

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE MEDICINA
SECCIÓN DE LABORATORIO CLÍNICO**



**INFORME FINAL DEL CURSO DE ESPECIALIZACIÓN:
CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE AGUA**

**TÍTULO DE INFORME FINAL:
CALIDAD DEL AGUA EN EL SALVADOR: EVIDENCIA DE DETERIORO EN
USulután Y SAN MIGUEL**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:
LICENCIATURA EN LABORATORIO CLÍNICO**

PRESENTADO POR:
ANDRÉS ISAÍ BERNAL SEGOVIA N° CARNET BS20006
MANUEL ESAÚ RODRÍGUEZ SÁNCHEZ N° CARNET RS20048
AVICELIS SANTOS LARREYNAGA N° CARNET SL19008

DOCENTE ASESOR:
LIC. DARTHON ALEXANDER VELÁSQUEZ

OCTUBRE 2025
SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

AUTORIDADES



MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA

RECTOR

DRA. EVELYN BEATRIZ FARFÁN

VICERRECTORA ACADÉMICA

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

SECRETARIO GENERAL

LIC. CARLOS AMÍLCAR SERRANO RIVERA

FISCAL GENERAL

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
AUTORIDADES



MSC. CARLOS IVÁN HERNÁNDEZ FRANCO
DECANO

DRA. NORMA AZUCENA FLORES RETANA
VICEDECANA

LIC. CARLOS DE JESÚS SÁNCHEZ
SECRETARIO

DR. AMADEO ARTURO CABRERA GUILLEN
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE MEDICINA.

MSC. LORENA PATRICIA PACHECO DE QUINTANILLA
COORDINADORA DEL PROCESO DE GRADO DE LA CARRERA DE
LABORATORIO CLÍNICO.

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero y profundo agradecimiento primeramente a Dios, por ser nuestra fuente de inspiración y fortaleza en cada momento de este proceso, por darnos la sabiduría y la perseverancia para superar los desafíos y alcanzar nuestros objetivos.

A nuestros padres, por su amor incondicional, apoyo constante y gran sacrificio; sus ejemplos de vida y valores han sido nuestra guía y motivación para seguir adelante.

A nuestros licenciados docentes, por su dedicación, paciencia y sabiduría; sus enseñanzas y orientación han sido fundamentales en nuestra formación académica y personal. Agradecemos su confianza en nosotros y su apoyo en este proceso.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo, les agradecemos su ayuda y apoyo. Este logro es fruto de la colaboración y el esfuerzo de muchos.

Gracias por ser parte de este momento tan importante en nuestras vidas; este logro es un paso importante en nuestra carrera y lo dedicamos a todos aquellos que nos han apoyado en este camino.

- *Avicelis, Andrés y Manuel.*

DEDICATORIA

Para la resiliencia, la tenacidad y el coraje, este trabajo es la prueba de que los grandes muros se derriban con fe y esfuerzo constante.

Va dedicado a Dios, por ser mi guía, mi luz y mi ancla; a mis padres Avicelis y Melvin Larreynaga por el esfuerzo y la lucha que hicieron por darme el mejor regalo de la vida; y a todas las personas que de alguna manera me ayudaron de todas las maneras posibles para alcanzar esta meta; y finalmente, a mi esfuerzo, a mi resiliencia y a mi determinación, por demostrarme que no hay obstáculo que no pueda superar.

Cuando creemos en nosotros mismos, podemos llegar hasta la luna como Neil Armstrong, Buzz Aldrin y Michael Collins; quienes me demostraron que no tenemos límites.

- *Avicelis Larreynaga*

DEDICATORIA

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por haber guiado cada paso de este recorrido.

En cada momento de duda, en cada madrugada de esfuerzo, su presencia fue la luz que me sostuvo y me recordó que todo propósito bajo su voluntad se cumple.

A mi madre, por su amor inquebrantable, por ser ejemplo de sacrificio y esperanza. Su fe en mí fue la fuerza silenciosa que me impulsó a seguir, incluso cuando el cansancio parecía vencer.

A mis tías, por su apoyo constante, sus palabras de aliento y la confianza que depositaron en mi capacidad de alcanzar lo que me propuse.

A todas las personas que, de una u otra forma, fueron parte de este camino: quienes creyeron en mí, quienes me desafiaron y quienes me acompañaron en silencio.

Cada gesto, consejo y presencia dejó una huella imborrable en este logro. Y finalmente, a mí mismo, por la disciplina, la constancia y el carácter que me trajeron hasta aquí.

Este trabajo no solo representa conocimiento, sino también el reflejo de mi crecimiento, mi voluntad y mi compromiso con la excelencia. Porque lo que hoy concluye no fue producto del azar, sino el resultado inevitable de mi propia determinación.

- *Manuel Rodríguez*

DEDICATORIA

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por guiar cada paso de este camino y concederme la perseverancia necesaria para culminar este proyecto.

A mi tía, por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento en los momentos más desafiantes.

A mi abuela, ejemplo eterno de amor, fe y constancia, cuya inspiración ha sido mi motor.

A mis padres, por su sacrificio, comprensión y confianza, pilares fundamentales en cada logro alcanzado.

Y a mí mismo, porque ningún logro llega sin disciplina, sin desvelos y sin creer firmemente en lo que uno es capaz de hacer. Este trabajo es reflejo de mi dedicación, mi constancia y de esa voz interior que nunca dudó en decir: sí puedo, y lo haré mejor que nadie. Y así concluye mi demostración: que la ambición y la disciplina vence al talento.

