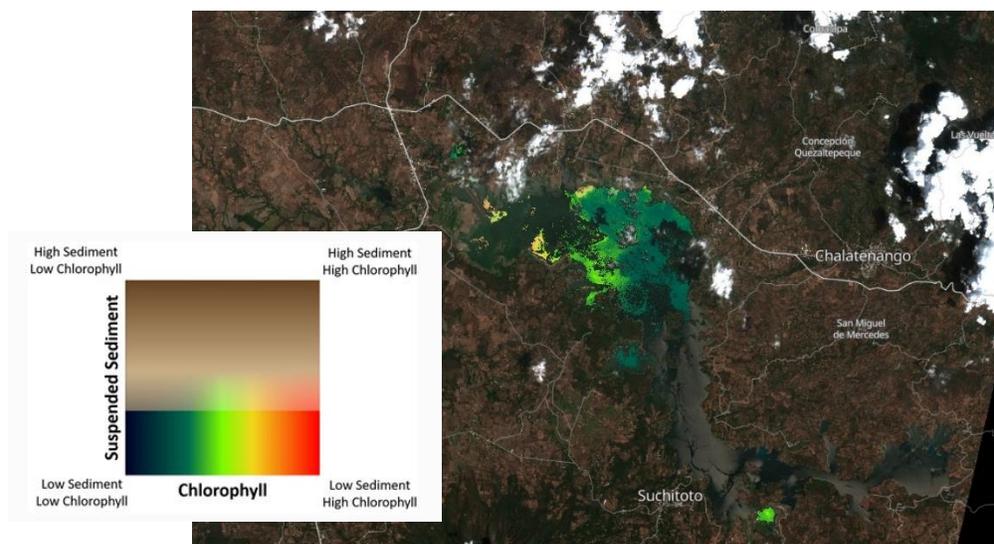
superficial, índices de humedad, vegetación, cobertura del suelo, y detección de incendios, entre otros. Además, incluye imágenes históricas de Landsat, facilitando análisis comparativos a lo largo del tiempo.

Del mismo modo, se usó la información de <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest> donde se ven los cambios (perdidas o ganancias) en bosques que podría ayudar a identificar zonas prioritarias.

El río Lempa alberga lagos y represas artificiales que también se ven afectados por intervenciones humanas, aunque al mismo tiempo son vitales para la supervivencia de los habitantes locales. El jacinto de agua y las cianobacterias pueden invadir estos cuerpos de agua, comprometiendo la calidad del agua al reducir la penetración de la luz y el oxígeno, lo que limita la vida acuática y la calidad del agua. En el embalse de Cerrón Grande, se observa un aumento en su nivel durante el invierno y una disminución durante el verano, mostrando patrones que se asemejan a los de un organismo vivo. Este embalse también es el punto inicial donde comienza a recibir contaminación de las ciudades ubicadas al oeste de este punto, siendo esta su principal fuente de agua para el río Lempa.

En cuanto a la presencia de clorofila y sedimentos en el embalse de Cerrón Grande, se observa una constante vegetación de cianobacterias a lo largo del tiempo, lo cual tiene implicaciones significativas para el ecosistema local. Este embalse artificial recibe sedimentos y contaminantes principalmente de las ciudades cercanas, lo que afecta directamente la calidad del agua y la vida acuática en la zona.

Figura 6. Condiciones de clorofila y sedimentos de Embalse Cerrón Grande (Copernicus)

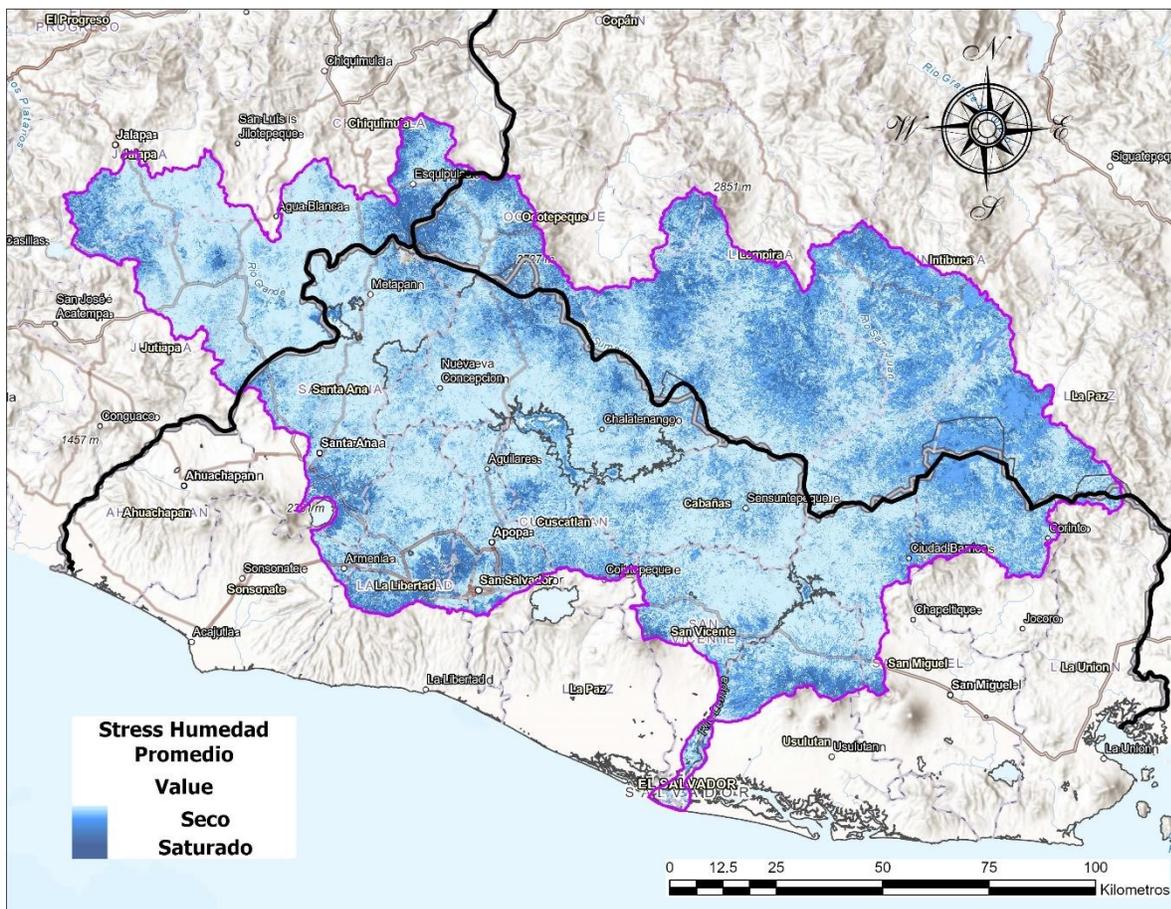


Fuente: [Copernicus Sentinel-2](#)

En la cuenca del río Lempa, mediante el uso de índices de sensores remotos, se ha identificado que durante el verano hay sectores que muestran anomalías de humedad superficial (estrés hídrico). Al considerar el estrés hídrico y entender el uso del suelo y la cobertura vegetal, es posible determinar si la presencia de humedad es resultado de riego o proviene de agua subterránea. De esta manera, comprendiendo el uso del suelo y las condiciones climáticas locales, es factible distinguir entre áreas productivas y no productivas. Algunas parcelas que presentan altos niveles de humedad durante los meses de verano, incluso después de varias semanas sin lluvia y sin riego, sugieren que la única fuente de agua disponible podría ser el agua subterránea.

La información sobre la humedad anómala durante el verano y la pérdida de bosques ha contribuido a priorizar áreas de estudio. Utilizando imágenes de estrés hídrico en verano, se han identificado zonas prioritarias como áreas de riego, elevaciones y cerros/volcanes con cobertura boscosa, que podrían ser potenciales zonas de recarga o retención de agua.

Figura 7. Situación de la cuenca del río Lempa en verano 2023, según índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI) indicando sectores de humedad alta

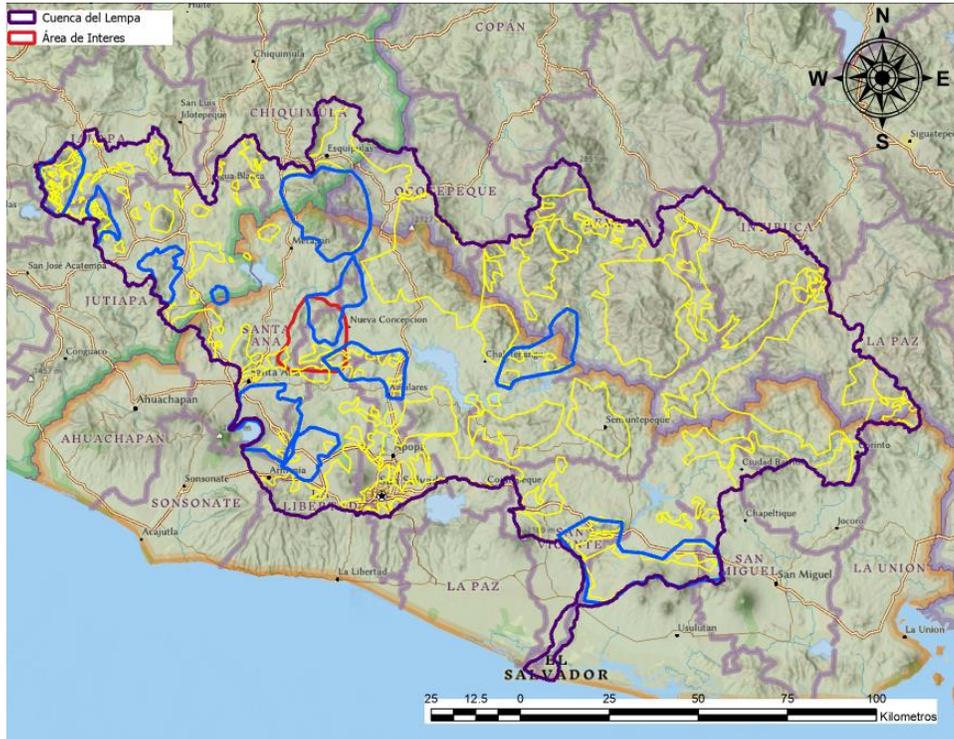


Fuente elaboración propia con información de [Copernicus Sentinel-2](#)

Otro criterio utilizado para priorizar posibles zonas de interés fue identificar los cambios en el uso del suelo en la cuenca, y evaluar cómo estos podrían afectar la infiltración y recarga de agua. También se consideró la afectación por el aumento de sedimentos en la potabilización de las

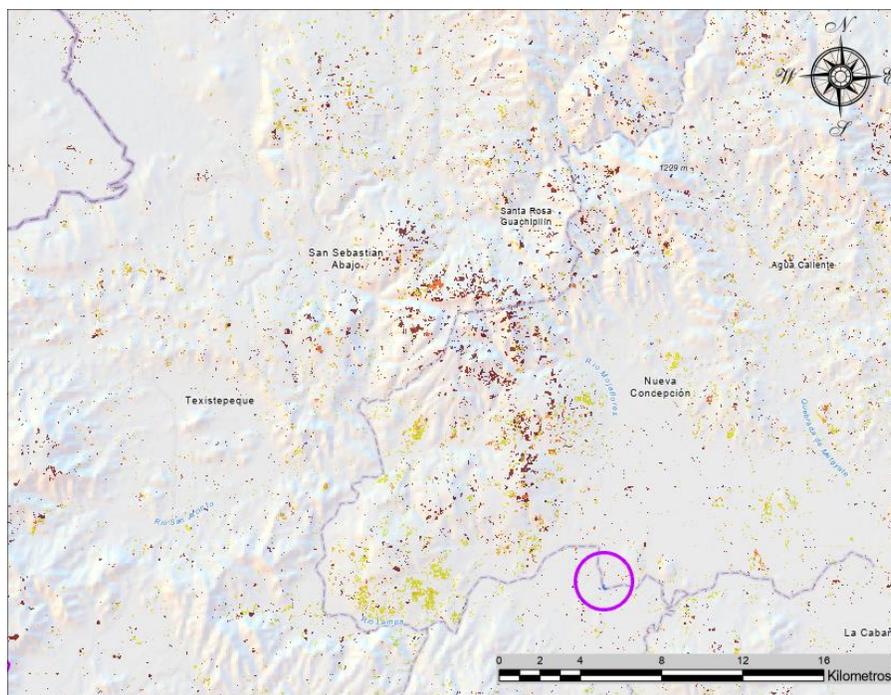
aguas superficiales del río Lempa, dado que una gran parte de la población depende de ellas y ha habido crisis de abastecimiento de agua graves en el pasado.

