



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. OBJETIVO DEL INFORME	5
1.2. GLOSARIO	6
1.3. OTRAS SIGLAS, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	11
2. INFORMACIÓN DE PARTIDA	13
3. GOBERNANZA	18
3.1. MARCO NORMATIVO GENERAL	18
3.2. ANÁLISIS ESPECÍFICO DE LA NORMATIVA EN MATERIA DE CALIDAD DE AGUAS, VERTIDOS Y SEDIMENTOS	19
4. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES POR ZONA HIDROGRÁFICA	26
4.1. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE CONTROL DE MARN (DGOA) EN LA ZONA HIDROGRÁFICA I – RÍO LEMPA	28
4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA RED DE CONTROL DE MARN (DGOA) Y ESTUDIOS ESPECÍFICOS EN ZONA HIDROGRÁFICA I-RÍO LEMPA	35
4.2.1. Análisis de los resultados de la Red de control de la calidad de las aguas superficiales de MARN (DGOA)	35
4.2.2. Análisis de los resultados de otros específicos de la calidad de las aguas superficiales	69
4.3. PRINCIPALES CAUSAS Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA HIDROGRÁFICA I – RÍO LEMPA	103
4.3.1. Metodología	103
4.3.2. Contaminación originada por fuentes puntuales	104
4.3.1. Contaminación originada por fuentes difusas	113
4.4. VERIFICACIÓN DE LOS EFECTOS GENERADOS POR LAS PRINCIPALES CAUSAS DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA HIDROGRÁFICA I-RÍO LEMPA	126
4.4.1. Verificación de los efectos generados por las fuentes de contaminación en la Zona Hidrográfica I	127
4.5. DESCRIPCIÓN DE LAS REDES DE CONTROL DE MARN (DGOA) EN LA ZONA HIDROGRÁFICA II-PAZ JALTEPEQUE	133
4.6. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA RED DE MARN (DGOA) Y ESTUDIOS ESPECÍFICOS EN ZONA HIDROGRÁFICA II-PAZ JALTEPEQUE	138
4.6.1. Análisis de los resultados de la Red de control de la calidad de las aguas superficiales	138
4.6.2. Análisis de los resultados de otros estudios específicos de la calidad de las aguas superficiales	163
4.7. PRINCIPALES CAUSAS Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN ZONA HIDROGRÁFICA II-PAZ JALTEPEQUE	175



4.7.1.	Metodología	176
4.7.2.	Contaminación originada por fuentes puntuales	176
4.7.3.	Contaminación originada por fuentes difusas.....	180
4.8.	VERIFICACIÓN DE LOS EFECTOS GENERADOS POR LAS PRINCIPALES CAUSAS DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA HIDROGRÁFICA II- PAZ JALTEPEQUE.....	189
4.8.1.	Región Hidrográfica B-Paz	189
4.8.2.	Región Hidrográfica C-Cara Sucia-San Pedro	190
4.8.3.	Región Hidrográfica D-Grande de Sonsonate	191
4.8.4.	Región Hidrográfica E-Mandinga-Comalapa	192
4.8.5.	Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque.....	193
4.9.	DESCRIPCIÓN DE LA RED DE CONTROL DE MARN (DGOA) EN LA ZONA HIDROGRÁFICA III- JIQUILISCO-GOASCORÁN.....	195
4.10.	RESULTADOS OBTENIDOS DE LA RED DE CONTROL Y ESTUDIOS ESPECÍFICOS EN ZONA HIDROGRÁFICA III-JIQUILISCO-GOASCORÁN.....	199
4.10.1.	Análisis de los resultados de la Red de control de la calidad de las aguas superficiales.....	199
4.10.2.	Análisis de los resultados de otros estudios específicos de la calidad de las aguas superficiales	220
4.11.	PRINCIPALES CAUSAS Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN ZONA HIDROGRÁFICA III-JIQUILISCO-GOASCORÁN	230
4.11.1.	Metodología	230
4.11.2.	Contaminación originada por fuentes puntuales	231
4.11.3.	Contaminación originada por fuentes difusas.....	235
4.12.	VERIFICACIÓN DE LOS EFECTOS NEGATIVOS GENERADOS POR LAS PRINCIPALES CAUSAS DE CONTAMINACIÓN EN ZONA HIDROGRÁFICA III-JIQUILISCO-GOASCORÁN	247
4.12.1.	Región Hidrográfica G-Bahía de Jiquilisco.....	247
4.12.2.	Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel	248
4.12.3.	Región Hidrográfica I-Sirama.....	250
4.12.4.	Región Hidrográfica J-Goascorán	251
5.	DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS COSTERAS	254
5.1.	ESTUDIOS REALIZADOS POR EL MARN A NIVEL NACIONAL.....	254
5.1.1.	Estudios específicos en el Complejo de Los Cobanos	256
5.1.2.	Estudios específicos relativos al desarrollo de floraciones masivas de algas en la costa.....	257
5.1.3.	Estudio en El Golfo de Fonseca.....	258
5.2.	DELIMITACIÓN DE LA CUÑA SALINA.....	258
6.	DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS POR MASA DE AGUA.....	263
6.1.	DESCRIPCIÓN DE LA RED DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL MARN (DGOA).....	263
6.2.	RESULTADOS OBTENIDOS DE LA RED DE CONTROL Y ESTUDIOS ESPECÍFICOS POR MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA	272
6.2.1.	MASub ESA-01	273



6.2.2.	MASub ESA-02	278
6.2.3.	MASub ESA-03	280
6.2.4.	MASub ESA-06	281
6.2.5.	MASub ESA-07	285
6.2.6.	MASub ESA-08	287
6.2.7.	MASub ESA-11	288
6.2.8.	MASub ESA-12	289
6.2.9.	MASub ESA-15	294
6.2.10.	MASub ESA-19	298
6.2.11.	MASub ESA-20	299
6.2.12.	Estaciones ubicadas fuera de MASub	301
6.3.	PRINCIPALES CAUSAS Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN LAS MASAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	301
6.3.1.	Metodología	301
6.3.2.	Contaminación originada por fuentes puntuales	302
6.3.3.	Contaminación originada por fuentes difusas.....	303
6.3.4.	Otras presiones.....	315
6.4.	VERIFICACIÓN DE LOS EFECTOS NEGATIVOS GENERADOS POR LAS PRINCIPALES CAUSAS DE CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	316
6.4.1.	MASub ESA-01	316
6.4.2.	MASub ESA-02	317
6.4.3.	MASub ESA-03	318
6.4.4.	MASub ESA-06	318
6.4.5.	MASub ESA-07	320
6.4.6.	MASub ESA-08	321
6.4.7.	MASub ESA-11	321
6.4.8.	MASub ESA-12	321
6.4.9.	MASub ESA-15	323
6.4.10.	MASub ESA-19	324
6.4.11.	MASub ESA-20	324
7.	CONDICIONES NATURALES EN LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS	325
7.1.	CONDICIONES NATURALES EN AGUAS SUPERFICIALES	325
7.2.	CONDICIONES NATURALES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	326
8.	OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES.....	330
9.	REVISIÓN DE LA RED Y RECOMENDACIONES	339
9.1.	INTRODUCCIÓN.....	339
9.2.	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PUNTOS DE CONTROL DE LAS REDES DE MONITOREO	346
9.3.	CODIFICACIÓN DE LOS NUEVOS PUNTOS DE CONTROL DE LAS REDES DE MONITOREO	348
9.4.	SELECCIÓN DE BATERÍAS DE ANÁLISIS.....	349