- *Andrés Bernal*

ÍNDICE

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Discusión.....	5
Ríos de San Miguel y Usulután.....	5
Río Grande de San Miguel (cuenca H).....	5
Rio San Antonio (Usulután).....	5
Rio San Simón (subcuenca Usulután).....	5
Humedales y lagunas (Jiquilisco, Olomega, El Jocotal).....	7
Bahía de Jiquilisco (Usulután).....	7
Laguna de Olomega (San Miguel).....	8
Laguna El Jocotal (San Miguel/Usulután, Ramsar 970).....	9
Aguas subterráneas y pozos de consumo humano.....	10
Cumplimiento normativo (RTS 13.07.01:08).....	11
Tendencias y patrones espaciales.....	12
Implicaciones para salud pública y ecosistemas.....	13
Fortalezas y brechas en la gestión.....	13
Hacia una respuesta integrada.....	14
Conclusión.....	15
Referencias bibliográficas.....	17

Resumen

En el presente artículo, la Calidad del Agua en Usulután y San Miguel evidencia un deterioro sostenido y multifactorial. En ríos como el Rio Grande de San Miguel se registran valores alarmantes de coliformes fecales, oxígeno disuelto bajo y presencia de metales, resultado de descargas urbanas y agrícolas sin tratamiento. En humedales y lagunas como la Bahía de Jiquilisco, Olomega y El Jocotal, los estudios revelan contaminación microbiológica, eutrofización, acumulación de metales y plaguicidas, así como riesgos zoonóticos. Los pozos comunitarios presentan incumplimientos sistemáticos de la norma nacional, con presencia de bacterias y metales pesados (plomo, mercurio, cadmio), lo que incrementa los riesgos para la salud humana. Este panorama confirma deficiencias en saneamiento, alcantarillado y control de descargas, además de la falta de medidas efectivas para la protección de fuentes de agua. Las implicaciones incluyen enfermedades hídricas, daños crónicos por exposición a metales y pérdida de servicios ecosistémicos. Para revertir esta tendencia, se requiere una gobernanza hídrica integrada, inversiones en infraestructura de saneamiento, protección de acuíferos y humedales, y un monitoreo basado en riesgo que integre a comunidades, instituciones y academia.

Palabras clave:

Calidad de agua, Contaminación, Salud pública, Usulután, San Miguel, El Salvador.

Abstract.

Now this article, water quality in Usulután and San Miguel shows sustained and multifactorial deterioration. In rivers such as the Grande de San Miguel, alarming values of fecal coliforms, low dissolved oxygen, and the presence of metals have been recorded, mainly due to untreated urban and agricultural discharges. In wetlands and lagoons such as Bahía de Jiquilisco, Olomega, and El Jocotal, studies reveal microbiological contamination, eutrophication, accumulation of metals and pesticides, as well as zoonotic risks. Community wells show systematic non-compliance with the national standard, with the presence of bacteria and heavy metals (lead, mercury, cadmium), which increases risks to human health. This scenario confirms deficiencies in sanitation, sewage systems, and discharge control, in addition to the lack of effective measures for the protection of water sources. The implications include waterborne diseases, chronic damage from metal exposure, and the loss of ecosystem services. To reverse this trend, integrated water governance is required, along with investments in sanitation infrastructure, protection of aquifers and wetlands, and risk-based monitoring that involves communities, institutions, and academia.

Keywords:

Water quality, Pollution, Public health, Usulután, San Miguel, El Salvador.