Figura 8. Zonas que se identificaron como de interés (en amarillo) y en azul las priorizadas, en rojo se muestra área de interés estudiada aguas arriba de planta potabilizadora



Fuente: elaboración propia

Figura 9. Ubicación de planta potabilizadora Las Pavas (Torogoz) e identificando zonas de pérdidas de bosque aguas arriba



Fuente: elaboración propia con información de [Global Forest Change](#)

Con la información compilada sobre humedad anómala y pérdida de bosque, se identificó preliminarmente un área de interés entre Texistepeque, Nueva Concepción y San Sebastián Abajo, cerca de Masahuat y aguas arriba de la planta de potabilización Las Pavas (Torogoz). Esta área es afectada por la alta turbidez del río Lempa, causada por la alta concentración de lodo, lo cual dificulta extremadamente el proceso de potabilización del agua. Según ANDA, "hay días que ha sido imposible potabilizar el agua" (Cuéllar et al., 2016). Esta problemática se origina en un territorio amplio con diversas dinámicas de uso del suelo y procesos erosivos y sedimentológicos que impactan directamente en la toma de agua de dicha planta. A pesar de que la planta Las Pavas (Torogoz) enfrenta un problema de severa turbidez en el agua del río Lempa, ni los proyectos originales del sistema, ni las propuestas actuales para rehabilitar la planta consideran la problemática de erosión y sedimentación en el territorio de influencia.

A pesar que existen otras zonas que han tenido cambios de uso de suelo y con humedad anómala, se eligió el área aguas arriba de la planta de potabilización Las Pavas (Torogoz) para estudiar con mayor detalle. Esta área, que comprende Texistepeque, Nueva Concepción y San Sebastián Abajo, puede ser representativa de la cuenca, donde se han observado cambios significativos en el uso del suelo, como la pérdida de bosques. Estas zonas boscosas, generalmente ubicadas en partes altas o cuencas, mantienen humedad incluso en verano y se destacan como áreas importantes para la recarga acuífera.

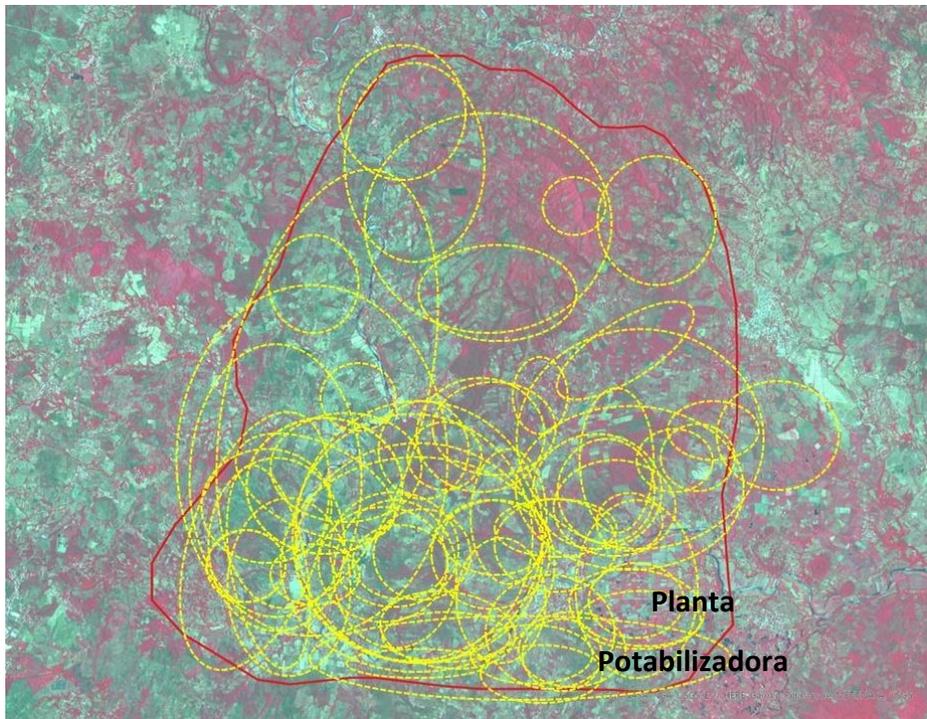
Esta observación, corroborada mediante sensores remotos en El Salvador, también ha sido confirmada por un artículo de Pizarro et al. (2022). En este estudio, un amplio grupo de científicos internacionales analizaron el comportamiento de 42 caudales en Chile, desde la Región de O'Higgins hasta Los Ríos, durante 21 años. La investigación concluyó que, en las zonas con mayor presencia de árboles nativos o cultivos forestales, el flujo de agua se mantuvo constante, incluso en verano. En 2014, al estudiar el comportamiento de ríos y niveles de aguas subterráneas en la zona central de Chile, se observó que, en todas las zonas altas con presencia de bosques, incluso monocultivos forestales como pino o eucalipto, la disponibilidad de agua no se veía afectada pese a la sequía. Las tendencias incluso eran positivas en estas zonas, tal como se observa en sectores de la cuenca.

En la Fig. 6 se han ubicado los sectores de la zona de interés que han sufrido incendios desde 1973 hasta la fecha (50 años). Se puede visualizar cómo el sector sur, con suelo desnudo o menor cobertura vegetal boscosa permanente (El Aguacate, San Isidro Lempa), ha sido afectado por una mayor cantidad de incendios, lo que ha impedido su recuperación, siendo en su mayoría ocupado por cultivos. El sector menos afectado por incendios, donde todavía hay restos de bosques, corresponde al sur de Masahuat (La Montaña, La Ruda); sin embargo, también se ha visto afectado por la agricultura.

Toda la cuenca durante invierno se ve cubierta por vegetación y siembras. Sin embargo, en el verano es donde se nota su verdadero cariz, donde los bosques han desaparecido quedando solo restos y ha sido sustituido por agricultura, incendio, urbanización o suelo desnudo. En Grygar (2006) ya se había clasificado el uso del suelo en la zona, lo cual coincide con lo observado en la misma área mediante sensores remotos.

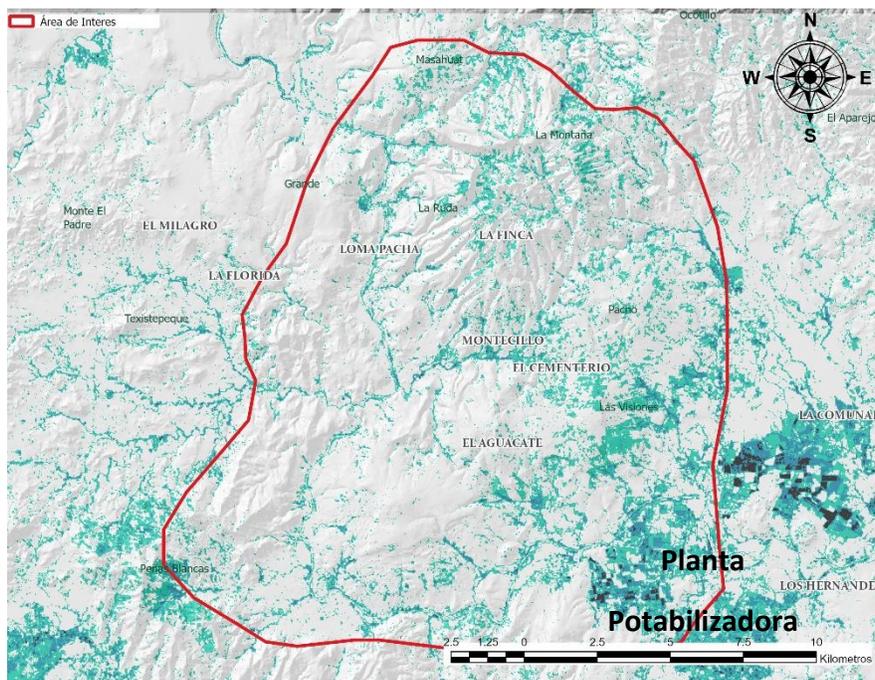
Con el estrés de humedad del sector (Figura 7), se corrobora que actualmente, en verano, la mayor parte del área pasa de estar seca a tener una humedad moderada. Hay sectores donde se observan anomalías de humedad, lo que llama la atención y sugiere posibles fuentes de agua subterránea asociadas a fracturas o fallas. En invierno, casi toda la cuenca muestra algún nivel de humedad, mientras que en verano se revela dónde reside la humedad o se realiza el riego

Figura 10. *Zona de interés verano 2023, en amarillo se demarca parte de zonas afectadas por incendios desde 1973 a la fecha. Color rojo indica presencia de vegetación se observan que solo quedan restos de bosques nativos, más agricultura (Sentinel)*



Fuente: elaboración propia con información de [Copernicus Sentinel-2](#)

Figura 11. Estrés de humedad verano 2017 (lo más oscuro indica presencia de humedad alta)

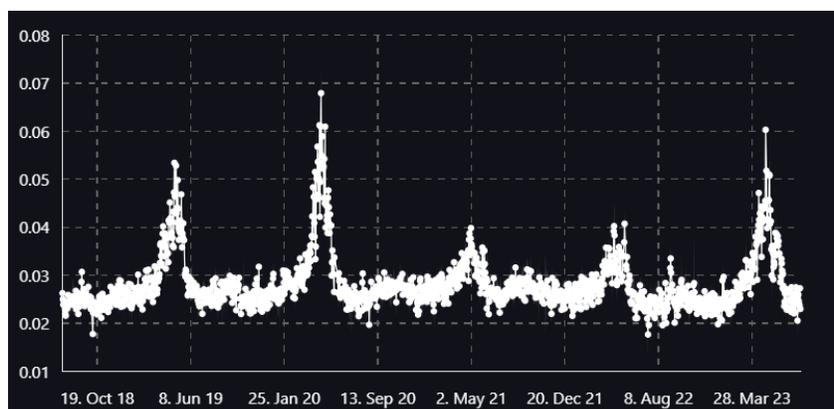


Fuente: elaboración propia con información de [Copernicus Sentinel-2](#)

También se revisó la situación reciente de incendios en la zona de estudio, posiblemente asociado a la quema de siembras en época de verano. Ya desde 1973, con imágenes de Landsat, se pueden visualizar cambios significativos, y con Sentinel se puede comprobar lo más reciente para identificar algunos patrones de incendios antrópicos que se repiten en las mismas zonas, especialmente en la zona sur.

Se obtuvo el monóxido de carbono (CO) de la zona de interés, este es uno de los contaminantes principales en las zonas urbanas. Sus fuentes principales son la quema de combustibles fósiles, la combustión de biomasa y la oxidación atmosférica de metano y otros hidrocarburos. Se observan picos altos en 2020 y 2023 lo cual coincide con periodo de pandemia (podría deberse al aumento de leña para cocinar) e incendios ocurridos en zona durante el verano.

Figura 12. Valores de monóxido de Carbono de zona de estudio cerca planta potabilizadora



Fuente: elaboración propia con información de [Copernicus Sentinel-2](#)

La temperatura de la zona se ve impactada por la cobertura de suelo, alcanzando temperaturas superiores a 50°C en ciertos periodos del año. Al identificar que las zonas con cobertura de árboles son importantes para la disminución de sedimentos, retención de agua para infiltración, así como la disminución de temperatura (como lo afirma Pizarro et al. (2022) y se corrobora en esta investigación con sensores remotos e índices), y considerando que una de las acciones más promovidas son las campañas de reforestación, se analizó la campaña de reforestación del MARN (2017) realizada en 2017 y 2018. Según el reporte generado, la zona de interés de esta investigación estaba incluida como una de alta prioridad, pero actualmente no se observa que haya tenido mayores cambios o impactos en la cobertura boscosa. Al revisar las noticias de esas fechas (Boletín Informativo Secretaría de Gobernabilidad de la Presidencia, 2018), se observa que se enfocaron en espacios públicos, Áreas Naturales Protegidas (ANP) y sectores de cooperativas.

Si analizamos el porcentaje de Áreas Naturales Protegidas (ANP) en el país, estas corresponden a un área mínima, siendo mayormente dispersas y aisladas. El hecho de que gran parte del territorio tenga un propietario y un uso definido (donde el cambio de bosque a otros usos de suelo, legal o ilegalmente, puede ocurrir, como se ha observado en la cuenca y la zona de interés) dificulta la recuperación del ciclo hidrológico. Zonas de gran importancia, donde anteriormente había bosques que ayudaban a retener e infiltrar agua, así como a evitar la erosión y los

movimientos de ladera, continúan en procesos de degradación. Dado que estas áreas son propiedades privadas con usos específicos, se requiere un esfuerzo nacional para recuperar y pagar por servicios ambientales en estas zonas cruciales para nuestra supervivencia. Es necesario reforestar, darles seguimiento y monitorearlas. Esto podría hacerse de manera voluntaria por parte de los propietarios, aunque es probable que estos casos sean escasos.