9.5. PRESENTACIÓN DE LAS REDES DE MONITOREO PROPUESTAS.....	351
10. RESUMEN Y CONCLUSIONES	353
11. REFERENCIAS	358

ANEXO I. NORMATIVA DE CALIDAD DEL AGUA

ANEXO II. PLANOS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS

ANEXO III. PLANOS DE PRESIONES Y FUENTES CONTAMINANTES

ANEXO IV. INFORME DE ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE VERTIDOS

ANEXO V. REVISIÓN DE LA RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL DE MARN (DGOA)



1. INTRODUCCIÓN

En El Salvador, la calidad del agua es uno de los principales desafíos socio-ambientales. En las últimas décadas la contaminación de los cuerpos de agua, se ha convertido en un problema grave para la población y los ecosistemas, haciendo que la disponibilidad de los recursos hídricos disminuya enormemente para las diferentes actividades de la población.

La problemática de la contaminación de los recursos hídricos está fundamentalmente ligada al desarrollo de las regiones, asentamientos urbanos, industria, agricultura y ganadería, explotaciones mineras y contaminación transfronteriza, lo que aunado a la falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales, presencia de botaderos en las riberas de la mayoría de los cauces, ausencia de información sobre la contaminación generada por determinados usos -que impide la propuesta e implementación de medidas correctoras adecuadas- y la falta de capacitación y sensibilización de la población, disminuye las posibilidades de sostenibilidad de dichos recursos. Tal y como se refleja en la Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental (MARN, 2013d), *El manejo irresponsable de materiales tóxicos, el abuso de los agroquímicos en la agricultura, la contaminación generalizada de cuerpos de agua por vertidos domésticos e industriales sin ningún tratamiento previo y la presencia de todo tipo de desechos en los espacios públicos, ha generado en El Salvador problemas severos de saneamiento, graves consecuencias en la salud de las personas y los ecosistemas, así como limitadas posibilidades para el desarrollo de las actividades económicas.*

Una de las consecuencias más graves de la mala calidad de las aguas es el problema relacionado con la salud pública. Se registran numerosos casos de enfermedades intestinales debido al consumo tanto de agua, como de alimentos contaminados. Asimismo es de destacar el incremento de casos de insuficiencia renal que se ha producido en los últimos años, posiblemente, asociados a la presencia de metales pesados en el agua de consumo.

De acuerdo a lo referido en la Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental (MARN, 2013d), *Datos del Ministerio de Salud (MINSAL) revelan que durante el año 2011 se identificó la diarrea de presunto origen infeccioso como la sexta causa de consulta con más de 300 mil casos a nivel nacional, los cuales incluyen parasitismo intestinal, fiebre tifoidea, paratifoidea y salmonelosis, estas enfermedades están directamente ligadas a la contaminación hídrica.*

En este punto cabe mencionar también que, debido a la propia geología e hidrogeodinámica del País, pueden aparecer en los recursos hídricos determinados elementos, en principio considerados como contaminantes (metales pesados, boro...) que los limitan para determinados usos, pero que tienen un origen natural y por tanto no se pueden considerar así.

1.1. OBJETIVO DEL INFORME

El presente Informe de Diagnóstico de la Calidad del Agua, tiene como objeto ofrecer una descripción del estado actual de las aguas de El Salvador, identificando en aquellos casos donde haya una mala calidad del agua las causas (presiones) que originan esos efectos. Esto servirá de punto de partida para la elaboración de un Plan de Acción, que introducirá las medidas correctoras necesarias para eliminar los problemas identificados.

El estado de la calidad de las aguas y la identificación de presiones se realizará en base a la información bibliográfica recopilada hasta el momento. Además, en las zonas prioritarias estos trabajos se completarán con campañas de campo donde se realizará por un lado una actualización del inventario de vertidos, y por otro una toma de muestras y determinaciones analíticas en vertidos y cuerpo receptor.



En reuniones mantenidas con el MARN acerca de los trabajos de toma de muestras y determinaciones analíticas, se acordó que la Consultora propusiera mejoras a las Bases del Concurso en cuanto a redistribución de puntos, puntos adicionales y parámetros a medir, con el objeto de realizar una mejor caracterización del recurso hídrico de las zonas prioritarias. En base a estas modificaciones, el Documento de Trabajo que ahora se presenta carece de la información relacionada con las determinaciones analíticas de los puntos finalmente seleccionados para el muestreo, circunstancia no imputable a la Consultora. No obstante, una vez se realicen estos trabajos se presentarán al MARN como un informe adjunto al presente Documento de Trabajo.

Por tanto los objetivos de este Documento de Trabajo se pueden describir de la siguiente manera:

- Ofrecer los resultados de la evaluación de la calidad actual del agua tanto superficial como subterránea, a partir de la información disponible.
- Presentación del inventario de presiones y fuentes de contaminación sobre las masas de agua, con el fin de poder definir unas líneas estratégicas de actuación que ayuden a conservar y/o recuperar el entorno, es decir, permitan identificar las medidas correctoras adecuadas con la priorización correspondiente.
- Plasmar los resultados de verificación de los impactos generados, mediante el cruce de las presiones inventariadas con la calidad del agua obtenida, y así proporcionar las recomendaciones oportunas sobre el diseño de la red de calidad de aguas superficiales, actualmente en explotación por el MARN.

El documento se encuentra estructurado de la siguiente forma: un apartado de información de partida donde consta toda la información empleada para la generación del presente informe en relación con los temas de calidad del agua. Un apartado de gobernanza en el cual se analiza la normativa salvadoreña en materia de calidad de aguas y se proponen criterios internacionales para la realización de una adecuada valoración del estado de las aguas.