Introducción

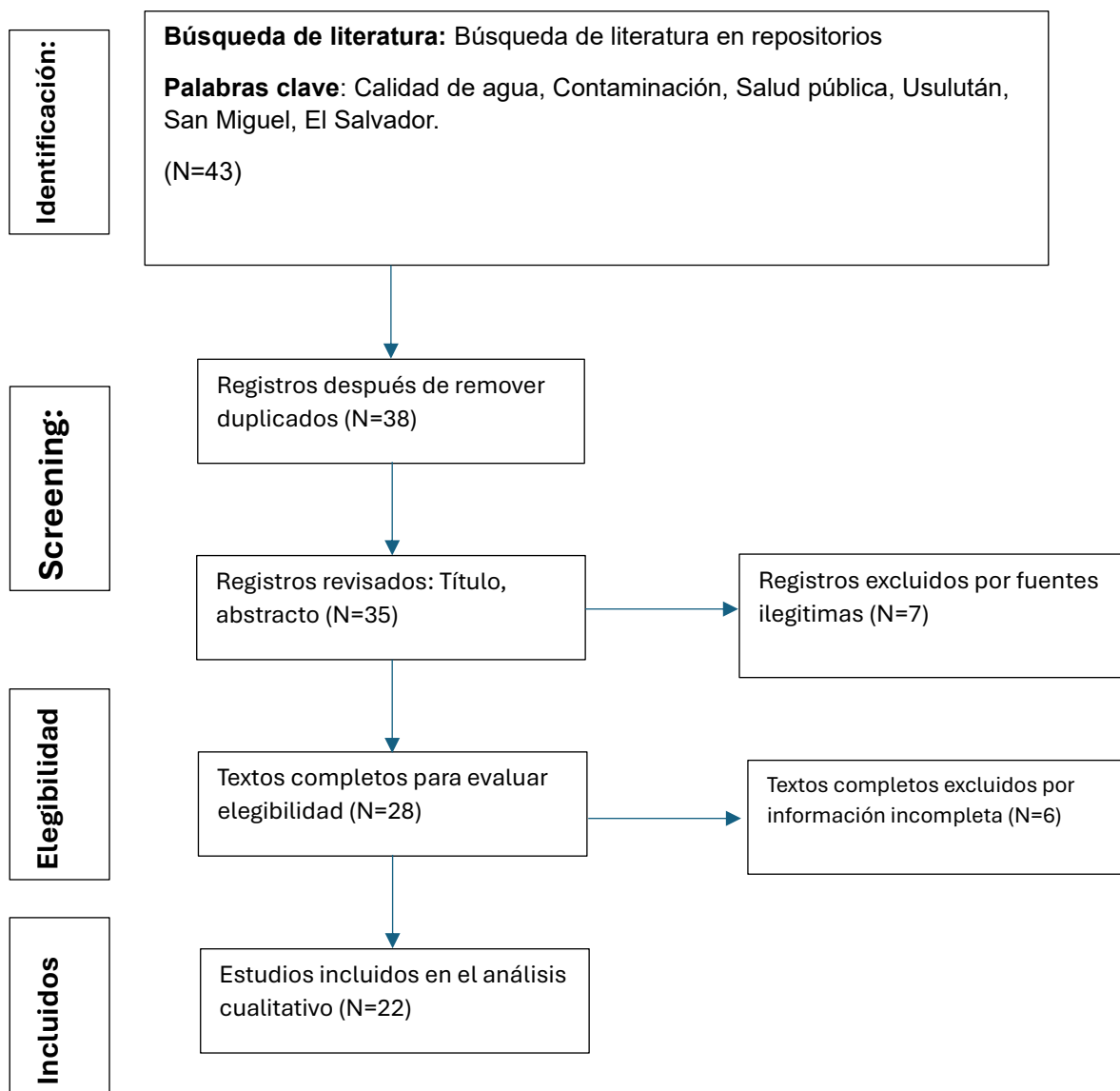
El agua es un recurso esencial para la vida, la salud humana y el equilibrio de los ecosistemas. Sin embargo, en El Salvador este recurso enfrenta crecientes presiones que amenazan su disponibilidad y calidad. El crecimiento poblacional, la urbanización acelerada, el uso intensivo de agroquímicos y la insuficiente cobertura de sistemas de saneamiento han generado una situación crítica en varias regiones del país.

En el oriente, los departamentos de Usulután y San Miguel constituyen zonas estratégicas tanto por su producción agrícola y pesquera como por su valor ecológico. Allí se ubican cuerpos de agua de gran importancia como el Río Grande de San Miguel, la Bahía de Jiquilisco, la Laguna de Olomega y la Laguna El Jocotal, todos ellos vinculados a la subsistencia de comunidades locales y al mantenimiento de la biodiversidad. No obstante, en las últimas décadas, múltiples estudios han documentado un deterioro progresivo en su calidad, con parámetros microbiológicos y químicos que superan los límites nacionales e internacionales de seguridad.

El presente artículo reúne y analiza la evidencia publicada entre 2001 y 2024, con el propósito de ofrecer una visión integral del estado actual del recurso hídrico en ambas regiones. Asimismo, busca resaltar las principales amenazas para la salud pública y los ecosistemas, al tiempo que plantea la urgencia de fortalecer las políticas de gestión, restauración y protección del agua en El Salvador.

Se realizó una investigación de fuentes primarias y secundarias publicadas por instituciones nacionales, universidades y organismos de cooperación. Se dieron prioridad a documentos con datos de campo de Usulután y San Miguel y los informes nacionales con desagregación por región hidrológica. Para normativas, se consultó el texto oficial del NSO 13.07.01:08. La evidencia se sintetizó por cuerpo de agua (ríos, lagunas/humedales, acuíferos/pozos) y se comparó con los criterios nacionales de potabilidad y de usos. (ver figura 1)

Figura 1 Diagrama de flujo de literatura consultada.



Fuente: Elaboración propia con base a la revisión de los diferentes artículos considerados en el estudio.

Discusión

Ríos de San Miguel y Usulután

Río Grande de San Miguel (cuenca H) El estudio hidrológico clásico reportó, a inicios de los 2000, oxígeno disuelto <1 mg/L y coliformes fecales hasta 220 NMP/100 mL en aguas abajo de la ciudad, clasificando tramos como “malos” en el Índice de Calidad del Agua (ICA) (1).

La evaluación de la Calidad Sanitaria del agua superficial por medio de las características fisicoquímicas, bacteriológicas y de metales pesados determina que el 60% de los sitios de muestreo, poseen agua de Calidad Sanitaria “Mala”. El mayor puntaje de ICA (Índice de Calidad del Agua) es 50.55 en el sitio de muestreo que fue el Río Grande de San Miguel, en la Región de San Miguel los sitios muestreados reportan concentración de oxígeno de 3.01 a 5.69 mg/L. La cantidad de Coliformes fecales está en el rango de 800,000 a 220 NMP/100 mL, el menor punto de contaminación fecal. (2).