De hacerse campañas de reforestación lo importante es identificar zonas que tienen que recuperarse por sus servicios ambientales para el agua/ecosistema como se hizo en el 2017 (MARN, 2017) pero que se limitó a espacios públicos o ANP o sectores de cooperativas y que puede ser que se quede corto en otras zonas que se deberían de recuperar. El reto es de como incidir en los dueños de las tierras para que al menos un porcentaje de estas puedan recuperarse a bosques y si estamos hablando de grandes áreas con lotes pequeños con diferentes dueños puede que sea más complicado poder incidir.

La prioridad del país debe centrarse en aumentar el número y la superficie de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) en El Salvador. Estas áreas deben ubicarse en zonas clave que faciliten la infiltración del agua y la recarga de acuíferos, lo cual a su vez asegura el caudal de ríos, pozos y manantiales. Además, la expansión de las ANP ayudará a prevenir la erosión, los deslizamientos y las inundaciones, siendo fundamental para enfrentar los desafíos del cambio climático.

Se concluye que tanto en la cuenca como en la zona de interés han ocurrido cambios significativos en el uso del suelo, caracterizados por la pérdida de bosques y áreas naturales debido a incendios, urbanización y actividades agrícolas intensivas, cuya evolución también se ha observado. Estos cambios son fundamentales para comprender la problemática del aumento de sedimentos en los ríos, lo cual dificulta y encarece el proceso de potabilización del agua. Además, se identifican zonas de recarga acuífera que podrían verse afectadas por la pérdida de bosques. El uso de sensores remotos se muestra como una metodología rápida y efectiva para identificar estas zonas que requieren un estudio detallado, dada su importancia crítica para la sostenibilidad del recurso hídrico.

La zona de estudio seleccionada se considera representativa de una región afectada por actividades humanas y otra área que aún conserva remanentes de bosques sin alterar. Esto evidencia la presencia de humedad permanente incluso en verano. Originalmente, cuando la zona estaba cubierta de bosques, existían más recursos hídricos y menos sedimentos en el río Lempa.

Es importante identificar la fuente de sedimentos principales por procesos de erosión o deslizamientos y actividades antrópicas (agricultura y urbanización) para controlar la turbidez del río Lempa y ayudar que no se tengan problemas en la potabilización.

En esta investigación se han identificado zonas que deben de estudiarse con más profundidad y tratar de recuperar y proteger, de ser posible transformarlas a Áreas Naturales Protegidas (ANP) de manera que ayuden en mitigación cambio climático, mejoramiento de recarga acuífera, producción de oxígeno, purificación del aire, formación de suelos fértiles, evitar la erosión y disminución de temperatura superficial.

4.3. Resultados del componente “Nuevos tipos de contaminación y posibilidades de remediación”

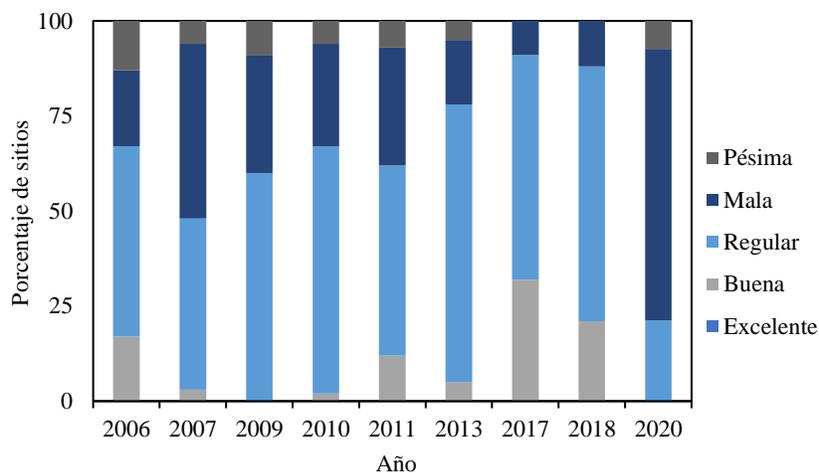
Por: V. Martínez, D. Lee, F. Bautista, A. Fuentes, M. López, G. Valencia, J. Salinas, O. Luserra, I. Alyami, D. Quanrud, R. Arnold, E. Sáez

Desde el 2006, el MARN ha realizado un monitoreo permanente en 121-123 sitios de muestreo ubicados en 55 ríos de todo el país. Durante este periodo, se han publicado cerca de 11 informes que recopilan las características de estos ríos en función de los parámetros tradicionales de pH, temperatura, coliformes fecales, demanda de oxígeno y contenido de fósforo y nitrógeno, entre otros. Además, muchas instituciones como la UCA, PRISMA, UES y UTEC han documentado el estado de la calidad del agua de humedales de gran importancia para el territorio, y se sabe que el MARN dispone de amplia documentación previa en este tema. A pesar de la información recolectada, no se ha realizado una sistematización que permita comprender integralmente la calidad del agua y cómo su deterioro está relacionado con las actividades humanas en El Salvador. Por tanto, se consideró que recopilar más información experimental sobre la calidad del agua en estos sitios sería redundante. En su lugar, se generaría un mayor impacto si este componente de la investigación se enfocara en analizar en profundidad todos los datos generados, estableciendo líneas de acción contundentes para abordar la degradación en los sitios identificados.

Como resultado de este enfoque, se pudo realizar una evaluación temporal del comportamiento de la calidad del agua de los ríos e identificar las zonas con mayor degradación. Los resultados, presentados en el Gráfico 9 y la Figura 13, muestran los valores promedio del Índice de Calidad del Agua (ICA) desde 2016 y el mapa interpolado de 2020, facilitando la localización de las áreas dentro de la región hidrográfica del Río Lempa donde se concentra el deterioro más significativo. En ambos casos, el ICA refleja una evaluación integral de la calidad del agua basada en sus características físicas, químicas y microbiológicas. Así, los valores más altos (81-100) indican una excelente calidad del agua, mientras que los valores más bajos (0-25) señalan una calidad deficiente del cuerpo de agua analizado.

Como se observa en el Gráfico 9, ninguno de los sitios estudiados entre 2006 y 2020 alcanzó una calidad de agua categorizada como "excelente". Esto indica que ninguno de los ríos proporciona condiciones óptimas para el desarrollo de la vida acuática. Los datos también revelan que, históricamente, la calidad del agua ha oscilado principalmente entre las categorías de "regular" y "mala". Estas dos categorías agrupan aproximadamente 102 de los 122 sitios analizados durante ese período. Desde 2006, solo 13 sitios han sido clasificados como de "buena" calidad, mientras que 102 han mostrado una calidad "regular" o "mala", y 7 han sido clasificados como "pésimos". Aunque los informes del MARN muestran algunas variaciones en la ubicación de los puntos de monitoreo, todos coinciden en que casi la mitad de ellos se encuentran dentro de la cuenca del río Lempa, la más extensa del país. Según datos del informe de 2006, el río Lempa "contribuye con el 72% del recurso hídrico total de El Salvador y abastece al 60% de la población del país" (Esquivel, 2007). Además, tanto las aguas subterráneas como las superficiales presentes en su cuenca son vitales para la mayoría de la población. Por lo tanto, los datos presentados en la Figura 13 reflejan un deterioro significativo en la fuente de agua más crucial para todo el territorio.

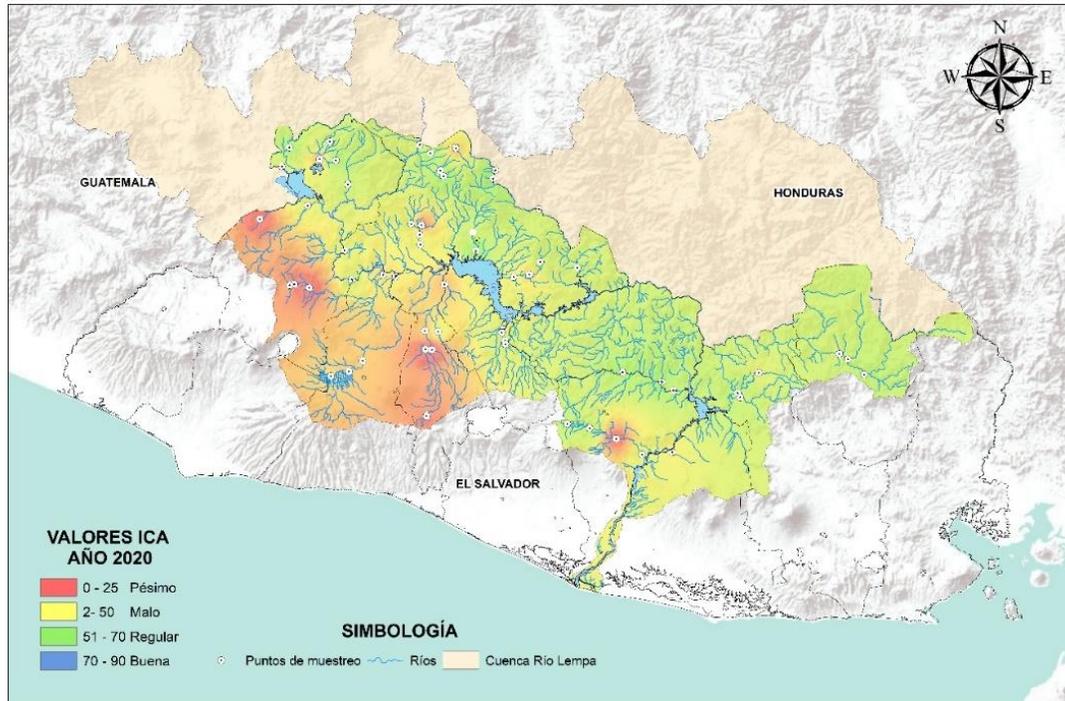
Gráfico 9. Variación temporal del ICA



Fuente: elaboración propia

Por su parte, la representación gráfica de la Figura 13 constituye una imagen del comportamiento del ICA en la región hidrográfica del Río Lempa que es representativa solo para el año en que fue efectuado el muestreo. A pesar de que puedan hacerse comparaciones entre cada año con el resto de los datos, es difícil establecer una tendencia debido a que la recolección del agua fue realizada en distintas estaciones (lluviosa o seca) y no hubo constancia en las condiciones climatológicas en los 17 años del estudio. Más allá de un resultado cuantitativo, este mapa pretende ser un instrumento cualitativo que facilite el acceso y la comprensión del estado actual de la calidad del agua.

Figura 13. Valores ICA correspondientes a la Región Hidrográfica Lempa para el año 2020



Fuente: elaboración propia

Por otro lado, en la evolución histórica del tratamiento de aguas residuales, la medición de parámetros tradicionales empleados para calcular el ICA ha facilitado el diseño de tecnologías capaces de reducir significativamente la contaminación. No obstante, es importante entender que muchos de estos parámetros no son en sí mismos "contaminantes" o "especies químicas" específicas que afecten la calidad del agua, sino que funcionan como indicadores sobre los cuales se han establecido ciertos criterios de calidad.

En los últimos cien años, los avances en las investigaciones sobre calidad del agua han revelado que los criterios tradicionales pueden limitar la evaluación de si una muestra de agua tiene una calidad "buena" o "mala". Por ejemplo, en el Reino Unido se descubrió que, aunque generalmente se categorizaba el agua de sus ríos como "buena", existía un problema significativo de mutaciones genéticas en los órganos reproductivos de ciertas especies de peces, lo que podría reducir drásticamente su población. Tras un exhaustivo estudio de la composición del agua en los ríos afectados, se determinó que este fenómeno era causado por la presencia de hormonas procedentes de las descargas de aguas residuales tratadas y no tratadas que ingresaban a los ecosistemas acuáticos. De igual manera, otros países como Estados Unidos, España, Grecia, Argentina, Paquistán, China, Corea del Sur y Brasil han documentado impactos negativos provocados por la presencia de químicos similares en el agua, los cuales abarcan mutaciones genéticas en los organismos vivos, aumento de casos en enfermedades renales crónicas, bioacumulación, resistencia a los antibióticos y una posible correlación con casos de cáncer porque muchos de los químicos detectados son cancerígenos, entre otros factores de potencial que están despertando sospechas y que se encuentran bajo estudio.