Posteriormente se hace un diagnóstico completo de la calidad del agua, identificando las principales causas y fuentes de contaminación, que básicamente son las fuentes puntuales y fuentes de contaminación difusas, y por último se presenta una verificación de los efectos generados por las principales causas de contaminación de las aguas.

El diagnóstico de calidad de las aguas superficiales se muestra por Zona Hidrográfica, las aguas costeras a nivel nacional y las aguas subterráneas a nivel de masa de agua subterránea (MASub)

Adicionalmente se ha incorporado un apartado donde se hace una aproximación, en la medida de lo posible, y siempre a partir de la información disponible, a las condiciones naturales de las aguas superficiales y subterráneas.

Se incluye un apartado de establecimiento de objetivos medioambientales, con los cuales realizar una adecuada gestión del recurso hídrico.

Por último, se realiza una nueva revisión de la red de monitoreo planteada conforme al diagnóstico preliminar realizado, teniendo en cuenta fundamentalmente los resultados obtenidos en la caracterización de masas de agua y vertidos.

1.2. GLOSARIO

Para facilitar la comprensión del presente informe se definen algunos términos de interés dentro del contexto de la planificación hidrológica.



Conceptos del Anteproyecto de la Ley General de Aguas

Acuífero	Cuerpo de agua subterránea existente en formaciones geológicas hidráulicamente conectadas entre sí, por las cuales circulan o se almacenan las aguas del subsuelo.
Aguas continentales	Masas de agua en cualquier estado, seas éstas superficiales, subsuperficiales, subterráneas y atmosféricas, existentes en la porción continental del país que se almacenan en corrientes de agua superficial continuas y discontinuas, embalses, cuerpos de agua subterránea libres o confinadas.
Aguas del subsuelo	Aguas existentes bajo la superficie terrestre en el territorio nacional.
Aguas marinas	Aguas comprendidas en el mar territorial y que incluyen golfos y bahías.
Aguas residuales	Aguas desechadas provenientes de las actividades de diferentes usos: público urbano, público rural, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas. Su composición puede ser variada y presentar sustancias contaminantes disueltas o en suspensión.
Calidad del agua	Son las características fisicoquímicas y biológicas que presentan las aguas superficiales y subterráneas en determinado punto geográfico, en un momento específico y para un uso determinado.
Carga contaminante	Cuantificación de aquellas sustancias de origen antrópico que contiene el agua y que cambian las condiciones físicas, químicas o biológicas, ya sea en forma individual o asociada.
Cauce	Canal natural o artificial que cuenta con la capacidad hidráulica necesaria para que las aguas correspondientes a la creciente o avenida máxima ordinaria escurran sin derramarse.
Caudal	Cantidad de agua expresada en unidad de tiempo que conduce o transporta una corriente, en una sección determinada del cauce.
Contaminación del agua	La acción y el efecto de introducir materias o formas de energía o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una degradación de su calidad en relación con usos posteriores y la preservación del ambiente en el medio acuático. La contaminación del agua incluye la degradación de su entorno.
Contaminante	Sustancia que daña las condiciones físicas, químicas o biológicas del agua, ya sea en forma individual o asociada.
Efluente	Caudal de aguas residuales que sale de la última unidad de conducción o tratamiento.
Embalse	Es la retención de aguas superficiales dentro de un cauce natural a través de la construcción de obras hidráulicas, cuyas aguas pueden ser utilizadas para diversos aprovechamientos.



Gestión integral de los recursos hídricos	Conjunto de acciones y desarrollo de instrumentos destinados a garantizar su calidad, regular los diferentes usos y aprovechamientos del agua y su interacción con otros recursos naturales, con la intervención de la autoridad competente, compartiendo responsabilidades administrativas y financieras con actores sociales usuarios de los recursos hídricos.
Humedales	Extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros.
Medio receptor	Corriente o depósito natural o artificial de aguas superficiales y subterráneas, incluyendo ríos, lagos, lagunas, embalses, cauces, acuíferos, esteros, humedales, marismas, zonas marinas u otros bienes comprendidos en el dominio público hídrico, en los cuales se vierten o descargan aguas.
Recursos hídricos	Comprenden tanto las aguas lluvias, superficiales y las subterráneas, así como los compuestos orgánicos e inorgánicos, vivos o inertes que dicho líquido contiene.
Reservorio	Es una obra de captación de aguas lluvias o de escorrentías superficiales, el cual puede ser de condición natural o artificial.
Río	Corriente de agua continua, de caudal variable y que desemboca en otro cuerpo de agua o en el mar.
Vertido	Descargas de aguas residuales a un medio receptor, las cuales pueden contener sustancias contaminantes disueltas o en suspensión.
Zona hidrográfica	Demarcación geográfica que contiene regiones, cuencas y microcuencas hidrográficas, cuya delimitación y denominación compatibiliza el componente natural con el político con el objetivo de facilitar la aplicación de la presente Ley
<i>Conceptos de la Ley de Medio Ambiente de El Salvador</i>	
Área natural protegida	Aquellas partes del territorio nacional legalmente establecida con el objeto de posibilitar la conservación, el manejo sostenible y restauración de la flora y la fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan alta significación por su función o sus valores genético, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores, de tal manera que preserven el estado natural de las comunidades bióticas y los fenómenos geomorfológicos únicos.
Capacidad de carga	Propiedad del ambiente para absorber o soportar agentes externos, sin sufrir deterioro tal que afecte su propia regeneración o impida su renovación natural en plazos y condiciones normales o reduzca significativamente sus funciones ecológicas.
Conservación	Conjunto de actividades humanas para garantizar el uso sostenible del ambiente, incluyendo las medidas para la protección, el mantenimiento, la rehabilitación, la restauración, el manejo y el mejoramiento de los recursos naturales y ecosistema.