La calidad de las aguas superficiales del Río grande de San Miguel no cumple con las características de calidad de agua para este uso, debido a valores fuera de rango, principalmente para los siguientes parámetros; Coliformes fecales, Fosforo, Arsénico; Fenoles, y DBO₅. (3) (4)(Ver tabla 1)

Río San Antonio (Usulután): En la red de monitoreo se incluyen sitios como el Río San Antonio (puente en carretera a Usulután, límite entre San Vicente y La Paz), Este es un pequeño río que es tomado con punto de atracción turístico, sin embargo, se han reportado la presencia de Coliformes Fecales que lo vuelven una zona de riesgo ya que no cumple los criterios para potabilización y recreación según el reporte 2020 (4). (Ver tabla 1)

Río San Simón (subcuenca Usulután): En subcuencas orientales pertenecientes al río San Simón, el plan de manejo de agua ha encontrado resultados de coliformes fecales sobre los valores máximos permitidos en la mayoría de las muestras, subrayando el déficit de tratamiento y protección de fuentes. La contaminación fecal (coliformes fecales) es un problema generalizado en toda la cuenca, ya que todas las muestras analizadas

(exceptuando dos, M2 y M3) presentan valores por encima de lo permitido tanto por la legislación salvadoreña (NSO 13.07.01:08) como por la Organización Mundial de la Salud. (Ver tabla 1)

Mas al Este de la cuenca se tomaron las siguientes muestras: M6, M7, M8 y M9, donde se encontraron las mayores concentraciones de plomo (Pb), níquel (Ni) y zinc (Zn) también se encuentran en este sector, donde se llega a superar el límite máximo permitido por la NSO para el Plomo (Pb) o rozando este límite como en el caso del Níquel (Ni). Este hecho hace pensar que el origen de estos metales pueda ser los productos agroquímicos por mal trato de las aguas residuales o uso inadecuado de dichos productos. (5). La norma NSO 13.05.01:24 marca los límites que deben contener las aguas residuales y el tratamiento previo que esta debe recibir para evitar la contaminación en las fuentes de agua y así poder evitar mayores riesgos a los mantos acuíferos. (6).

Tabla 1. Resultados obtenidos del estudio de los ríos de San Miguel y Usulután.

Tabla de resultados (ríos de San Miguel y Usulután)				
Cuerpo de agua	CF (NMP/100 mL)	Otros parámetros alterados	Valores según NSO 13.07.01:08	Cumplimiento
Río Grande de San Miguel (1) (2)	2000 NMP/100 ml	OD: 3 -5.6 mg/L	CF: < 1.1 NMP/100 mL OD: ≥ 5 mg/L	No cumple
		Fósforo: 0.93 a 5.55 mg/L	Fosforo: < 0.15 mg/L	No cumple
		Arsénico: 0.02 a 0.036 mg/L	Arsénico: < 0.01 mg/L	No cumple
		Fenoles < 0.03 a 0.52 mg/L	Fenoles: < 0.01 mg/L	No cumple
		DBO5: 5.56 a 43.91 mg/L	DBO5 < 4.00 mg/L.	No cumple
Río San Antonio (Usulután) (4)	230NPM/100 mL	OD: 2–3 mg/L	Menor a 1.1 NMP/100 mL OD: ≥ 5 mg/L	No cumple
Río San Simón (Usulután) (5)	1.1 NMP/100 mL- 2200 NMP/100 mL			No cumple

CF: coliformes fecales, OD: Oxígeno disuelto, DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días

Fuente: Elaboración propia con base a la revisión de los diferentes artículos considerados en el estudio.

Humedales y lagunas (Jiquilisco, Olomega, El Jocotal)

Bahía de Jiquilisco (Usulután) La cuenca baja que descarga en Jiquilisco también recibe aportes de ríos menores con presión agrícola, afectando la calidad en la zona de transición río-mar. (7) (8) (9). La investigación de la Universidad de El Salvador (UES) en el año 2012 calculó el Índice de Calidad de Agua en distintos puntos del estuario, con deterioros asociados a actividades humanas en la cuenca, se evaluó la temperatura del agua, pH, salinidad, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto (OD) y Coliformes fecales, también se reportó la presencia de *Escherichia coli*. (7).

El estudio realizado en la Universidad de El Salvador (UES) reportó presencia de coliformes fecales en; agua, sedimentos y biota (camarones) en cantones estuarinos,

evidenciando exposición en cadenas tróficas y riesgo para consumidores locales (8). En cuanto a las acuícolas de camaronicultura (cultivo de camarón) la Escuela Especializada En Ingeniería ITCA – FEPADE junto al MEGATEC realizaron un estudio donde se han observado cargas bacterianas elevadas (Coliformes Totales, *Vibrio* spp., *Pseudomonas* spp.) (10). (Ver tabla 2)

Laguna de Olomega (San Miguel): Es el mayor cuerpo dulceacuícola del oriente; su calidad ha sido evaluada por MARN y en un informe de MARN basado en la época lluviosa del año 2020 describe cinco puntos de muestreo y procedimientos de laboratorio para calidad de agua superficial realizados en la laguna. (11).

La laguna de Olomega, situada en los municipios de El Carmen y Chirilagua, perteneciendo a los departamentos de La Unión y San Miguel, se encuentra contaminada por aluminio, cloro residual, hierro, manganeso, coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* siendo sus índices más altos a la orilla de la laguna, donde los depósitos de acumulación de residuos y desechos de aguas grises y negras se concentran más (Ver tabla 2). (12).

El informe anual del año 2020 de MARN sobre Olomega consolida la situación y la necesidad de continuidad en monitoreo y manejo (11). Esto también se evidencia debido a un conflicto presente en las comunidades adyacentes a la laguna; ya que estas se ven directamente afectadas por la calidad del agua y el grado de contaminación creciente que esta presenta.