Debido a los elevados reportes sobre la presencia de estos contaminantes en el agua de diferentes partes del mundo, la comunidad científica los ha denominado globalmente como

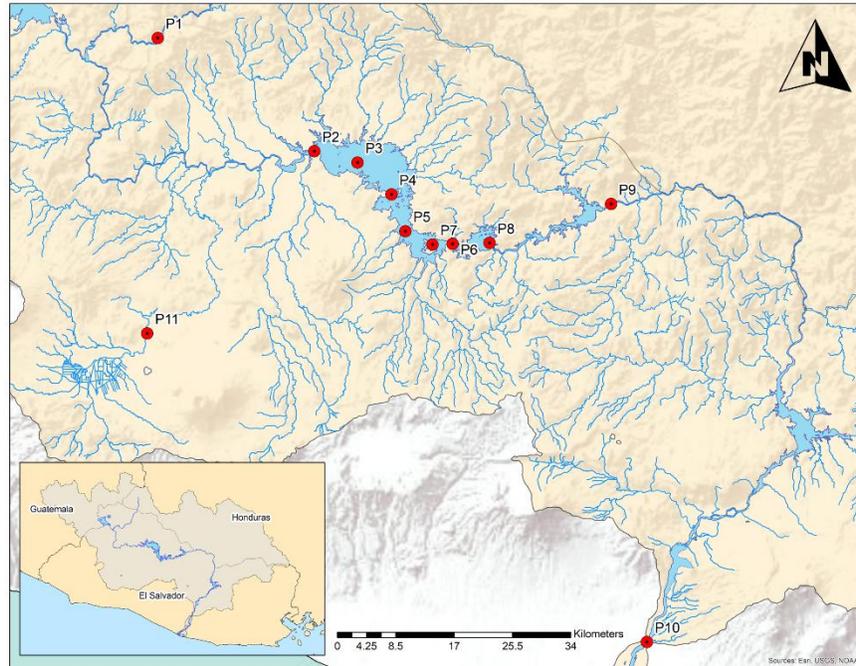
“contaminantes orgánicos emergentes”, o “micro contaminantes”. Aunque sus concentraciones en el agua son muy pequeñas y a menudo indetectables por equipos de medición básicos, se reconoce que representan un grave peligro para toda forma de vida. Este grupo está en constante expansión e incluye farmacéuticos (antibióticos, antidepresivos, analgésicos, etc.), pesticidas, productos de cuidado personal (presentes en jabones, cremas, champús, protectores solares, artículos de limpieza del hogar, etc.), químicos de uso común (azúcares artificiales, cafeína, etc.) y químicos comerciales. A la fecha, muchos de estos contaminantes han sido detectados en fuentes de agua potable, lo que sugiere que muchas poblaciones los consumen a través del agua del grifo sin ser conscientes de ello. Identificar el origen exacto de esta contaminación es una tarea compleja debido a la amplia variedad de sustancias en la lista. No obstante, se han identificado los siguientes factores de incidencia:

- Descargas de aguas residuales tratadas y sin tratar a los ríos: A pesar de que el agua sea tratada, se ha encontrado que los sistemas tradicionales de tratamiento no logran remover efectivamente estos contaminantes. En muchos casos, las eficiencias de remoción ni siquiera llegan al 20% (es decir, se descargan al ambiente 80 de cada 100).

- Metabolización incompleta: En el caso de los farmacéuticos, por ejemplo, el organismo humano no es capaz de metabolizar o asimilar completamente las medicinas que ingerimos.

En 2014 y 2017, se reportó indirectamente la presencia de pesticidas en la zona costera del país, estableciéndose una correlación significativa con casos de enfermedades renales crónicas en las zonas de estudio. Para profundizar sobre la presencia de contaminantes emergentes en los cuerpos de agua naturales de El Salvador, se optó por analizar muestras del Río Lempa, incluyendo una distribución bastante fina en el Embalse Cerrón Grande, y en el Río Sucio. Por lo tanto, se recolectaron muestras de agua en los puntos indicados en la Figura 14. En este sentido, el punto P1 se ubica en la cuenca alta del Río Lempa, cerca de Santa Rosa Guachipilín; el punto P2 fue tomado desde el Puente de Colima, después de la confluencia de los ríos Lempa y Acelhuate; los puntos P3 a P8 fueron seleccionados siguiendo el flujo del agua en el Embalse Cerrón Grande, incluyendo la entrada del Río Lempa en P3 y la zona cercana a la represa en P8; el punto P9 corresponde al Puente Nombre de Jesús; el punto P10 al Puente de Oro; y solo el punto P11 corresponde al Río Sucio, cerca del Puente Joya de Cerén.

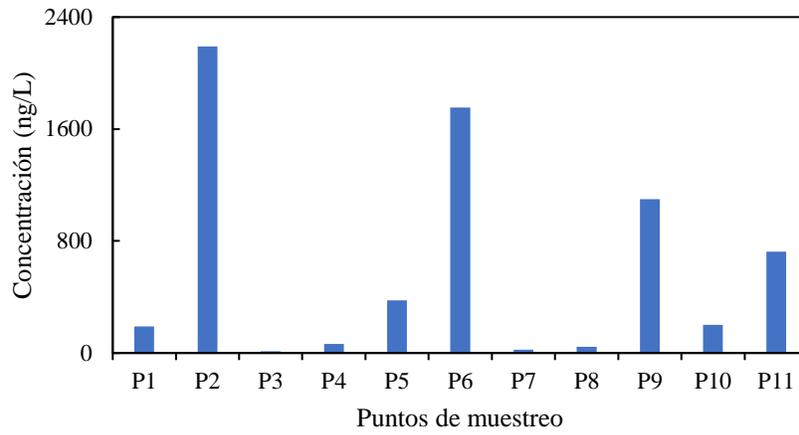
Figura 14. *Puntos seleccionados para la evaluación de contaminantes emergentes*



Fuente: elaboración propia

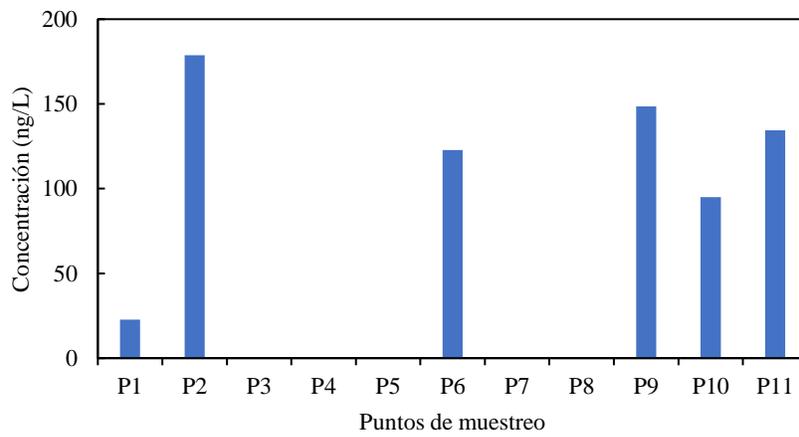
La evaluación preliminar de la presencia de contaminantes emergentes en aguas salvadoreñas fue realizada con el apoyo de una universidad estadounidense, lo cual permitió detectar concentraciones en el orden de los ng/L para 13 contaminantes. Aunque los niveles encontrados son bajos, su presencia es preocupante debido a los desconocidos impactos que podrían tener en la naturaleza y en los seres humanos. Los gráficos 10 al 12 muestran los resultados de las especies que presentaron concentraciones más elevadas. Los sitios evaluados están identificados de acuerdo a la nomenclatura indicada en la Figura 14.

Gráfico 10. *Concentración de cafeína en los puntos de muestreo*



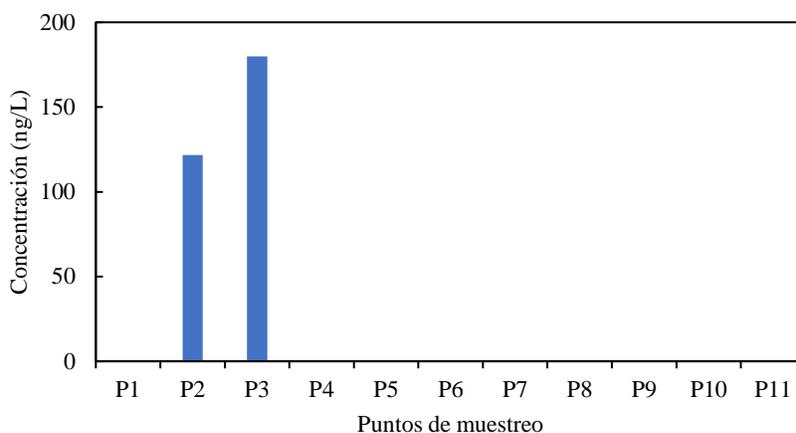
Fuente: elaboración propia

Gráfico 11. Concentración de atenolol en los puntos de muestreo



Fuente: elaboración propia

Gráfico 12. Concentración de ibuprofeno en los puntos de muestreo



Fuente: elaboración propia

Para evaluar si existen posibilidades de remediar este tipo de contaminación de forma natural, se examinó la ocurrencia de procesos químicos inducidos por la luz que, desencadenados por la presencia de contaminación y oxígeno disuelto en el agua dos condiciones que se cumplen fácilmente en los cuerpos de agua salvadoreños), podrían llegar a conformar, a largo plazo, una nueva tecnología con el potencial de degradar contaminantes emergentes. En la exploración de este componente, fue posible determinar que las aguas estudiadas en los puntos P3-P11 tienen la capacidad de producir oxígeno singlete, un potente oxidante que ha sido ampliamente documentado a nivel internacional por su rol en los mecanismos de eliminación de microcontaminantes. Debido a la formación de este compuesto, se obtuvo un porcentaje de remoción máximo de 15% en uno de los sitios de estudio.

Finalmente, se hizo una revisión de la cantidad y el estado de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales que se encuentran operando actualmente en el país. Para ello, se utilizaron los datos de una consulta ciudadana realizada al MARN en 2020 y la información del “Visor de Aguas Residuales de El Salvador”, un sitio web habilitado por el MARN en 2023 (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2023). Más allá de los resultados cuantitativos, el principal hallazgo es que aún persisten inconsistencias en las fuentes de información, por lo que es difícil estimar un valor concreto del porcentaje de aguas residuales que reciben tratamiento. A pesar de ello, puede inferirse que los altos niveles de contaminación de los ríos, su deterioro y la presencia de contaminantes emergentes están relacionados con la descarga de aguas residuales que no han recibido ningún tipo de tratamiento. Hasta 2010, se estimaba que el 14% del agua residual generada a nivel nacional era tratada antes de ser descargada al medio ambiente (Sánchez et al., 2018). Para cada fuente de información utilizada en este estudio, los Gráficos 13 y 14 presentan los resultados más relevantes, referidos a la cantidad de plantas de tratamiento que se encuentran instaladas en el país y las tecnologías más ampliamente utilizadas. En el caso del Gráfico 14, se presenta la distribución porcentual por departamento de un total de 143 plantas de tratamiento de aguas residuales ordinarias. Para las plantas de tratamiento de aguas especiales no fue posible obtener una distribución departamental ni los tipos de tecnología más utilizados, pero el Visor indica que existen 73 plantas en operación.

Gráfico 13. Estimación de la cantidad de plantas de tratamiento de aguas residuales que existían en el país entre el 2012 y 2019 (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020)

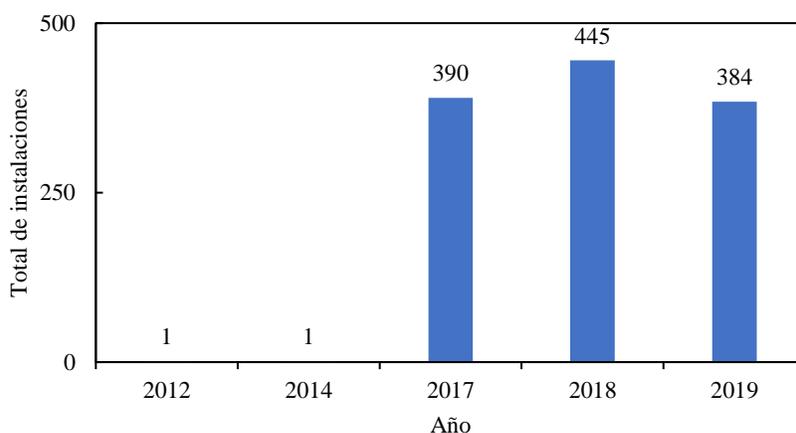
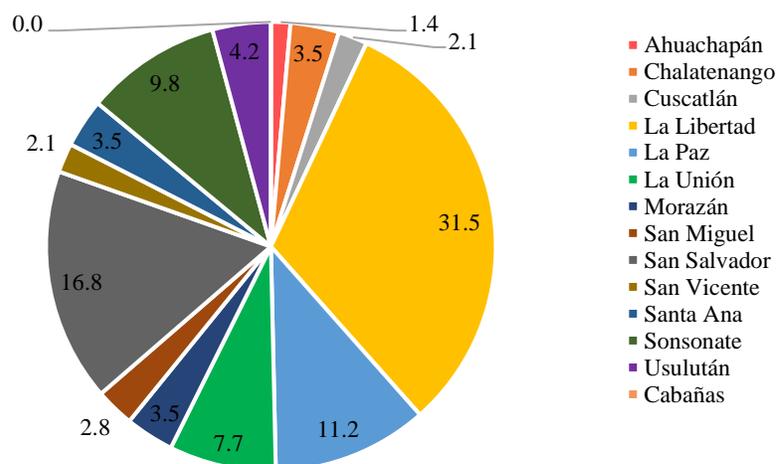


Gráfico 14. Distribución departamental de las plantas de tratamiento de aguas residuales ordinarias



Elaboración propia hecha a partir de los datos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2023).