Contaminación	La presencia o introducción al ambiente de elementos nocivos a la vida, la flora o la fauna, o que degraden la calidad de la atmósfera, del agua, del suelo o de los bienes y recursos naturales en general, conforme lo establece la ley.
Contaminante	Toda materia, elemento, compuesto, sustancias, derivados químicos o biológicos, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos en cualquiera de sus estados físicos que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier otro elemento del ambiente, altere o modifique su composición natural y degrade su calidad, poniendo en riesgo la salud de las personas y la preservación o conservación del ambiente.
Control ambiental	La fiscalización, seguimiento y aplicación de medidas para la conservación del ambiente.
Desarrollo sostenible	Es el mejoramiento de la calidad de vida de las presentes generaciones, con desarrollo económico, democracia política, equidad y equilibrio ecológico, sin menoscabo de la calidad de vida de las generaciones venideras.
Desechos	Material o energía resultante de la ineficiencia de los procesos y actividades, que no tienen uso directo y es descartado permanentemente.
Desechos peligrosos	Cualquier material sin uso directo o descartado permanentemente que por su actividad química o por sus características corrosivas, reactivas, inflamables, tóxicas, explosivas, combustión espontánea, oxidante, infecciosas, bioacumulativas, ecotóxicas o radioactivas u otras características, que ocasionen peligro o ponen en riesgo la salud humana o el ambiente, ya sea por sí solo o al contacto con otro desecho.
Ecosistema	Es la unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de éstos con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados.
Impacto ambiental	Cualquier alteración significativa, positiva o negativa, de uno o más de los componentes del ambiente, provocadas por acción humana o fenómenos naturales en un área de influencia definida.
Medio Ambiente	El sistema de elementos bióticos, abióticos, socioeconómicos, culturales y estéticos que interactúan entre sí, con los individuos y con la comunidad en la que viven, determinando su relación y sobrevivencia, en el tiempo y el espacio.
Niveles permisibles de concentración	Valores o parámetros que establecen el máximo grado de concentración de contaminantes que pueden ser vertidos en una fuente, ducto o chimenea, en lugares en donde se efectúa un monitoreo o control de los contaminantes durante el proceso de producción o la realización de una actividad.
Niveles permisibles de exposición	Valores de un parámetro físico, químico o biológico, que indican el máximo o mínimo grado de concentración, o los períodos de tiempos de exposición a determinados elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia en un elemento ambiental puede causar daños o constituir riesgo para la salud humana.
Normas técnicas de	Aquellas que establecen los valores límite de concentración y períodos, máximos o



calidad ambiental	mínimos permisibles de elementos, compuestos, derivados químicos o biológicos, radiaciones, vibraciones, ruidos, olores o combinaciones de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueden constituir un riesgo para la salud o el bienestar humano, la vida y conservación de la naturaleza.
Sustancias peligrosas	Todo material con características corrosivas, reactivas, radioactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o con actividad biológica.
Zona costero-marina	Es la franja costera comprendida dentro de los primeros 20 kilómetros que va desde la línea costera tierra adentro y la zona marina en el área que comprende al mar abierto, desde cero a 100 metros de profundidad, y en donde se distribuyen las especies de organismos del fondo marino. Ley de Medio Ambiente de El Salvador.
Zona de recarga acuífera	Lugar o área en donde las aguas lluvias se infiltran en el suelo, las cuales pasan a formar parte de las aguas subterráneas o freáticas.
	<i>Otros</i>
Demanda de agua	Volumen de agua, en cantidad y calidad, que los usuarios están dispuestos a adquirir para satisfacer un determinado objetivo de producción o consumo. Este volumen será función de factores como el precio de los servicios, el nivel de renta, el tipo de actividad, la tecnología u otros. Definición de acuerdo a la normativa española (Fuente: Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica).
Especies alóctonas	Especies de plantas o animales originarios de un lugar distinto de aquél en que viven, y han sido por tanto introducidas.
Especies autóctonas	En biogeografía, una especie nativa, especie indígena o autóctona es una especie que pertenece a una región o ecosistema determinados. Su presencia en esa región es el resultado de fenómenos naturales sin intervención humana.
Objetivo medioambiental	
Presión	Cualquier actividad humana que incida sobre el estado de las aguas
Presión significativa	Una presión significativa es aquella que supera un umbral definido a partir del cual se puede poner en riesgo el cumplimiento de los objetivos medioambientales en una masa de agua (artículo 3 del Reglamento de la Planificación Hidrológica (RPH), aprobado mediante el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio)
Regiones Hidrográficas	El territorio nacional de la República de El Salvador en C.A. ha sido organizado o dividido por el MARN (2012) en 10 regiones hidrográficas que agrupan diversas cuencas hidrográficas según criterios de homogeneidad geomorfológica
Vertido de agua residual	Agua residual generada por las actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias



de tipo especial	y todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario.
Vertido de agua residual de tipo ordinario	Agua residual generada por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropo y otras similares.
<i>Definiciones de la DMA</i>	
Estado de las aguas subterráneas	Expresión general del estado de una masa de agua subterránea, determinado por el peor valor de su estado cuantitativo y de su estado químico
Estado de las aguas superficiales	Expresión general del estado de una masa de agua superficial, determinado por el peor valor de su estado ecológico y de su estado químico.
Lago	Una masa de agua continental superficial quieta.
Masa de agua subterránea	Un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos.
Masa de agua superficial	Una parte diferenciada y significativa de agua superficial, como un lago, un embalse, una corriente, un río o canal, parte de una corriente, río o canal, unas aguas de transición o un tramo de aguas costeras.

1.3. OTRAS SIGLAS, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ANDA	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
BLGA	Borrador de la Ley General de Aguas de El Salvador de 2012
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DDT	Dicloro Difenil Tricloroetano
DGOA	Dirección General del Observatorio Ambiental
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EPA	Environmental Protection Agency
FAO	Food and Agriculture Organization
LC	Límite de Cuantificación
LMP	Límite Máximo Permissible
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
MASub	Masa de agua subterránea
NSO	Norma Salvadoreña Obligatoria
OMS	Organización Mundial de la Salud



PNGIRH	Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Esta es la sigla correcta según escrito del MARN de 13 de mayo de 2013.
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SST	Sólidos Suspendidos Totales
TDS	Sólidos Totales Disueltos
UDP-GHES	Unión de Personas – Gestión Hídrica de El Salvador
MINSAL	Ministerio de Salud

2. INFORMACIÓN DE PARTIDA

La información de partida que ha sido empleada para realizar este informe sobre los efectos y causas de la contaminación en aguas superficiales y subterráneas ha sido la siguiente:

- Para el diagnóstico de los efectos negativos sobre las aguas superficiales a nivel nacional (en las tres zonas hidrográficas):
 - Diagnóstico Nacional de Calidad Sanitaria de las Aguas Superficiales de El Salvador (Armida, 2007).
 - Diagnóstico nacional de la calidad de las aguas superficiales (MARN-SNET, 2007).
 - Informe de Calidad de Aguas de los Ríos de El Salvador. Año 2009 (MARN-SNET, 2010).
 - Informe de Calidad de Aguas de los Ríos de El Salvador. Año 2010 (MARN-DGOA, 2011a).
 - Informe de Calidad de Agua de los Ríos de El Salvador. Año 2011 (MARN-DGOA, 2012).