La carencia de los servicios básicos de agua potable, alcantarillado sanitario y servicio de drenaje de los cuales únicamente la comunidad de Tierra Blanca posee servicio de agua potable, mientras que el resto se abastece de este vital líquido a través de pozos artesanales y nacimientos de agua, los cuales en su mayoría presentan algún grado de contaminación. (13). (Ver tabla 2)

El Atlas/JICA resalta su extensión, dinámica hidrológica y conexión con lavas del volcán San Miguel (Chaparrastique), relevantes para flujos subterráneos y aportes iónicos (14).

Laguna El Jocotal (San Miguel/Usulután, Ramsar 970): Fichas Ramsar explican su posición en la cuenca del Río Grande de San Miguel declarado Sitio Ramsar de importancia internacional y un área natural protegida. Al ser un humedal de inundación con conectividad a usos agropecuarios, es susceptible a la acumulación de nutrientes y sedimentos (15). Se reporta que esta amenaza por contaminación y manejo inapropiado del nivel freático que ha traído como consecuencia la presencia de metales como: Hierro (Fe), Manganeseo (Mn). Ambos promedios exceden el valor permitido y pueden ser de riesgo crónico si se consume agua sin tratar. (16).

En un estudio realizado por la Universidad de El Salvador se ha reportado la presencia de El Virus del Nilo Occidental (VNO) es un virus aviar zoonótico transmitido por mosquitos, que puede causar una enfermedad neurológica y eventualmente fatal en algunas especies de mamíferos incluyendo seres humanos, reptiles y aves. La mayoría de los casos clínicos se producen en humanos y caballos que son hospedadores finales del virus (CFSPH/IICAB, 2010). El estudio se realizó en caballos, si bien no se realizó en humanos se sabe que este virus es capaz de infectarlos y causar problemas de salud graves. El área natural protegida laguna el Jocotal se puede considerar como un área de riesgo para el VNO ya que según OPS (2013), una zona de riesgo está definida por la presencia y circulación de uno o más de los virus responsables de ocasionar encefalitis equinas o bien aquellas que presentan características ecológicas y medio ambientales propicias para el desarrollo y proliferación de los vectores responsables de estas zoonosis (17). (Ver tabla 2).

Tabla 2. Resultados obtenidos del estudio de los cuerpos de agua de la Bahía de Jiquilisco, Laguna de Olomega y Laguna el Jocotal.

Cuerpo del agua	Parámetros alterados	Valores reportados	NSO 13.07.01:08	Cumplimiento
Bahía de Jiquilisco (7) (8) (9)	Coliformes Fecales	1.8-1600 NMP/100 mL	< 1.1 NMP/100 mL	No cumple
	Coliformes Totales	286 NMP	< 1.1 NMP/100 mL	No cumple
	OD	1.9–7.9 mg/L	>5.0 mg/L	Parcial
Laguna de Olomega (12)	Aluminio	Al: 0.58 mg/L	Al: < 0.2 mg/L	No cumple
	Hierro	Fe: 0,7 mg/L	Fe: ≤ 0,3 mg/L	No cumple
	Manganeso	Mn: 0,4 mg/L	Mn: ≤ 0,1 mg/L	No cumple
	CT	22,000 NMP/100 mL	< 1.1 NMP/100 mL	No cumple
	CF	280 NMP/100 mL	< 1.1 NMP/100 mL	No cumple
Laguna El Jocotal (16)	Hierro	0.25 mg/L	≤ 0.3 mg/L	Al límite
	Manganeso	0.13-0.14 mg/L	≤ 0.1 mg/L	Al Limite
	CF	78 NMP/100 - 790078 NMP/100mL	< 1.1 NMP/100 mL	No cumple

CF: Coliformes Fecales, CT: Coliformes Totales, OD: Oxígeno Disuelto

Fuente: Elaboración propia con base a la revisión de los diferentes artículos considerados en el estudio.

Aguas subterráneas y pozos de consumo humano

Estudios de pozos en comunidades rurales (Colonia la Carmenza en San Miguel y Caserío El Paraíso de Jiquilisco, Cantón Tierra Blanca, en Usulután) reportan incumplimientos sistemáticos del NSO 13.07.01.08 por coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas Aeruginosa*; los resultados sobre la calidad microbiológica del agua de pozos. Encontrándose que; tanto en época lluviosa como en época seca, el 100 % de las muestras analizadas no cumplen con lo especificado en la norma NSO 13.07.01:08; ya que, al menos uno de los parámetros determinados se encuentra fuera de norma, de los más alarmantes es la presencia de *Pseudomonas Aeruginosa* en gran parte de los pozos analizados; además, se han documentado presencia significativa de metales pesados tales como plomo, mercurio y cadmio. (18) (19). (Ver tabla 3)

Tabla 3. Valores de Plomo, Mercurio y Cadmio reportados en pozos.

Metal	Valores reportados en pozos (19)	NSO 13.07.01.08	Cumplimiento
Plomo (Pb)	0.01556 mg/L	≤ 0,01 mg/L	Parcial, al limite
Mercurio (Hg)	0.0034 mg/L	≤ 0,001 mg/L	No cumple
Cadmio (Cd)	0.0018 mg/L	≤ 0,003 mg/L	Cumple

Fuente: Elaboración propia con base a la revisión de los diferentes artículos considerados en el estudio.