Además, el Visor indica que, a la fecha, se contabilizan 950 vertidos de aguas residuales especiales, mixtas y ordinarias que son descargados al ambiente sin ningún tipo de tratamiento. Aunque no fue posible recopilar información adicional sobre las características de estos vertidos (parámetros de calidad o cantidad), su distribución por tipo y la ubicación de los cuerpos receptores, la Figura 15 muestra su distribución. Como puede observarse, la mayoría de ellos se concentra en la zona central del país, lo que coincide con el territorio más densamente poblado y los mayores parques industriales del país.

Figura 15. Ubicación de los vertidos que se descargan sin ningún tipo de tratamiento



Elaboración propia hecha a partir de los datos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2023).

Aunque todos estos aportes fueron desarrollados individualmente, conjuntamente contribuyen a comprender el nivel y los tipos de contaminación de los ríos y las razones que podrían estar causando este deterioro. A nivel social, esta información es importante porque es necesario que los salvadoreños y salvadoreñas tengan conocimiento de la calidad del agua de sus recursos hídricos, de modo que puedan reclamar su derecho humano a agua de calidad. A nivel político, los datos presentados también son relevantes porque pueden contribuir a la toma de decisiones focalizadas y al impulso de esfuerzos de investigación que profundicen sobre el estado de los recursos hídricos. De esta manera, podrán diseñarse mejores planes y estrategias de remediación.

4.4. Resultados del componente “Vías judiciales y administrativas para la protección del derecho al agua y su efectividad”

Por: I. Gómez y H. Candray

En El Salvador, el reconocimiento al derecho humano al agua se ha dado de manera progresiva por diversos actos de los órganos del Estado en la realización de sus funciones constitucionales. En 2010, la delegación de El Salvador votó a favor de la Resolución No. 64/292 de la Asamblea General de las Naciones Unidas, sumándose a otros 121 Estados miembros de la ONU en el reconocimiento del derecho humano al agua y saneamiento (Organización de las Naciones Unidas, 2010). Años después, la Sala de lo Constitucional de la Corte Suprema de Justicia

incorporó el derecho humano al agua como derecho fundamental tácito en la Norma Suprema, encontrando su asidero normativo en el derecho al medio ambiente (art. 117 Cn.) - en su facultad de goce al medio ambiente y recursos naturales - en relación con los derechos a la vida (art. 2 inc. 1° Cn.) y la salud (art. 65 inc. 1° Cn.) (Sala de lo Constitucional, 2014, Amparo Ref. 513-2012). Recientemente, el derecho se ha reconocido en la Ley General de Recursos Hídricos (LGRH), que se encuentra vigente desde el año 2022 (Decreto Legislativo No. 253, 2021).

Tanto el derecho internacional de los derechos humanos, la jurisprudencia constitucional, como las normas secundarias de El Salvador, reconocen que el derecho humano al agua implica las facultades de disponibilidad, accesibilidad física, accesibilidad económica, calidad y aceptabilidad del agua.

Sobre la disponibilidad del agua, la Sala de lo Constitucional (2014) indicó que esta se refiere a que su abastecimiento debe ser continua, en cantidad suficiente para el uso personal y doméstico; asimismo “La cantidad disponible de agua debe ser acorde con las necesidades especiales de algunas personas, derivadas de sus condiciones de salud, el clima en el que viven y las condiciones de trabajo, entre otro” (Amparo No. 513-2012, p. 9).

En El Salvador, es conocido que no todas las personas poseen acceso continuo al agua. Según la encuesta realizada por el Instituto Universitario de Opinión Pública (IUDOP) en 2020, de las personas que recibían agua por medio de cañería o cantera, solo el 58.6% manifestaron recibir agua los 7 días de la semana y solo el 45.6% de los encuestados manifestaron contar con servicio las 24 horas del día (IUDOP, 2020, pp. 12-13). En 2023, se realizó una encuesta sobre el acceso al agua de calidad en el marco del Programa Estratégico de Investigación —en adelante, “la encuesta”— en la cual se reflejaron resultados similares. Solo el 58.2% de los encuestados que reciben agua por cañería tiene servicio 7 días a la semana, y el 45% las 24 horas del día (IUDOP, 2023, p. 9). Es decir, no todas las personas tienen acceso continuo al agua, y, por ende, inicialmente se puede resaltar que existe un alto porcentaje de personas afectadas en su derecho al agua por falta de disponibilidad del vital líquido.

En cuanto a la accesibilidad, esta se divide en física y económica, denominada también como “asequibilidad”. La primera consiste en “la factibilidad de contar con las instalaciones adecuadas y necesarias para la prestación del servicio de acueducto, la obligación de remover cualquier barrera física [que] impida el acceso al agua” (Sala de lo Constitucional, 2014, Amparo No. 513-2012, p. 10). La segunda se refiere a la obligación de remover cualquier barrera económica que impida el acceso al agua, especialmente de los más pobres y los grupos históricamente marginados (Sala de lo Constitucional, 2014, Amparo No. 513-2012, p. 10). De modo que los costos y cargos directos e indirectos asociados con el abastecimiento de agua deben ser asequibles y no deben comprometer ni poner en peligro el ejercicio de otros derechos (Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales [DESC], 2003, p. 6).

La situación del acceso físico al agua se esclarece al considerar las dos encuestas a las que se ha hecho referencia en párrafos previos. La mayoría de las personas encuestadas, tanto en 2020 como en 2023, declararon tener cañería propia dentro de la vivienda o en su propiedad (en 2020, se trataba del 88.4%; y, en 2023, el 84.5%); pero existe un número no insignificante de personas, el 11.8% y 15.5% respectivamente, que acceden físicamente al agua de otra forma (IUDOP, 2020, p. 4; y 2023, p. 4). Además, los resultados de las encuestas muestran que solo el 65.9% de las personas en el área rural tienen servicio de agua por cañería propia frente al 90% en el área urbana (IUDOP, 2023, p. 4). Es decir, se identifica una desigualdad en el acceso.

En cuanto a la asequibilidad, en una comparativa entre 2020 y 2023, el IUDOP (2023) ha informado una realidad actual en desmejora. El valor promedio del servicio mensual ha pasado

de ser \$7.07 en el año 2020 a \$7.28 en el año 2023, y se ha pasado de registrar un promedio de 6.35 días a la semana con servicio de agua en 2020 a 4.25 días en 2023 (p. 12). No obstante, con el aumento del precio, la cantidad de horas de prestación del servicio se ha reducido. Se pasó de brindar un promedio de 394.07 horas mensuales de servicio en 2020 a solo 166.79 horas mensuales en el año 2023 (IUDOP, 2023, p. 12). Es decir, hay mayor costo por menor número de horas de abastecimiento.

Finalmente, en lo que respecta a la calidad, la Sala de lo Constitucional (2014) estableció dos criterios: la salubridad y su aceptabilidad. La primera se refiere a que el agua “no debe contener microorganismos ni sustancias químicas o de otra naturaleza que constituyan una amenaza para la salud de las personas.” (Sala de lo Constitucional, 2014, Amparo 513-2012, p. 10). El criterio de aceptabilidad tiene que ver con que el agua “debe tener un color, olor y sabor aceptables para el uso personal y doméstico” (Sala de lo Constitucional, 2014, Amparo No. 513-2012, p. 10).

Para mediados del 2023, la información de monitoreo de aguas que se encuentra disponible en el Sistema de Información Hidrológica - SIHI - muestra 120 sitios de los cuales 0% tienen calidad excelente o buena; 17.5% de los sitios tienen calidad regular; 73.3% mala; y 9.2% pésima (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales [MARN], SIHI, 2023). En cuanto a lagos, lagunas y embalses se refiere, la mayoría de ellos tiene un estado hipereutrófico, lo cual significa que son ricos en nutrientes y sostienen la vida de algas y plantas, pero no son aptos para consumo humano (MARN, SIHI, 2023).

De conformidad con la información mencionada en los párrafos previos, así como los hallazgos compartidos sobre la oferta y utilización del agua en El Salvador, las condiciones de las cuencas y la contaminación del agua, temas que ocuparon a los otros componentes de la investigación, se pueden prever afectaciones al derecho humano al agua. Frente a esta realidad, se vuelve importante determinar los mecanismos de protección o reparación del derecho al agua que poseen los y las habitantes de El Salvador.

En el orden constitucional salvadoreño, la protección jurisdiccional y no jurisdiccional se encuentran consagradas en el artículo 2, inciso primero, parte final (Decreto no. 38, 1983, art. 2 inc. 1°); disposición que ha sido interpretada por la Sala de lo Constitucional (2014), estableciendo que:

(...) el art. 2 de la Cn. consagra una serie de derechos que considera fundamentales para una existencia humana digna, en libertad e igualdad. Ahora bien, para que tales derechos no se reduzcan a un reconocimiento abstracto y tengan posibilidades de eficacia, es imperioso el reconocimiento de una garantía que posibilite su realización efectiva y pronta. En virtud de ello, la Constitución consagra, en el art. 2 inc. 1° parte final, la protección en la conservación y defensa de los derechos de toda persona. El derecho a la protección en la defensa implica -en términos generales- la creación de mecanismos idóneos para la reacción mediata o inmediata ante vulneraciones de los derechos de las personas. (Amparo No. 665-2010, p.6).

En términos similares, se expresó esta Sala con respecto al derecho al agua, al determinar que posee una dimensión subjetiva por la cual “la tutela del derecho -especialmente cuando se trata de agua para el consumo humano- puede ser reclamada judicialmente por vulneraciones atribuidas al Estado o a los particulares” (Sala de lo Constitucional, 2014, Amparo No. 513-2012, p. 10).

De acuerdo con lo expuesto, queda claro que jurídicamente es una obligación estatal facilitar a las personas recursos para solicitar la defensa y conservación de sus derechos. Sin embargo,

no basta con la existencia de recursos, estos deben ser efectivos (Comité de Derechos Humanos, 2004, p. 7). Para determinar la efectividad de los mecanismos jurisdiccionales y no jurisdiccionales identificados en esta investigación, hemos propuesto efectuar un análisis considerando la competencia, sencillez, rapidez e idoneidad de cada uno de ellos.

En cuanto a la competencia que deben tener las autoridades ante las cuales se interpone el recurso, en el ámbito de los derechos económicos, sociales y culturales, como el acceso al agua, el Derecho Internacional de Derechos Humanos (DIDH) ha establecido normas claras respecto a los procedimientos y la competencia de las autoridades que tramitan reclamaciones sobre vulneraciones a estos derechos (Comisión Interamericana de Derechos Humanos, 2007, párr. 97).

En cuanto a la sencillez, se refiere a las formalidades requeridas para presentar el reclamo, asegurando que estas no se conviertan en una barrera para su presentación. Respecto a la rapidez, se debe considerar si el procedimiento o proceso se realiza sin dilaciones indebidas (Corte Interamericana de Derechos Humanos [CorteIDH], 2004, Caso Herrera Ulloa vs. Costa Rica, párr. 161 y 164; CorteIDH, 2009, Caso Barreto Leiva vs. Venezuela, párr. 90; y CorteIDH, 2014, Caso del Pueblo Indígena Mapuche vs. Chile, párr. 270).

Por último, se debe considerar si el pronunciamiento final puede proveer lo necesario para remediar el derecho humano violado o afectado; es decir, si el mismo es idóneo. Para la CorteIDH (2010) ello implica que el recurso:

[de] resultados o respuestas a las violaciones de derechos reconocidos, ya sea en la Convención, la Constitución o la ley (...). [I]mplica que el recurso sea idóneo para combatir la violación y que sea efectiva su aplicación por la autoridad competente. [N]o pueden considerarse efectivos aquellos recursos que, por las condiciones generales del país o incluso por las circunstancias particulares de un caso dado, resulten ilusorios” (CorteIDH, Comunidad Indígena Xákmok Kásek Vs. Paraguay, párr 140).

Como previamente se mencionó, estos requisitos nos servirán como marco analítico para revisar la efectividad de los mecanismos administrativos y judiciales existentes en El Salvador para reclamar afecciones al derecho al agua.

Así, se abordará el análisis de dichos mecanismos, comenzando por aquellos que pueden ser interpuestos ante instancias administrativas para obtener protección no jurisdiccional. En la investigación se identificaron ocho autoridades administrativas competentes para conocer reclamaciones por vulneraciones al derecho al agua: la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados-ANDA, las Alcaldías, la Defensoría del Consumidor, la Procuraduría para la Defensa de los Derechos Humanos-PDDH, la Autoridad Salvadoreña del Agua-ASA, el Ministerio de Agricultura y Ganadería-MAG, el Ministerio de Salud-MINSAL y el MARN. En sede jurisdiccional, es decir, ante el órgano judicial, pueden iniciarse procesos contenciosos administrativos, penales, medioambientales y constitucionales para solicitar la defensa de una o más facultades del derecho al agua.