Asimismo se dispone de otros estudios a nivel nacional, que sirven de apoyo para este análisis:

 - Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial (MARN, MOP, VMVDU, 2004).
 - Atlas geográfico de los Insectos acuáticos. Indicadores de calidad ambiental de aguas de los ríos de El Salvador. (Hernández et al., 2010).
 - Catálogo de Mapas de Zonas Críticas Prioritarias en Humedales Ramsar de El Salvador. San Salvador. (MARN, 2012c).

- Para el diagnóstico de los efectos negativos sobre las aguas superficiales en la Zona Hidrográfica I-Río Lempa, se ha podido disponer de estudios específicos, adicionalmente a la información referenciada en el ítem anterior:
 - Evaluación de elementos tóxicos en el lago de Güija y sus afluentes ríos Angue, Ostúa y Cusmapa año 2012 (MARN, 2012f).
 - Informe de la Calidad de Agua de la Laguna de Metapán. Año 2010 (MARN-DGOA, 2011b).
 - Evaluación de la calidad del agua de la laguna de Metapán para el año 2012 (MARN, 2012g).
 - Datos de monitoreo del MARN en embalse Cerrón Grande, 2008-2012.
 - Monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del río Lempa, 2003-2008. (CEL, 2010)
 - Medidas de Control de la Contaminación de los Ríos Tomayate y Las Cañas (Biotec, 2010).
 - Análisis del nivel de contaminación de las aguas del río Acelhuate en el tramo zoológico-río Arenal Monserrat y propuesta de un sistema de tratamiento. (Claros & Menjívar, 2010).
 - Caracterización de la subcuenca del río Sucio a través de la evaluación de la calidad del agua y el patrón de dispersión de contaminantes (Barbón, Handall, & Turkish, 2009).
 - Diagnóstico preliminar de los contaminantes químicos y microbiológicos del lago de Güija y laguna de Metapán y su incidencia en la salud de los peces (MARN-FIAES, 2007).
 - Propuesta de monitoreo de fuentes contaminantes en el río Titihuapa (Iraheta & Aurely, 2006).
 - Estrategias de Descontaminación de los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa (MARN, 2002).

- Para el diagnóstico de los efectos negativos sobre las aguas superficiales en la Zona Hidrográfica II-Paz Jaltepeque, se dispone además de los siguientes estudios específicos:
 - El Salvador: Programa de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas en la cuenca entre la Barra de Santiago y El Imposible (Requena & Quintanilla, 1993).
 - Uso del agua en sistemas de riego en el sur de Ahuachapán, El Salvador. Ahuachapán. (UICN, 2005).
 - Informe limnológico sobre la visita de campo en el lago de Ilopango. MARN, 2009 (Monterrosa, 2009).
 - Caracterización del Estero de Jaltepeque, con énfasis en la pesca y la acuicultura (PREPAC, 2006).
 - Diagnóstico de la calidad de agua en época seca en el canal principal del río Jiboa y propuesta de mitigación de fuentes contaminantes, en una zona crítica (Cordero, Franco, & Hernández, 2005).

- Para el diagnóstico de los efectos negativos sobre las aguas superficiales en la Zona Hidrográfica III-Jiquilisco-Goascorán:
 - Monitoreo preliminar de calidad ambiental de bahía de Jiquilisco con base a coliformes fecales. MARN, marzo 2008 (MARN, 2008).
 - Resultados de análisis de plaguicidas, coliformes y metales en la Bahía de Jiquilisco realizados por el MARN en 2012.
 - Estudio para el Establecimiento del Sistema de Monitoreo de la Calidad de las aguas en el Golfo de Fonseca MARN/JICA-2006 (MARN/JICA-BIOTEC, 2006).
 - Resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos en las lagunas de Jocotal y Olomega, realizados por el MARN entre los años 2010-2012.
 - Determinación de la contaminación por plaguicidas en agua, suelo, sedimentos y camarones en los cantones Salinas del Potrero y Salinas de Sisihuayo en la Bahía de Jiquilisco (UCA-FIAES, 2008).

- Para el diagnóstico de los efectos negativos sobre las masas de agua subterráneas se dispone de los siguientes estudios:
 - Informe “Diagnóstico de la Calidad de Aguas Subterráneas, Modelo de Flujo y Evaluación de Riesgo a la Contaminación En Tres Zonas Prioritarias: A) Zapotitán-Opico, B) Subcuenca Río Apanchacal (Santa Ana) y Subcuenca Río Grande de San Miguel (Acuífero San Miguel)”. (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008).
 - Datos de Análisis del MARN en Santa Ana, Zapotitán, San Miguel y Península San Juan del Gozo, 2005-2012.
 - UES. Modelación numérica de flujo del acuífero El Playón, comprendido entre el Cantón Sitio del Niño y el campo de pozos de San Juan Opico administrado por ANDA (Guevara, 2011).
 - Análisis geográfico sobre la calidad del agua de los pozos que utilizan biofiltros al sur de Ahuachapán, departamento de Ahuachapán, El Salvador (Ortiz, 2007).
 - Investigación sobre la calidad del agua en las subcuencas del sur de Ahuachapán. Proyecto BASIM-UICN. (BASIM-UICN, 2005).