Cumplimiento normativo (RTS 13.07.01:08)

El RTS 13.07.01:08 El análisis de la calidad del agua en El Salvador (San Miguel y Usulután) muestra un incumplimiento de la norma nacional, señalando problemas de contaminación. Se reportan valores elevados de coliformes totales y fecales, lo que refleja contaminación directa por aguas residuales; presencia de metales pesados como plomo, cadmio y mercurio; además de alteraciones fisicoquímicas como turbidez, color, sólidos disueltos, DBO y DQO fuera de los límites permitidos, con bajos niveles de oxígeno disuelto que impiden la vida acuática. En conjunto, estos incumplimientos confirman que gran parte de los cuerpos de agua presentan un grave deterioro, resultado de la mala gestión de las aguas residuales y la falta de sistemas de tratamiento adecuados, con impactos negativos tanto en la salud pública como en el medio ambiente (20).

La ciudad de San Miguel carece de un sistema eficiente y capaz de tratamiento de aguas negras; únicamente existe una red de alcantarillado sanitario que descarga directamente al río sin recibir ningún proceso de depuración (21) (22).

Tendencias y patrones espaciales

Los datos son afines hacia un patrón: la calidad del agua en Usulután y San Miguel es, en promedio, comprometida por múltiples situaciones.

En ríos, el caso emblemático del Río Grande de San Miguel muestra el impacto de aguas residuales urbanas no tratadas o insuficientemente tratadas: colapsos de oxígeno disuelto y picos altos de coliformes fecales en aguas bajo del área urbana (1) (2) (22). Aunque las series temporales institucionales se han modernizado, los informes 2020 y 2022 confirman que varios sitios en la región hidrológica permanecen como “malos” para potabilización y recreación (3), (4).

En zonas de transición río-mar (Jiquilisco), la escorrentía agrícola con mezcla de nutrientes y plaguicidas y la acuicultura con manejo variable de bioseguridad convergen en deterioros microbiológicos y químicos puntuales. La intrusión salina reportada históricamente en la costa de Jiquilisco agrega una presión de mediano plazo al recurso subterráneo (7) (8) (9) (10) (22) .

En las lagunas (Olomega y Jocotal), la eutrofización y la contaminación difusa constituyen riesgos permanentes. En Olomega, estudios recientes reportan alteraciones fisicoquímicas y presencia de metales; donde la posible influencia geogénica (volcanismo, litología) y antrópica (descargas locales, usos agrícolas y ganaderos) se combinan. (11) (12) (13) (14). La Laguna del Jocotal, al ser somera y conectada a las llanuras de inundación, es especialmente vulnerable a nutrientes y sedimentos; Ramsar identifica explícitamente la amenaza por contaminación y manejo hídrico deficiente (15) (16).

En acuíferos y pozos, la contaminación fecal generalizada y excedencias de metales en comunidades de San Miguel revelan brechas en protección sanitaria de captaciones, desinfección y control de fuentes de contaminación (letrinas, establos, agroquímicos) (18) (19) (5) (6).

Implicaciones para salud pública y ecosistemas

La presencia de *E. coli* y coliformes fecales por encima de los requisitos técnicos de salud implica un riesgo inmediato de enfermedades diarreicas y otras infecciones de transmisión hídrica, especialmente en población infantil y hogares sin tratamiento domiciliario (hervido, cloración) (6) (20). Las excedencias de arsénico, manganeso, hierro o plomo en pozos añaden riesgos crónicos (neurológicos, cardiovasculares, cancerígenos), y requieren priorización de remediación y provisión de fuentes alternativas seguras (19). En ecosistemas, el deterioro por nutrientes y pesticidas afecta la calidad del hábitat, biodiversidad acuática y servicios ecosistémicos (pesquerías, depuración natural), con potenciales pérdidas económicas locales (pesca artesanal, turismo de naturaleza) (7) (8) (9) (15) (16).

Fortalezas y brechas en la gestión

El país cuenta con una arquitectura institucional y normativa: monitoreos del MARN/DGOA, catálogo de informes por región hidrológica, y el NSO 13.07.01.08 como referencia de potabilidad (3) (4) (20). Sin embargo, persisten brechas: cobertura de saneamiento y tratamiento de aguas residuales urbanos y rurales, control efectivo de descargas, trazabilidad de agroquímicos y programas sostenidos de cloración residual a nivel comunitario.

Hacia una respuesta integrada

1. **Vigilancia basada en riesgo:** Focalizar monitoreo en puntos críticos (aguas abajo urbano-industriales, drenes agrícolas) con panel microbiológico-químico y trazadores (nutrientes, plaguicidas prioritarios) y publicar tableros abiertos por subcuenca.
2. **Saneariamiento y control de descargas:** Invertir en plantas de tratamiento municipales (nivel secundario/terciario según receptor) y en control de conexiones ilícitas; exigir planes de manejo de efluentes a granjas acuícolas y agroindustrias en cuencas de Jiquilisco y Río Grande.
3. **Tratamiento comunitario y cloración residual:** Implementar sistemas de filtración y desinfección adaptados (cloración por goteo, hipoclorito, control de cloro residual libre), con capacitación y auditorías según RTS.
4. **Gestión de humedales Ramsar:** Operativizar planes de manejo para El Jocotal y Olomega con metas de reducción de cargas, restauración de zonas ribereñas y monitoreo de biota (moluscos, macroinvertebrados, peces) como biomonitoreo.
5. **Información y gobernanza local:** Fortalecer comités y juntas para vigilancia ciudadana y respuesta rápida ante incumplimientos (cierres temporales de captaciones, provisión alternativa), integrando academia e instituciones.