Con el objetivo de sistematizar las vías mencionadas anteriormente, se elaboró la siguiente tabla. En ella se identifican las autoridades administrativas y judiciales competentes para conocer

reclamaciones sobre el derecho al agua, considerando las facultades que este derecho humano otorga, como se ha desarrollado en párrafos anteriores.

Tabla 3. Mecanismos de protección administrativos y judiciales del derecho humano al agua, por facultades

	Vía / Mecanismo	Disponibilidad	Accesibilidad	Asequibilidad	Calidad y aceptabilidad
Administrativas	ASA	○	○	○	○
	DC / TSDC	○	○	○	○
	ANDA	○	○	○	○
	ALCALDIAS	○	○	○	○
	PDDH	○	○	○	○
	MARN	✗	✗	✗	○
	MINSAL	✗	✗	✗	○
	MAG	○	✗	✗	✗
Judiciales	Constitucional	○	○	○	○
	Contencioso Administrativo	○	○	○	○
	Medioambiental	○	✗	✗	○
	Penal	✗	○	✗	○

Nota: si por medio del mecanismo indicado en la columna de la izquierda se puede reclamar la facultad del agua escrita en el encabezado, la celda correspondiente contendrá un círculo de color verde; si no, en la celda se consigna una equis de color rojo.

Fuente: Elaboración propia.

En sede administrativa, ANDA, las alcaldías, la Defensoría del Consumidor, PDDH y ASA son competentes para conocer de reclamaciones al derecho al agua en todas sus facultades; es decir, disponibilidad, accesibilidad y calidad (Decreto no. 341, 1961, art. 3; Decreto Legislativo No. 274, 1986, art. 6-A; Decreto Legislativo No. 776, 2005, art. 2; Decreto No. 38, 1983, art. 194.1; Decreto Legislativo No. 253, 2022, art. 10, respectivamente). Por su parte, el MAG permite al denunciante efectuar reclamaciones en torno a la facultad de disponibilidad del agua con un alcance limitado, en tanto las denuncias que se pueden interponer ante esta instancia se refieren al uso o aprovechamiento incorrecto del recurso hídrico para fines de riego (Decreto Legislativo No. 153, 1979, art. 1 inc. 2). Por otra parte, el MINSAL y MARN son vías administrativas en las que se pueden efectuar reclamaciones en torno a posibles vulneraciones a la calidad del agua (Decreto Legislativo no. 955, 1988, art. 56; Decreto Legislativo no. 233, 1998, art. 42, respectivamente).

Del estudio integral de cada vía administrativa se identificó que todas cumplen con el requisito de sencillez, característico de los recursos efectivos, ya que no se exige formalismo para acceder a ellas según las normativas correspondientes. Las denuncias pueden presentarse de forma presencial o a distancia, incluso mediante llamadas telefónicas o llenando formularios de denuncia en línea a través de una página web. En cuanto a la rapidez, se concluyó que la

efectividad del recurso debe analizarse caso por caso, dado que los procesos administrativos podrían prolongarse durante años según las resoluciones consultadas en cada vía. No obstante, en instancias como la promovida ante la Defensoría del Consumidor, la ley faculta para dictar medidas cautelares incluso antes de iniciar el respectivo procedimiento (Decreto Legislativo no. 776, 2005, arts. 99 y 100). Es así como dicha instancia, por medio de este recurso, puede efectivamente brindar suficiente "conservación" del derecho. Es decir, si bien la resolución final puede tardar más de un año en dictarse, por medio de las medidas cautelares se puede proteger el derecho.

Bajo esta perspectiva de conservación del derecho, se identificaron otras instancias administrativas facultadas para dictar medidas preventivas o cautelares: el MARN y la PDDH (Decreto Legislativo no. 233, 1998, art. 84; Decreto no. 38, 1983, art. 194, respectivamente). Sin embargo, su idoneidad se ve limitada a esto, ya que ninguna de ellas puede asegurar finalmente una reparación al derecho al agua que haya sido vulnerado. Esta afirmación se basa en que el MARN no tiene competencia para ordenar la ejecución forzosa de las medidas decretadas. En caso de incumplimiento, deberá certificar el expediente al Juez Ambiental para iniciar la vía jurisdiccional correspondiente (Decreto Legislativo no. 233, 1998, art. 102-C). Por su parte, la PDDH no está facultada para ordenar reparaciones al derecho humano vulnerado, sino que sus competencias se limitan a exhortar a las autoridades denunciadas a actuar en respeto a los derechos humanos en juego, como el derecho al agua, o bien a iniciar procesos judiciales para la protección de los Derechos Humanos (Decreto Legislativo No. 183, 1992, art. 11 ord. 4°).

En esta misma línea, otra vía administrativa que no resulta efectiva para la reparación del derecho al agua es el MINSAL. Considerando precedentes y la normativa aplicable, de encontrarse una afectación a la calidad del agua la resolución del MINSAL consistirá en amonestaciones verbales o escritas y puede ascender a la imposición de multas (Decreto Legislativo no. 955, 1988, art. 287). Sin embargo, este tipo de sanciones en nada influyen en lo que respecta a la reparación del derecho humano al agua vulnerado.

Es importante hacer una mención especial a la vía administrativa ante la ASA, quien desde 2022 funge como ente rector de la gestión integral de los recursos hídricos en El Salvador. Hasta la fecha de presentación de esta investigación, no se tiene registro de ningún precedente significativo sobre la protección que esta autoridad brinda al derecho humano al agua, frente a las denuncias realizadas por los habitantes de la República de El Salvador o procedimientos iniciados de oficio. Conforme a solicitud de información pública presentada en marzo de 2023, el Oficial de Información de la ASA (2023) comunicó que al 03 de marzo de 2023 solamente había una resolución pronunciada por el Tribunal de la ASA en la que se multaba a una persona natural por negar información a los delegados de la ASA. Es decir, no se trataba de una denuncia acerca de la vulneración de una o algunas facultades del derecho al agua, sino más bien el cometimiento de una infracción de las que la LGRH regula. Asimismo, en la resolución de información pública constaba que no había ni una sola denuncia interpuesta por algún habitante de El Salvador (Oficial de Información ASA, 2023).

Continuando con la exposición, se abordan en los siguientes párrafos los recursos judiciales En cuanto al análisis de su efectividad, se comenzará destacando elementos comunes a considerar en términos de sencillez y rapidez. Posteriormente, se analizará la idoneidad de cada uno de ellos.

Los procesos judiciales no son siempre de fácil acceso. Por una parte, la legislación manda la acción del Ministerio Público para dar inicio al proceso penal (Decreto Legislativo No. 733, 2008, art 17 lit. a)). Por otra, exige la comparecencia, por medio de un abogado de la República, en

procesos en los que se reclama responsabilidad civil por daño ambiental (Decreto Legislativo No. 733, 2008, art 17 lit. a); Decreto Legislativo no. 233, 1998, art. 101; Decreto Legislativo No. 712, 2008, art. 67) así como en el nuevo proceso contencioso administrativo (Decreto Legislativo No. 760, 2017, art. 20).

En aquellos casos donde la representación judicial es obligatoria, necesidad de pagar a un representante legal o la capacidad institucional del Ministerio Público pueden convertirse en barreras para el acceso a la jurisdicción (Decreto no. 38, 1983, art 194 II (2°); Decreto Legislativo No. 837, 2021, art. 3; Decreto Legislativo No. 233, 1998, art. 101; Decreto Legislativo No. 760, 2017, art. 20; Decreto Legislativo No. 712, 2008, art. 75).

En cuanto a su rapidez, consideramos que, al igual que con las vías administrativas, es un análisis que debe realizarse caso por caso. Ni el Derecho Internacional de los Derechos Humanos (DIDH) ni el ordenamiento jurídico interno prevén plazos específicos para determinar la rapidez idónea de un recurso. Sin embargo, es importante tomar en consideración que, a nivel nacional, la Corte Suprema de Justicia ha reconocido la existencia de mora judicial en sus cuatro Salas (CSJ, 2021). En materia medioambiental, específicamente, existen únicamente tres juzgados y una Cámara a nivel nacional (Decreto Legislativo 684, 2014). Ante esta situación, es inevitable que ocurran demoras en la tramitación de los procesos.

Continuando el análisis de efectividad, en lo contencioso-administrativo, el proceso tiene como objetivo controlar la legalidad de las actuaciones y omisiones de la administración pública (Decreto Legislativo No. 760, 2017, art. 1). En ese sentido, actualmente no existe una práctica significativa de que esta vía sea usada de forma individual para la defensa del derecho al agua. Sin embargo, se debe considerar que, conforme a antecedentes jurisprudenciales, la Sala de lo Contencioso-Administrativo ha reconocido el derecho humano al agua, el interés público que recae sobre el servicio de agua (Sentencia de proceso No. 299-2015, 2022, p. 12), y la necesidad de legislar la concesión de explotación privativa del recurso hídrico (vgr., sentencia de proceso No. 471-2016, 2022, pp. 18-19). En vista de esto, puede ser una vía utilizada de forma estratégica para controlar la legalidad del uso y explotación del agua, en consonancia con la Constitución, la LGRH y el DIDH.

La vía penal debe activarse mediante una denuncia ante la Fiscalía General de la República (FGR), ya sea por el delito de contaminación ambiental (Decreto Legislativo No. 1030, 1997, arts. 255, 256 y 257) o por usurpación de aguas (Decreto Legislativo No. 1030, 1997, art. 219-B). Ambos procesos tienen como objetivo la sanción penal, a través de la imposición de penas de prisión, a la persona responsable. Por ello, no consideramos que sean idóneos para la defensa del derecho al agua, aunque podrían resguardar la disponibilidad, salubridad y accesibilidad del agua de forma indirecta.

La competencia medioambiental protege al agua, como un elemento del medio ambiente, por medio de un régimen amplio de responsabilidad civil (Decreto Legislativo No. 233, 1998, arts. 99 y 100; Sala de lo Constitucional, 2011, sentencia de inconstitucionalidad 37-2004; Sala de lo Constitucional, 2014, sentencia de Amparo No. 513-2012; Juzgado Ambiental de Santa Tecla, 2019, medida cautelar MC12-3-19, y Juzgado Ambiental de Santa Tecla, 2019, sentencia PC2-2-18, p. 15). En ese sentido, los procesos de contaminación ambiental devienen en resguardar la salubridad y aceptabilidad del agua, principalmente.

Ante el juez medioambiental pueden solicitarse medidas cautelares (Decreto Legislativo no. 233, 1998, art. 102-C lits. a), b) y c) o un proceso declarativo común de responsabilidad civil por daño ambiental (Decreto Legislativo No. 233, 1998, art. 101). Ambos recursos tienen características

de idoneidad para la defensa del derecho al agua. Las medidas cautelares son de fácil acceso, pudiendo solicitarse incluso sin comparecer ante el juez formalmente (Juzgado Ambiental de Santa Tecla, 2021, MC24-3-20; Decreto Legislativo no. 233, 1998, art. 102-C). Sin embargo, actualmente pueden tomar meses en ser dictadas pues conllevan varios actos de verificación de la situación del recurso hídrico (vgr., las diligencias de medidas cautelares ante el Juzgado Ambiental de Santa Tecla, 2019, MC95-2-18; Juzgado Ambiental de Santa Tecla, 2019; MC23-

2-19; Juzgado Ambiental de Santa Tecla, 2021, MC24-3-20). De otorgarse, es porque se ha determinado el riesgo e inminencia del daño ambiental. Estas tienen una duración indeterminada que depende del riesgo al bien protegido y deben ser proporcionales. Además, pueden ordenar acciones de entes privados y públicos para el resguardo del agua (Decreto Legislativo No. 233, 1998, art. 102-C inc. 4°).

Por otra parte, el proceso declarativo de responsabilidad civil requiere causalidad entre el daño ambiental y el daño al agua, salud o vida de una persona (Juzgado Ambiental de Santa Tecla, 2018, sentencia PC11-2-17, p. 29; y en el mismo sentido la Juzgado Ambiental de Santa Tecla, 2019, sentencia PC2-2-18, p. 15). En la jurisdicción ambiental opera una inversión de la carga de la prueba, la cual recae sobre el demandado. Asimismo, el juez puede ordenar estudios técnicos. Ello resulta beneficioso para el acceso a la justicia, pues así las personas no tienen toda la carga procesal de producir estudios periciales y científicos para demostrar contaminación (Decreto Legislativo No. 233, 1998, art 102-B).