- o Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad intrínseca del sistema acuífero del municipio de Nejapa, San Salvador, El Salvador. Universidad de Costa Rica. (Gil, 2007).
- o Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de áreas de recarga en el acuífero de San Salvador. UES. (Barrera M. , 2010).
- o Determinación de la calidad fisicoquímica de las aguas subterráneas según ICA en diferentes pozos de San Salvador y zonas extendidas. UES. (Landaverde & Romero, 2008).
- o Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua de pozo para el consumo humano en las comunidades La Arenera, San Jose y el Progreso del municipio de Concepción Batres en el departamento de Usulután (Herrera, 2012).
- o Determinación de la contaminación microbiológica del agua del manantial El Paterno ubicado en el municipio de Sensuntepeque. Departamento de Cabañas (Cornejo & Esquivel, 2008).
- o Monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del río Lempa (CEL, 2010).
- o Estudio para el Establecimiento del Sistema de Monitoreo de la Calidad de las aguas en el Golfo de Fonseca MARN/JICA-2006 (MARN-JICA-BIOTEC, 2006).
- o Estudios hidrogeológicos para la perforación de pozos de ANDA.
- Para la identificación de las causas y fuentes de contaminación sobre las aguas superficiales y subterráneas:
 - o En cuanto a presiones inventariadas la información se obtenido principalmente de los siguientes documentos:
 - Levantamiento de fuentes contaminantes del recurso hídrico (Ventura, 2005).
 - Consultoría “Análisis del marco técnico y jurídico de las aguas residuales (manejo, reuso de aguas, con caracterización y disposición de lodos; y propuesta de normas técnicas)” (MARN-AMBIENTEC, 2008).
 - Listado de 20 PTAR gestionadas por ANDA.
 - Consultoría para realizar el análisis del resultado de las muestras tomadas en tramo del río Sucio y elaboración de informe parcial por estación (Castellanos, 2011).
 - Medidas de Control de la Contaminación de los Ríos Tomayate y Las Cañas (Biotec, 2010).
 - Caracterización y aforo de aguas residuales en descargas del alcantarillado sanitario a cuerpos receptores de la ciudad de Santa Ana, municipio y departamento de Santa Ana. Informe final. (BID-SC, 2013).
 - Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca sur del río Acelhuate conformada por los ríos Ilohuapa y El Garrobo, y propuesta de mitigación de fuentes contaminantes. (Flamenco, 2009).
 - Vertidos de la cuenca del río Grande de Sonsonate (elaboración propia).
 - Segundo Censo Nacional de Desechos Sólidos Municipales (MARN-BID, 2009).
 - Listado de botaderos cerrados aportado por el MARN.
 - Listado de rellenos sanitarios aportado por el MARN.
 - Servicios de consultoría para la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) del sector minero metálico de El salvador (MINEC, 2011).

- Seminario- Agua y Cuencas en ES: Gestión y Desarrollo. Realizado los días 19 y 20 de junio de 2013 en San Salvador.
 - Registro de Bocatomas del El Salvador durante el período 2012-2013, aportado por el MAG. (MAG, 2013b).
 - Registro de ciclo de riego en el 2012, aportado por el MAG. c
 - Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2011 – 2012 (DHJ, 2013).
 - IV Censo Agropecuario 2007-2008.
 - Informe del Proceso de la Declaratoria de Emergencia Ambiental por contaminación de plomo en Cantón Sitio del Niño (Agosto 2010-Septiembre 2012), (MARN, 2012j).
 - Estadísticas pesqueras y acuícolas, Volumen 33. Año 2006 (CENDEPESCA, 2007).
 - Pecuario y Acuícola (MAG, 2013k).
 - Desarrollo de la cadena de valor para los productos de acuicultura continental y sus derivados. Modelo productivo para la MIPYME acuícola continental de El Salvador (MINEC-BID, 2011).
 - Catálogo de Mapas de Zonas Críticas Prioritarias en Humedales Ramsar de El Salvador (MARN, 2012c).
 - La dinámica agroambiental de la zona norte del humedal Cerrón Grande (Díaz et al, 2010).
 - Evaluación del impacto de las aguas residuales provenientes de la producción de camarón sobre las características físico químicas del agua de la Bahía de Jiquilisco (UCA-FIAES, 2010)
 - El cultivo de camarón marino en la Bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador (Hernández, 2006).
 - Diagnóstico y monitoreo de la calidad del agua del río Sucio en el Valle de San Andrés. Santa Tecla (Cabrales & García, 2011).
 - Documento de diagnóstico del Bajo Lempa y Estero de Jaltepeque. (RIMISP, 2012).
 - Evaluación del impacto de las aguas residuales provenientes de la producción de camarón sobre las características físico químicas del agua de la Bahía de Jiquilisco (UCA-FIAES, 2009).
 - Evaluación de la disponibilidad hídrica de La subcuenca La Quebradona, cuenca alta del Río Lempa (Medina, 2009).
 - Propuesta de monitoreo de fuentes contaminantes en el río Titihuapa (Iraheta & Aurely, 2006).
 - Plan de desarrollo territorial para el Valle de San Andrés. Síntesis del informe final (INYPSA, 2000).
 - Capa *Shape* de Usos del Suelo.
- o Los informes consultados que disponen de datos de análisis de vertidos, son los siguiente:
- Caracterización y aforo de aguas residuales en descargas del alcantarillado sanitario a cuerpos receptores de la ciudad de Santa Ana, municipio y departamento de Santa Ana. Informe final. (BID-SC, 2013).
 - Diagnóstico y monitoreo de la calidad del agua del río Sucio en el Valle de San Andrés. Santa Tecla (Cabrales & García, 2011).



- Consultoría “Análisis del marco técnico y jurídico de las aguas residuales (manejo, reuso de aguas, con caracterización y disposición de lodos; y propuesta de normas técnicas)” (MARN-AMBIENTEC, 2008).
- Levantamiento de fuentes contaminantes del recurso hídrico (Ventura, 2005).
- Resultados monitoreo de aguas residuales. Proyecto Piloto “Monitoreo de la Calidad del Agua Descargada al Río Sucio y sus impactos sobre éste. (MARN)
- Informe Anual Ambiental Año 2011 de la actividad “Zona Franca y Parque Industrial San Marcos” Resolución MARN-No.9918-653-2007. (Títulos, Bienes y Valores, S.A. de C.V., 2013).
- Informe Ambiental Año 2011. (Agroindustrias Alarcón S.A. de C.V., 2011)
- Industrias la Constancia (Planta Nejapa) -Coca-Cola.
- Informe ambiental IMACASA.
- Análisis de efluentes en 5 PTAR de ANDA.

3. GOBERNANZA

En el presente acápite se inicia con una revisión del marco normativo general en el que se enmarca el presente Documento de Trabajo. Posteriormente, se presenta un análisis específico de la normativa en materia de calidad de aguas a nivel nacional, que es complementada con otros criterios y recomendaciones aceptadas a nivel internacional, en aquellos parámetros en los que se ha estimado oportuno dado su interés para la interpretación del estado general de la calidad de las aguas. En su mayoría son criterios enfocados a un uso determinado, ya sea el consumo humano a través de aguas crudas que van a ser objeto de un tratamiento convencional previo, el uso del recurso hídrico como agua potable, el uso para el riego de los cultivos, criterios que se establecen como beneficiosos para el mantenimiento de la vida piscícola, así como para uso recreativo. En este mismo acápite se indica por tanto los criterios empleados para la valoración de la calidad de las aguas superficiales, subterráneas y sedimentos en el presente Documento Técnico de Trabajo. Para mayor detalle se recomienda consultar el **Anexo I. Normativa**, en el que se muestran las distintas normas de calidad, límites máximos permisibles y recomendaciones para cada parámetro y uso, así como una indicación de la fuente de información de la que éstos han sido extraídos.