Conclusión

La evidencia disponible demuestra que la falta de calidad del agua en Usulután y San Miguel es sostenida, multifactorial y con impactos directos en salud y ecosistemas. Ríos como el Río Grande de San Miguel muestran desde hace décadas señales compatibles con descargas urbanas sin tratamiento suficiente, mientras que la Bahía de Jiquilisco integra presiones agrícolas y acuícolas con riesgos por plaguicidas y bacteriología elevada. Las lagunas El Jocotal y Olomega exhiben vulnerabilidad a eutrofización y contaminación difusa, y los pozos en comunidades revelan incumplimientos sistemáticos del NSO 13.07.01.08 (microbiología y metales). Corregir la trayectoria exige gobernanza hídrica integrada, inversión en saneamiento, protección de fuentes y monitoreo basado en riesgo, con participación de comunidades y académicas. Con estas medidas, El Salvador puede recuperar la calidad de sus aguas orientales, salvaguardando salud pública, producción local y biodiversidad.

Asimismo, los hallazgos dejan en claro que la crisis hídrica no responde únicamente a fallas puntuales, sino a un problema estructural que combina falta de efectividad en el saneamiento urbano, falta de control en descargas industriales y agrícolas, y ausencia de una cultura de gestión sostenible del recurso. La persistencia de contaminación microbiológica en pozos comunitarios refleja no solo la debilidad institucional para garantizar agua potable segura, sino también la urgencia de intervenciones inmediatas en comunidades rurales que dependen exclusivamente de fuentes vulnerables. Esta situación coloca a la población, especialmente a los sectores más empobrecidos, en una posición de riesgo sanitario constante, con enfermedades hídricas recurrentes y efectos crónicos derivados de la exposición a metales.

Por otro lado, el deterioro de ecosistemas estratégicos como la Bahía de Jiquilisco o la Laguna El Jocotal pone en riesgo la resiliencia ambiental y los servicios ecosistémicos que sostienen la seguridad alimentaria, la pesca artesanal y la protección frente a desastres naturales. La pérdida de biodiversidad y la alteración de la dinámica natural de estos cuerpos de agua constituyen una amenaza directa para la economía local, para la

estabilidad de las comunidades y para los compromisos internacionales en materia de conservación, como los adquiridos con la Convención Ramsar.

En conclusión, la situación de la calidad del agua en Usulután y San Miguel refleja la intersección entre degradación ambiental, inequidad social y riesgos para la salud pública. El desafío no es menor, pero la evidencia demuestra que existen alternativas técnicas y sociales viables para revertir la tendencia. Apostar por la recuperación de la calidad del agua en el oriente de El Salvador no solo significa proteger un recurso natural indispensable, sino también garantizar el derecho humano al agua, fortalecer la resiliencia de los ecosistemas y contribuir al bienestar de las generaciones presentes y futuras.

Referencias bibliográficas

1. Servicio Nacional De Estudios Territoriales (SNET), Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Evaluación De La Calidad De Agua Del Río Grande De San Miguel. [Online].; 2004 [cited 2025 Agosto 15]. Available from: <https://www.snet.gob.sv/Hidrologia/icasanmiguel.pdf>.
2. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Diagnostico nacional de la calidad sanitaria de las aguas superficiales de El Salvador. [Online].; 2007 [cited 2025 Agosto 15]. Available from: <https://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00246/doc00246-contenido.pdf>.
3. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Informe de la calidad de agua de los Rios de El Salvador. [Online].; 2022 [cited 2025 Agosto 2]. Available from: <https://www.snet.gob.sv/ver/hidrologia/monitoreo+hidrologico/calidad+de+agua/calidad+de+agua+2022/>.
4. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Informe de Calidad de Agua de los Rios de El Salvador. [Online].; 2020 [cited 2025 Agosto 15]. Available from: https://elsalvadorinfo.net/wp-content/uploads/2021/08/Informe-de-la-calidad-de-agua-de-los-rios-de-El-Salvador.-Ano-2020.pdf?utm_.
5. Estilita Ruiz R, Miren Martínez S, Iratxe Alonso. Plan de manejo de recursos hídricos de la subcuenca del rio San Simon, Usulután, fase i: diagnóstico de los recursos hídricos. [Universidad de el país Vasco]. [Online].; 2018 [cited 2025 Agosto 4]. Available from: <https://www.solidaridadsi.org/files/2021-07/2018-plan-manejo-recursos-hidricos-rio-san-simon.pdf?193c91c0cf>.
6. Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica (ORSATEC). Guía de parámetros de calidad de Aguas residuales NSO 13.05.01:24, Reglamento técnico salvadoreño RTS 13.05.01:24, 1º revisión. agua. aguas residuales. parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales. San Salvador Este. [Online].; 2024 [cited 2025 Agosto 17]. Available from: https://osartec.gob.sv/download/29_d_o_rts_13_05_01_18_agua_aguas_residuales_parmetros_de_calidad_de_aguas_residuales_para_descarga_y_manejo_de_lodos_residuales-pdf/.
7. Chávez Molina L, Mejía Castellano M, Reyes Romero O. Evaluación del índice de calidad de agua en La Bahía de Jiquilisco, definición de metodologías de muestreo, validación y cuantificaciones analíticas para agua salada. [Tesis de pregrado][Repositorio UES]. [Online].; 2012 [cited 2025 Agosto 11]. Available from: <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/abcd2ce9-3b15-4e55-abf0-334493b569f6/content>.
8. Sosa Zelaya D. Determinación de contaminación por bacterias coliformes fecales en Bahía De Jiquilisco, Usulután, utilizando como biomonitor Anadara Similis y A. Tuberculosa [Tesis de