Al decretar la responsabilidad por daño ambiental, el juez competente tiene amplia facultad para ordenar el fin de actividades contaminantes, que se regularicen conforme a normas medioambientales, se repare el daño ambiental, rehabiliten los ecosistemas y se reparen daños personales con nexo causal. Los fondos pagados en responsabilidad civil eran una de las formas de financiar el Fondo Ambiental de El Salvador (FONAES). Estos fondos para la protección y restauración del medio ambiente, a partir de la disolución del FONAES, han pasado a ser patrimonio de la ASA. Dada la novedad del tema, a la fecha de redacción del artículo, por tanto, no es posible verificar si, actualmente, dichos fondos efectivamente sirven para la reparación de daños ambientales y la restauración del recurso hídrico (Decreto Legislativo No. 388, 2022, arts. 2 y 3).

Finalmente exponer respecto de la vía constitucional. El control constitucional debe ser realizado por todos los tribunales, en forma difusa. Corresponderá exclusivamente a la Sala de lo Constitucional el control concentrado de que el ordenamiento jurídico, y los actos del Estado sean conforme al derecho humano al agua (Decreto no. 38, 1983, arts. 183, 185). Especialmente por medio de un proceso de amparo, la Sala de lo Constitucional (2014) ha reconocido que puede defender el derecho al agua en todas sus facultades (Sentencia de Amparo 513-2012, p. 9-10). La idoneidad de la competencia constitucional es indiscutible, pues tanto las medidas cautelares que puede dictar como sus sentencias pueden resguardar, rehabilitar u ordenar la reparación de derechos.

Sin embargo, debe considerarse que la efectividad de la vía constitucional se ve afectada por la falta de rapidez. Por un lado, el requisito de agotamiento de recursos previos es sine qua non de la admisibilidad de pretensiones. Por otro lado, los procesos de amparo ante la misma Sala se han convertido en procesos que duran años. Por ejemplo, en algunos de los procesos iniciados por los afectados por el proyecto urbanístico "Ciudad Valle el Ángel", el tiempo transcurrido entre el agotamiento de la competencia ambiental - incluyendo solicitud de medidas cautelares, rechazo, y apelación - y la competencia constitucional - considerando prevenciones y admisiones

- es de casi 5 años (considérense, los procesos de amparo bajo referencias No. 60-2021, No. 104-2021, No. 119-2021 y No. 333-2021).

De igual forma, afecta a la vía constitucional la subsistencia de criterios jurisprudenciales que no parecen acordes con el orden constitucional, legal y los requisitos sistémicos que devienen del derecho humano al agua. Particularmente, nos referimos a la distinción que la Sala establece entre aguas superficiales y aguas subterráneas o freáticas. Conforme lo expuesto por la Sala de lo Constitucional (2014), las primeras son consideradas de uso público por su finalidad y el uso que de ellas puede hacer la colectividad. Las segundas son de dominio nacional, pero no son de uso público. Esencialmente, esto se debe a que no son accesibles a la población de forma natural, por lo que no pueden usarse ni aprovecharse sin una previa intervención u obra.

Las implicaciones de esta distinción son importantes: Quien adquiera dominio sobre el inmueble (tierra superficial) que se encuentre sobre un depósito o reserva de agua freática tiene, por Derecho constitucional, una facultad subjetiva de su explotación, previa autorización por la autoridad competente (Sala de lo Constitucional, 2014, sentencia de Inconstitucionalidad No. 21-2009, pp. 15-16; y Sala de lo Constitucional, 2022, auto de improcedencia de Inconstitucionalidad No. 78-2019, pp. 4-5)

Esta interpretación coloca la Sala en necesidad de realizar un ejercicio de ponderación para resolver el conflicto entre el derecho de propiedad y explotación privativa de unos, frente al derecho al agua, salud, vida, vivienda digna, y vida en dignidad de otros. Se necesita un ejercicio de equilibrio y determinar cuál debe prevalecer (vgr., Sala de lo Constitucional, 2010, sentencia de Inconstitucionalidad No. 91-2007; y Sala de lo Constitucional, 2013, sentencia de Amparo No. 310-2013).

En este ejercicio de ponderación, consideramos, la Sala debería otorgar suficiente peso al reconocimiento del agua como un derecho fundamental tácito en la Constitución y como derecho humano explícito en la LGRH, al mandato de dar uso prioritario al agua para consumo humano y doméstico (Decreto Legislativo No. 253, 2021, arts. 1,2,4 y 63 lit. a)); y que la propiedad privada, conforme a la Constitución, se encuentra en función social (Decreto No. 38, 1983, Art. 103 inc. 1°).

5. Propuesta de política pública

La guía para estas propuestas se enmarca en el Estado como el principal garante del derecho humano al agua, siendo este el obligado de velar por la conservación y protección del derecho. Por tanto, las propuestas que a continuación se expresan tienen como objetivo que el reconocimiento que el Estado de El Salvador ha efectuado al derecho humano al agua no quede en abstracto, desprovisto de toda efectividad.

1.1. Atención de las desigualdades en el acceso a nivel territorial: en el proceso de reducir las desigualdades en el acceso al agua es necesario proponer estrategias diferenciadas para mejorar las condiciones en las que las diferentes poblaciones acceden al agua. Los resultados demuestran que son las zonas rurales las que tienen condiciones menos favorables para optar por el recurso. Estas estrategias deben ser diseñadas de manera conjunta con las Juntas de Agua y los Sistemas Comunitarios que históricamente han estado a cargo de la provisión de agua en sus territorios, principalmente rurales, y conocen las necesidades de estos. La apuesta por una gestión comunitaria del agua tiene un mayor potencial de garantizar este derecho humano.

En este aspecto, es crucial destacar el rol de la ASA como ente rector de la gestión integral del recurso hídrico a nivel nacional, y de ANDA como el principal proveedor del servicio de agua. Desde noviembre de 2022, existe un acuerdo interinstitucional entre ambas autoridades (ANDA y ASA) para el financiamiento de obras, actividades o proyectos en el servicio de agua y saneamiento. Sin embargo, no basta con establecer normas; es fundamental ejecutar acciones concretas para alcanzar los objetivos establecidos por este instrumento y, en general, por la LGRH. Esto cobra mayor relevancia, sobre todo considerando que, según una encuesta realizada en marzo de 2023, la mayoría de la población (64%) indicó que, desde la entrada en vigor de la LGRH, el acceso al agua en el lugar donde residen sigue siendo el mismo.

1.2. Dirigir fondos públicos a inversiones en infraestructura para el servicio de agua, con el objetivo de mejorar la frecuencia y la calidad del servicio, reducir las pérdidas en la red y ampliar la cobertura, especialmente en las zonas rurales, tiene el potencial de reducir desigualdades y mejorar la calidad de vida de todas las personas. Además, los hallazgos indican que invertir en mejorar el acceso al agua puede reducir la carga de trabajo no remunerado que recae principalmente en las mujeres de los hogares con acceso limitado al agua, quienes suelen encargarse de la recolección diaria del agua. Según estimaciones, se necesitarían 2178 millones de dólares para cerrar las brechas de infraestructura en el acceso a agua gestionada de forma segura (Brichetti et al., 2021). Esto implica la búsqueda de fuentes de financiamiento sostenibles para avanzar hacia la igualdad en el acceso al agua y cerrar estas brechas.

1.3. Es fundamental reevaluar las tarifas de ANDA considerando los determinantes socioeconómicos de diversos grupos poblacionales para mitigar la naturaleza regresiva del gasto en agua de los hogares. La evidencia sugiere que este proceso sería respaldado por la población si va acompañado de mejoras en el servicio de agua. Según los datos de la encuesta realizada en esta investigación, aproximadamente 63 de cada 100 participantes estarían dispuestos a pagar un monto adicional por el tratamiento del agua. Según los datos de la encuesta realizada en esta investigación, aproximadamente 63 de cada 100 participantes estarían dispuestos a pagar un monto adicional por el tratamiento del agua. La modificación de las tarifas puede generar conflictos, pero si se establece con transparencia y se adhiere a los principios de equidad y redistribución, podría ofrecer una alternativa al escenario actual donde las personas pagan más por un servicio de agua que cada vez es menos continuo (datos de la encuesta). Además, es

crucial considerar la distinción entre el agua como factor productivo y el agua para usos domésticos, que debe ser garantizado como un bien social y un derecho humano.

1.4. Identificar y priorizar zonas críticas de recarga acuífera con presencia de vegetación nativa, y convertirlas o legalizarlas como Áreas Naturales Protegidas (ANP) es fundamental para aumentar su área total y mejorar su impacto en la cuenca alta.

Además, se propone medir la presencia de pesticidas, farmacéuticos, hormonas, productos de cuidado personal y otros contaminantes emergentes que podrían afectar la calidad de estas zonas de recarga y llegar a los suministros de agua potable. Investigaciones previas han demostrado que estos contaminantes pueden persistir en los sistemas de tratamiento tradicionales. Por lo tanto, se sugiere adoptar como referencia legislaciones o regulaciones internacionales que ya abordan esta problemática y establecen límites máximos tanto para fuentes de agua naturales como para agua potable. Además, es crucial realizar campañas de reforestación en las zonas de recarga acuífera y vegetación nativa, las cuales han sido mayormente afectadas por el cambio de uso de suelo. Estas áreas deben ser recuperadas y protegidas de forma permanente mediante un control efectivo del cambio en el uso del suelo por parte de las autoridades correspondientes.

1.5. Es crucial trabajar de manera conjunta con Guatemala y Honduras, este último especialmente relevante por su influencia en el caudal y la carga de sedimentos, en la gestión de la cuenca para controlar los sedimentos y contaminantes que ingresan a El Salvador. Abordar las aguas transfronterizas es fundamental para garantizar el acceso sostenible al agua a largo plazo en El Salvador, dado que su principal río tiene su origen fuera de sus fronteras.

Existe un número considerable de cuencas transfronterizas en el mundo y dada su importancia, han sido objeto de regulación especial. En el caso salvadoreño, la LGRH da el mandato de regular la situación de esta cuenca trinacional y otras transfronterizas en nuestro país (Decreto Legislativo no. 253, 2021, arts. 33 y 34). Además, deben revisarse las teorías de gobernanza común de aguas transfronterizas, los aportes desde los derechos humanos y el derecho internacional público, a fin de llegar a propuestas que respondan de manera adecuada a la situación de la Cuenca del Río Lempa.

1.6. Implementar el pago de servicios ambientales e incentivos económicos en terrenos que sean privados para que puedan dar servicios ecosistémicos tanto en calidad de aire, erosión, deslizamientos, temperatura superficial y ciclo hidrológico. Esto tiene el potencial de recuperar y resguardar el recurso hídrico para que sea sostenible en el tiempo. Datos de la encuesta realizada en el marco de esta investigación reflejan que la población estaría a favor de pagar este tipo de tarifas. Asimismo, existen experiencias exitosas en la región (Costa Rica) que podrían servir de modelo para iniciar con el Programa.

1.7. Se requiere la mejora en la generación y acceso a información sobre los vertidos de aguas residuales mixtas que se descargan sin tratamiento. Según el Visor de Aguas Residuales del MARN, existen 950 puntos de descarga de aguas residuales mixtas (domésticas e industriales) que ingresan al medio ambiente sin haber recibido ningún tipo de tratamiento. Sin embargo, no se incluyen datos referentes al caudal de descarga, los valores de los parámetros de calidad fisicoquímicos o los responsables de estas descargas. Por lo tanto, se sugiere profundizar la información de este inventario, o hacerla totalmente pública, para aumentar el nivel de participación de la población civil en el cuidado de los recursos naturales, así como la

participación de la academia e instituciones no gubernamentales en la generación de conocimiento y propuestas que abonen a la gestión integral del recurso.

1.8. Dado que la distribución geográfica del ICA y las concentraciones de los contaminantes emergentes detectados muestran que las zonas de mayor degradación en la cuenca del Río Lempa coinciden con los puntos más densamente poblados y las áreas de desarrollo turístico. Por lo tanto, se sugiere regular estrictamente las descargas de aguas residuales y realizar un monitoreo continuo de los parámetros de descarga.

En este sentido, es crucial que las autoridades de la Administración Pública actúen bajo el principio de precaución, adoptando una perspectiva estrictamente preventiva en las autorizaciones que otorgan para diversas actividades productivas. Esto incluye hoteles, comercios, construcciones habitacionales, cultivos agrícolas, actividades pecuarias, entre otras, las cuales generan presiones significativas en el cambio de uso de suelo, la demanda de agua, y contribuyen a la disminución de la disponibilidad y al aumento del caudal de aguas residuales.

Se hace especial énfasis en el desarrollo de infraestructura, ya que esta actividad puede afectar zonas que son importantes para la recarga hídrica, así como el aumento no controlado en la demanda de agua para zonas urbanas y los efectos subsecuentes.