3.1. MARCO NORMATIVO GENERAL

A continuación se enumera las principales normas de aplicación en el marco del presente documento:

1. **Estrategia Nacional de Recursos Hídricos** (2013)- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. San Salvador - El Salvador (MARN, 2013b).
2. **Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental** (2013)- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. San Salvador - El Salvador (MARN, 2013d).
3. **Política Nacional de Medio Ambiente** (2012) - Consejo de Ministros del 30-05-2012, San Salvador - El Salvador (Consejo de Ministros, 2012).
4. **Anteproyecto de Ley General de Aguas** - Presidencia de la República de El Salvador -Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (22-03-2012) – San Salvador - El Salvador.
5. **Ley de Ordenamiento y Desarrollo Territorial**-Decreto Legislativo N° 644 del 28-07-2011; publicado en Diario Oficial N° 143, Tomo N° 392 del 29-07-2011 (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 2011).
6. **Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para Agua Potable**. Publicada en el Diario Oficial el 12 de Junio de 2009, Tomo 383 Número 109 (Ministerio de Economía, 2009a).
7. **Norma de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor** Acuerdo N° 249 Órgano Ejecutivo en el ramo de Economía 3-03-2009 (Ministerio de Economía, 2009b).
8. **Ley General de Ordenación y Promoción de la Pesca y Acuicultura (CENDEPESCA)** - Decreto Legislativo N° 637, del 13-12-2001; Diario Oficial N° 240, Tomo N° 353, del 19-12-2001 (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 2001).
9. **Reglamento Especial de Aguas Residuales** - Decreto Ejecutivo N° 39 del 31 de mayo de 2000, Diario Oficial N° 101 Tomo 347 del 01-06-2000 (MARN, 2000).



10. El **Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad de Ambiental**-Decreto No. 40 del 31-05-2000. Presidencia de la República de El Salvador, San Salvador-El Salvador. (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 2000).
11. **Ley del Medio Ambiente** - Decreto Legislativo N° 233 del 2-03-1998; publicado en Diario Oficial N° 79, Tomo N° 339 del 4-05-1998 (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1998).
12. **Ley de Minería** -Decreto legislativo. No. 544.-14-12-1995- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, San Salvador - El Salvador (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1995).
13. **Reglamento sobre la calidad del Agua, el control de Vertidos y las Zonas de Protección** - Decreto Ejecutivo No. 50 del 16 -10-1987- Presidencia de la República de El Salvador, San Salvador-El Salvador (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1987).
14. **Decreto No 51** . Diario Oficial del 16 de noviembre de 1987. Introduce reformas en el Reglamento sobre la Calidad del Agua, el Control de Vertidos y las Zonas de Protección (Decreto No. 50, 1987).
15. **Ley sobre Gestión Integrada de Recursos Hídricos** - Decreto Ley N° 886, del 2-12-1981; publicada en el Diario Oficial N° 221, Tomo N°273 del 2-12-1981 (Asamblea Legislativa, 1981).
16. **Ley de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)** - Decreto Ley N° 341, de fecha 17-10-1961; publicado en Diario Oficial N° 191, Tomo N° 193 del 19-10-1961. Reformado mediante el Decreto Ley N° 517, del 5-12- 1980, publicado en el Diario Oficial N° 230, Tomo N° 269, del 5-12-1980 (Asamblea Legislativa, 1980).
17. **Ley sobre Control de Pesticidas, Fertilizantes y Productos para uso Agropecuario** - Decreto Legislativo N° 315, del 24 de abril de 1973; publicado en el Diario Oficial N° 85, Tomo N° 239 del 10-05-19 (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1973).
18. **Ley de Riego y Avenamiento** – Decreto Legislativo N° 153-11-11-1970 Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, San Salvador - El Salvador (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1970).
19. **Ley de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del río Lempa**. Publicada en el Diario Oficial N° 120, Tomo N° 145, del 27 de septiembre de 1948 (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1948).
20. **Ley Agraria**-Decreto Legislativo N°. 60, del 22-08-1941; Diario Oficial N° 66, Tomo N° 132 del 21-03-1942 (Asamblea Legislativa, 1941).
21. **Ley de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del río Lempa Decreto N° 137 – 18-09-1948** - Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, El Salvador. (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1948)

3.2. ANÁLISIS ESPECÍFICO DE LA NORMATIVA EN MATERIA DE CALIDAD DE AGUAS, VERTIDOS Y SEDIMENTOS

Se ha realizado un importante trabajo de revisión bibliográfica de las distintas normas existentes en el país y de los criterios internacionales más apropiados, siendo aquellos establecidos por la OMS, FAO y EPA principalmente, para los distintos usos del agua.

A nivel nacional se dispone de normas de calidad deseables para aguas crudas superficiales, que solamente requieren un sistema de tratamiento convencional para su consumo, para irrigación y para propagación piscícola, normas que se especifican en el **Decreto No 51. Diario Oficial del 16 de noviembre de 1987**, que introduce reformas en el Reglamento sobre la Calidad del Agua, el Control de Vertidos y las Zonas de Protección (Decreto No. 50, 1987). Sin embargo, se estima oportuno añadir algunos criterios de valoración adicionales en función del uso, según criterios internacionalmente aceptados, como son los siguientes:

- En materia de aguas crudas se estima que el Decreto No 51 puede ser complementado con algunos matices, como la valoración de ciertos parámetros exigidos en la **Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para Agua Potable**, publicada en el Diario Oficial el 12 de Junio de 2009, Tomo 383 Número 109 (Ministerio de Economía, 2009a). El motivo se centra en que algunos de estos parámetros, como es el caso del cobre, el zinc y los nitratos, no son eliminados por tratamientos convencionales, por lo que deben ser bajos en las aguas crudas, al menos al nivel especificado en la citada norma. También se han incorporado algunos parámetros incluidos en el **Decreto Supremo 002-2008-MINAM de Perú** (República del Perú, 2008), **por el que se aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua** para la Clase A2 – Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, como es el caso de los aceites y grasas, la conductividad eléctrica, los detergentes, la DQO, el nitrógeno amoniacal y los nitritos.

A este respecto, se indica que las normativas en Honduras y Guatemala no especifican límites máximos permisibles para este uso, motivo por el cual se ha optado por asumir las de Perú, que sí contempla este uso en su normativa.