- Pregrado][Repositorio UES]. [Online].; 2006 [cited 2025 Agosto 11]. Available from: <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/92db4c83-e927-42ba-bf7e-5813d691e6d0/content>.
9. Olivares Menay A, Santos O, Acosta A, Vega I, Amparo Sandoval M, Cárdenaz Españas J, et al. Caracterización de los cuerpos de agua que abastecen los sitios de Cultivo de Camarón marino (*Penaeus Vannamei*), en El Salvador.[Editorial Universitaria UNASA]. [Online].; 2018 [cited 2025 Agosto 17]. Available from: https://www.unasa.edu.sv/PDF/publicaciones_investigacion/caracterizacion_cuerpos_agua_unasa.pdf?utm_.
 10. Ramírez, L; Navarrete Soriano, A; Orellana, C. Diagnóstico de la calidad microbiológica del agua durante un ciclo de cultivo de camarón marino del grupo de cooperativas del sector El Zompopero, Bahía de Jiquilisco, Usulután.[San Salvador, El Salvador][ITCA Editores]. [Online].; 2015 [cited 2025 Septiembre 8]. Available from: <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015acuicultura.pdf>.
 11. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Informe anual de calidad de agua de la laguna de Olomega: El Salvador. [Online].; 2020 [cited 2025 Septiembre 8]. Available from: <https://bibliotecaambiental.ambiente.gob.sv/documentos/informe-anual-de-calidad-de-agua-de-la-laguna-de-olomega-ano-2020/>.
 12. Canales V, Bermúdez de Díaz F, Ayala Larios , Campos Hernández M. Contaminación hídrica y de suelos de la laguna de Olomega y sus consecuencias en el medio ambiente y en el estado de salud de los pobladores del municipio El Carmen, departamento de La Unión.[Tesis de Pregrado]. [Online].; 2023 [cited 2025 Septiembre 10]. Available from: <https://www.ieproes.edu.sv/wp-content/uploads/2023/05/CONTAMINACION-LAGUNA-OLOMEGA-con-elISBN-1.pdf>.
 13. FUNDE-CHF-PARTNERS. Los conflictos ambientales relacionados con el agua de la laguna de Olomega. [Online].; 2004 [cited 2025 Septiembre 10]. Available from: https://repo.funde.org/722/1/diagnosticoolomega.pdf?utm_.
 14. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Atlas de los sitios RAMSAR: lagunas de Olomega y El Jocotal. San Salvador:Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). [Online].; 2019 [cited 2025 Septiembre 12]. Available from: <https://bibliotecaambiental.ambiente.gob.sv/documentos/atlas-de-sitios-ramsar-lagunas-de-olomega-y-el-jocotal/>.
 15. Barraza E, Melara Pérez E, Vásquez González L. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR): Area Natural Protegida Laguna El Jocotal.San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [Online].; 2012 [cited 2025 Septiembre 12]. Available from: https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/SV970RISformer_170726.pdf.

16. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Plan de manejo del humedal sitio Ramsar laguna El Jocotal. San Salvador. [Online].; 2020 [cited 2025 Septiembre 14]. Available from: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12363073_02.pdf.
17. Escalante Hernández M, Quintanilla Moreno G, López Salazar C, Romero Pérez L, Avendaño Romero N. Evidencia serológica del Virus del Nilo Occidental en equinos (*Equus caballus*), en el área natural protegida laguna El Jocotal, departamento de San Miguel, El Salvador. *Agrociencia*; 1(6):44–51. [Online].; 2018 [cited 2025 Septiembre 12]. Available from: <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/113/129>.
18. Universidad de El Salvador. Lainez Ramirez K, Trejo Fuentes W. Evaluación de la calidad microbiológica del agua de pozos de la colonia La Carmenza, Municipio de San Miguel, Departamento de San Miguel. [Tesis de Pregrado][Repositorio UES]. [Online].; 2012 [cited 2025 Agosto 12]. Available from: <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/ad3cb75c-7a77-4f5b-93d2-46d8f66b2947/content>.
19. Araujo Chevez, C. Cuantificación de Plomo, Mercurio y Cadmio en agua de consumo humano de 5 comunidades de El Salvador por espectrofotometría de absorción atómica. [Tesis de Pregrado][Repositorio UES]. [Online].; 2010 [cited 2025 Agosto 12]. Available from: <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/1133f8fd-2a5f-446d-bb97-f3f604625ffb/content>.
20. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Norma Salvadoreña obligatoria NSO 13.07.01.08 Agua, Agua potable. San Salvador. [Online].; 2020 [cited 2025 Septiembre 2]. Available from: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/els212199.pdf>.
21. Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) / Gobierno de El Salvador. Plan nacional de agua potable y saneamiento de El Salvador. [Online].; 2018 [cited 2025 Septiembre 20]. Available from: https://www.aecid.sv/wp-content/uploads/2018/02/RESUMEN-EJECUTIVO-PLANAPS.compressed.pdf?utm_.
22. Perez Reyes J, Quintanilla Ayala J, Yanes Acosta N. Diagnóstico de red pública de aguas residuales domésticas y estudio para la ubicación de planta de tratamiento de la ciudad de San Miguel. [Tesis de Pregrado] [Repositorio UES]. [Online].; 2014 [cited 2025 Septiembre 5]. Available from: <https://repositorio.ues.edu.sv/items/0a77cf6e-9ee6-4d48-8b2f-cfb3f0dad0e8>.