1.9. Mejorar el acceso a información sobre la demanda de agua en el sector construcción, especialmente en nuevos proyectos urbanísticos y habitacionales en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), es crucial. Es importante que futuras investigaciones se enfoquen en las dinámicas recientes del sector construcción, sus usos y sus demandas de agua. Actualmente, existe una carencia en las estimaciones de demanda, ya que los datos de fuentes oficiales se basan en referencias del año 2017 y presentan una desagregación limitada. Por lo tanto, se recomienda realizar un levantamiento de información actualizada para obtener un conocimiento más preciso de la situación de la oferta y demanda de agua en el país. Solo de esta manera las decisiones en la gestión del recurso podrán responder de manera más efectiva a la realidad nacional.

1.10. Para mejorar la calidad de estas propuestas, es crucial hacer pública la información sobre la calidad del agua y los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Desde el año 2020, no se ha actualizado el Informe de Calidad de Agua de los ríos de El Salvador, el cual anteriormente era publicado anualmente por el MARN. Además, existe falta de claridad respecto a la cantidad de plantas de tratamiento actualmente operativas para tratar tanto aguas residuales domésticas como industriales. Desconocemos los tipos de tecnología utilizados, los niveles de eficiencia, el porcentaje del caudal tratado en cada planta y los parámetros de descarga.

1.11. Se recomienda fomentar espacios para la participación ciudadana en todos los aspectos relacionados con el agua, incluyendo su cuidado, uso y protección de zonas críticas para su garantía. La gobernanza desempeña un papel clave en la integración de diversos actores a nivel territorial en la gestión integral del recurso hídrico. Es fundamental asegurar el diálogo y la participación activa de las organizaciones comunitarias y las Juntas de Agua en los procesos de toma de decisiones sobre el uso del agua a nivel local. Estos actores han sido fundamentales durante años en la provisión de acceso al agua para comunidades rurales en todo el país.

6. Referencias bibliográficas

- ANDA (2008). Mapa Hidrogeológico de El Salvador. https://www.sica.int/documentos/mapa-hidrogeologico-de-el-salvador_1_128021.html
- ANDA. (2014). Monitoreo de los Avances de País en Agua Potable y Saneamiento. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/404611468212970028/pdf/876760WP0v20P10II0Version000Spanish.pdf>
- ANDA. (2022). Boletín Estadístico ANDA 2021. https://www.transparencia.gob.sv/system/documents/documents/000/513/641/original/Boletín_Statístico_2021.pdf?1668013362
- Asamblea Constituyente de la República de El Salvador. (1983, 16 de diciembre). Decreto no. 38. Constitución. Diario Oficial Número 234, Tomo 281. <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/69A06B07-4F30-4F0E-8FB1-D664A3E6D8CC.pdf>
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1970, 11 de noviembre). Decreto Legislativo no. 153. Ley de Riego y Avenamiento. Diario Oficial Número 213, Tomo 229. <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/1499562F-2E44-4C1B-82CA-8C4A3BEB842E.pdf>
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1988, 28 de abril). Decreto Legislativo no. 955. Código de Salud. Diario Oficial Número 86, Tomo 299. <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/4581ED5F-0B9E-40A6-99FB-FD3BF682266C.pdf>
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1992, 20 de febrero). Decreto Legislativo no. 183. Ley de la Procuraduría para la Defensa de los Derechos Humanos. Diario Oficial Número 45, Tomo 314. <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/DA2F13CF-91BB-4AD9-839F-718329BD14D8.pdf>
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1997, 26 de abril). Decreto Legislativo no. 1030. Código Penal. Diario Oficial Número 105, Tomo 335. <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/A2598AEF-FBC2-4D3E-A855-2C12EA7A4D52.pdf>
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1998, 2 de marzo). Decreto Legislativo no. 233. Ley del Medio Ambiente. Diario Oficial Número 79, Tomo 339. <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/B736B383-52B3-46CE-AB6A-BE9BFF2F4635.pdf>
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2005, 18 de agosto). Decreto Legislativo no. 776. Ley de Protección al Consumidor. Diario Oficial Número 166, Tomo 368. <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/38B00AA5-326A-4C16-B193-653AFF52298E.pdf>

- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2008, 18 de septiembre). Decreto Legislativo no. 712. Código Procesal Civil y Mercantil. Diario Oficial número 224, Tomo 381. <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/6C9AD1EA-25D9-4E0E-9327-A2042AAFC01F.pdf>
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2008, 18 de septiembre). Decreto Legislativo no. 733. Código Procesal Penal. Diario Oficial número 20, Tomo 389.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2017, 28 de agosto). Decreto Legislativo no. 760. Ley de la Jurisdicción Contencioso Administrativa. Diario Oficial número 209, Tomo 417. <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/403CBD8C-A8E8-4112-9C04-0CFA592FF99F.pdf>
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2021, 4 de marzo). Decreto Legislativo no. 837. Ley Orgánica de la Procuraduría General de la República. Diario Oficial número 93, Tomo 431. <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/3306FBC9-8272-4650-941B-DA8C07F5A33F.pdf>
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2022, 12 de enero). Decreto Legislativo no. 253. Ley General de Recursos Hídricos. Diario Oficial Número 8, Tomo 434. <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/38040F9D-D229-4C16-8F55-51EF058A2F0A.pdf>
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2022, 25 de mayo). Decreto Legislativo no. 388. Ley de Disolución del Fondo Ambiental de El Salvador. Diario Oficial número 100, Tomo 435. <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/E0325638-A8AC-4E82-9B20-F167BDCD6897.pdf>
- Autoridad Salvadoreña del Agua. (2022). Sistema de Información Hídrica. <https://www.asa.gob.sv/sihi/>
- Banco Mundial. (2019). Recursos de agua dulce internos renovables per cápita. Datos Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/ER.H2O.INTR.PC>
- B. Gao. (1196). A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, Volume 58, Issue 3
- Budds, J. (2012). La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez: un análisis del ciclo hidrosocial del valle del río La Ligua, Chile. Revista de Geografía Norte Grande, 52, 167–184. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022012000200010>
- CATIE. (2005). Programa Trinacional De Desarrollo Sostenible Para La Cuenca Alta Del Rio Lempa. <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/cne>
- Corte Interamericana de Derechos Humanos, Caso Barreto Leiva vs. Venezuela. Fondo, Reparaciones y Costas. Sentencia de 17 de noviembre de 2009. Serie C No. 206.

- Corte Interamericana de Derechos Humanos, caso Comunidad Indígena Xákmok Kásek vs. Paraguay. Fondo, Reparaciones y Costas. Sentencia de 24 de agosto de 2010. Serie C No. 214.
- Corte Interamericana de Derechos Humanos, Caso Herrera Ulloa vs. Costa Rica. Excepciones Preliminares, Fondo, Reparaciones y Costas. Sentencia de 2 de julio de 2004. Serie C No. 107.
- Corte Interamericana de Derechos Humanos, Usón Ramírez Vs. Venezuela. Excepción Preliminar, Fondo, Reparaciones y Costas. Sentencia de 20 de noviembre de 2009. Serie C No. 207.
- Corte Suprema de Justicia. Juzgado Ambiental de Santa Tecla (2018, 10 de agosto) Proceso Declarativo Común de Responsabilidad Civil por daño Ambiental Ref. PC11-2-17. <https://www.jurisprudencia.gob.sv/>
- Corte Suprema de Justicia. Juzgado Ambiental de Santa Tecla (2019, 19 de marzo) Sentencia, Proceso Declarativo Común de Responsabilidad Civil por daño Ambiental Ref. PC2-2-18. <https://www.jurisprudencia.gob.sv/>
- Corte Suprema de Justicia. Juzgado Ambiental de Santa Tecla (2021, 29 de enero) Resolución de Diligencias de Medidas Cautelares Ref. MC24-3-20. <https://www.jurisprudencia.gob.sv/>
- Corte Suprema de Justicia. Sala de lo Constitucional (2011, 26 de enero) Sentencia, Proceso de Inconstitucionalidad Ref. 37-2004. <https://www.jurisprudencia.gob.sv/>
- Corte Suprema de Justicia. Sala de lo Constitucional (2014, 15 de diciembre) Sentencia, Proceso de Amparo Ref. 513-2012. <https://www.jurisprudencia.gob.sv/>
- Corte Suprema de Justicia. Sala de lo Constitucional (2014, 5 de febrero) Sentencia, Proceso de Amparo Ref. 665-2010. <https://www.jurisprudencia.gob.sv/>
- Corte Suprema de Justicia. Sala de lo Contencioso Administrativo (2022, 25 de julio) Sentencia, Proceso de Ref. 299-2015. <https://www.jurisprudencia.gob.sv/>
- DIGESTYC. (2020). Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples 2019. <http://www.digestyc.gob.sv/>
- Erazo, M. (2020). Contaminación del agua en la Planta Las Pavas. <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/fesamcentral/17053.pdf>
- Esquivel, O. (2007). Diagnóstico Nacional de la Calidad Sanitaria de las Aguas Superficiales de El Salvador.
- Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Instituto Universitario de Opinión Pública-IUDOP (2020). Boletín de Prensa: La población salvadoreña opina sobre el derecho humano al agua. Año XXXIV (3).

<https://uca.edu.sv/iudop/wp-content/uploads/Boletin-de-Agua.pdf>

Instituto Universitario de Opinión Pública-IUDOP (2023). Boletín de Prensa: La población salvadoreña opina sobre el derecho humano al agua. Año XXXVII (4).
<https://uca.edu.sv/iudop/wp-content/uploads/2023/03/Boletin-Derecho-Humano-al-Agua-1.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). Requerimiento: MARN-2020-0065.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2023). Visor de aguas residuales de El Salvador. <https://Vares.Marn.Gob.Sv/Aguas-Residuales/>.

MARN. (2017). Plan nacional de gestión integrada del recurso hídrico de El Salvador, con énfasis en zonas prioritarias . <https://cidoc.marn.gob.sv/documentos/plan-nacional-de-gestion-integrada-del-recurso-hidrico-de-el-salvador-con-enfasis-en-zonas-prioritarias/>

Maurer, E. P., Adam, J. C., & Wood, A. W. (2009). Climate model based consensus on the hydrologic impacts of climate change to the Rio Lempa basin of Central America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(2), 183–194. <https://doi.org/10.5194/hess-13-183-2009>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2013). Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental (pp. 1–16). MARN.
<https://cidoc.marn.gob.sv/documentos/estrategia-nacional-de-saneamiento-ambiental/>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2021). Informe de calidad de agua de los ríos de El Salvador. Año 2020. <https://cidoc.marn.gob.sv/documentos/informe-de-calidad-de-agua-de-los-rios-de-el-salvador-ano-2020/>

N., Cuellar, J., Duarte. (2001). Alteración del ciclo hidrológico en El Salvador: Tendencias y desafíos para la gestión territorial. PRISMA Numero. 44.

N., Cuellar, O., Diaz, K. Salinas. (2016). Crisis del agua en el AMSS y desafíos de restauración ambiental en El Salvador. PRISMA

Oficial de Información de la Autoridad Salvadoreña del Agua (2023). Resolución Respuesta ASA-O/R No 018-2023.

Organización de las Naciones Unidas, Asamblea General. A/RES/64/292. Resolución 64/292: “El derecho humano al agua y el saneamiento” del 28 de julio de 2010.

Organización de las Naciones Unidas, Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales. E/C.12/2002/11. Observación general N° 15 (2002) del 20 de enero de 2003.

Organización de las Naciones Unidas, Comité de Derechos Humanos. CCPR/C/21/Rev.1/Add.13. Observación general N° 31 [80] del 29 de marzo de 2004.

- R. Grygar, S. Huapaya, J. Karenová, P. Kycl, V. Metelka, P. Mixa, J. Ševčík, T. Vorel, V. Žáček. (2006). Evaluación geológica y geomorfológica de la zona norte de el salvador – primera etapa reporte parcial. Archivo Servicio Geológico Checo.
- R. Gupta. (2017). Remote Sensing Geology. Springer, 3rd Edition, p. 428.
- Sánchez, A., Castellanos, M., Calles, R., & Castillo, E. (2018). Situación actual del manejo de las aguas ordinarias en lotificaciones y parcelaciones habitacionales de la zona rural de El Salvador. Un análisis de cumplimiento técnico y legal aproximado. Universidad Tecnológica de El Salvador.
- Secretaria de Gobernabilidad de la Presidencia. (2018). Boletín informativo 18, primera edición, año 3.
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). (2005). Balance hídrico integrado y dinámico en El Salvador: componente evaluación de recursos hídricos. <http://www.snet.gob.sv/Documentos/balanceHidrico.pdf>
- Sojachenski, M. (2010). La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) como instrumento de adaptación al Cambio Climático. In II Taller Regional para Comunicadores por el Agua "AGUACOM." Global Water Partnership. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/aguacom-2010/presentacion-2.pdf