- En materia de calidad para irrigación, la UDP-GHES estima que los criterios especificados por el Decreto 51 pueden ser complementados por aquellos definidos por entidades de importancia internacional, como es el caso de la **FAO (Water quality for agriculture). FAO, 1985** (FAO, 1998). Es por este motivo que en los criterios de valoración de la calidad de agua para este uso se han incluido gran cantidad de parámetros estimados como importantes según esta institución, como es el caso de metales como el aluminio, manganeso, arsénico, berilio, cadmio, cobalto, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y selenio, y otros elementos y compuestos como amonio, bicarbonatos y carbonatos, fluoruros, fosfatos y nitratos, litio, sodio, magnesio, calcio, potasio, pH y sólidos totales disueltos. Adicionalmente se entiende que los coliformes fecales es un parámetro de gran relevancia, por lo que se asume el criterio de calidad establecido por la OMS.
- En lo que se refiere a la propagación piscícola, se ha interpretado que resultan de gran relevancia parámetros especificados por la **EPA (Quality Criteria for Water - Goldbook. EPA, 1986; National Recommended Water Quality Criteria. EPA, 2006)** (EPA, 1986), que facilita límites máximos a partir de los que pueden producirse efectos agudos y crónicos sobre la vida piscícola para los siguientes parámetros que han sido incorporados a los criterios de valoración: amonio, fosfatos, sólidos totales disueltos, arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, selenio, zinc, y compuestos como DDT, aldín, malatión, entre otros.

Adicionalmente, se estima de gran interés el uso recreativo por contacto directo que, aunque no está contemplado en el Decreto 51, sí se contempla en el **Decreto Supremo 002-2008-MINAM de Perú** (República del Perú, 2008) y por criterio de la **OMS**, por lo que se analizan los siguientes parámetros para realizar la valoración de la calidad de las aguas para uso recreativo por contacto directo: coliformes fecales, DBO₅ y DQO, detergentes, nitratos y nitritos, sulfuros, turbiedad, oxígeno disuelto y pH.



Cabe destacar, que **no existe ninguna normativa nacional específica de aguas subterráneas** con la que poder realizar una valoración de la calidad de la misma. Dado que el uso mayoritario de las aguas subterráneas es para el abastecimiento humano, se ha considerado oportuno tomar como referencia la **Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para Agua Potable**, para la valoración de la calidad del agua subterránea. Esta norma se estima suficientemente completa, aunque no contempla todos los parámetros incluidos en su primera versión, **Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:99 para Agua Potable** (MINSAL-CONACYT-COSUDE, 1999).

Es importante mencionar, que se tendrá en cuenta que alguno de los límites establecidos para ciertos parámetros no pueden ser directamente aplicables a el agua subterránea dado que se deber tomar en consideración las características hidrogeoquímicas naturales del agua.

Es por ello por lo que en aquellos casos en los que el parámetro en cuestión no esté disponible en la segunda actualización (NSO 13.07.01:08), se asumirá el criterio especificado en la NSO 13.07.01:99.

Por otra parte, en materia de vertidos a cuerpo receptor en la normativa salvadoreña se dispone de la **Norma de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor** Acuerdo N° 249 Órgano Ejecutivo en el ramo de Economía 3-03-2009 (Ministerio de Economía, 2009b). En un análisis en profundidad de la citada norma, se tiene conocimiento de que ha adoptado límites de vertido de aguas residuales de tipo especial (industriales) muy similares a los de la Norma costarricense, "Reglamento de Reúso y Vertido de Aguas Residuales" del año 1997¹ que está incluida como referencia bibliográfica en la Norma Salvadoreña. Ambas Normas establecen valores límite de vertido mayores para las aguas residuales industriales que para las aguas residuales ordinarias. En opinión de la UDP-GHES, las dos normas se caracterizan por ser poco estrictas en cuanto a estos límites de vertido, que más bien corresponderían a unos valores máximos para su vertido al alcantarillado.

La Norma de Costa Rica de 1997 fue sustituida por otra Norma en 2007 introduciendo cambios en cuanto a valores máximos de vertido.

Las siguientes normas a las que se hace referencia en la bibliografía del Anexo A de la Norma Salvadoreña, son más estrictas:

- Colombia: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.
- Venezuela: Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.

También la Normativa española es mucho más exigente en cuanto al vertido de aguas residuales industriales.

Sólo la Norma Costarricense (1997 y 2007) y la Salvadoreña, imponen mayores límites de vertido a las aguas residuales de tipo especial a cuerpo receptor que los de vertidos ordinarios. Las otras normas mencionadas distinguen entre vertidos especiales al alcantarillado y a cauce receptor, siendo en este último caso los límites iguales a los que se imponen al vertido de aguas residuales municipales. Esto parece lógico, ya que no tiene sentido ser menos estricto cuando el origen del agua residual es industrial y no urbana. Otro cosa, que sí tiene sentido, es que se permita verter al alcantarillado aguas residuales de tipo especial con una concentración mayor, para su posterior tratamiento en una PTAR.

Con todo lo analizado, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

¹ El Reglamento costarricense de 1997 fue sustituida por un nuevo Reglamento de 2007

- La Norma Salvadoreña de descarga de Aguas Residuales a Cuerpo Receptor permite valores límite de descargas de SST, Sólidos Sedimentables, Aceites y grasas, DQO y DBO₅, mayores para las aguas residuales especiales que para las aguas residuales ordinarias (ver Tabla 1 y Tabla 2).
- Se estima inadecuado que se permita a las industrias descargar a cuerpo receptor con concentraciones mucho más elevadas que las de las descargas urbanas. Puede permitirse a las industrias verter con mayores concentraciones, pero al alcantarillado para su posterior tratamiento en una PTAR.
- Existe una Norma Técnica de ANDA denominada *“Norma para Regular la Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario”* que regula los límites de vertido al alcantarillado en cuanto a SST, Sólidos Sedimentables, DQO y DBO₅ y algunos de los valores denominados complementarios en la Norma Salvadoreña de Aguas Residuales Descargadas a Cuerpo Receptor. Los límites de vertido a alcantarillado son menores que los establecidos para el vertido aguas residuales especiales a cuerpo receptor, aunque son ligeramente superiores que para aguas residuales ordinarias en el caso de DQO, DBO₅, Sólidos Sedimentables, SST, Aceites y grasas. En cuanto a los parámetros complementarios, los límites de la Norma Técnica son mayores que los de la Norma Salvadoreña.
- Por todo lo dicho anteriormente se estima que, las descargas de aguas residuales a cuerpo receptor, sean de tipo ordinario o especial, deben cumplir en todo caso con la Normativa Salvadoreña de vertido de aguas de tipo ordinario para los parámetros anteriormente indicados. También deberán cumplir con los límites de los parámetros complementarios establecidos en la Norma Salvadoreña a cauce receptor.
- En el caso de vertido a alcantarillado y si existe PTAR debería cumplir la Norma Técnica de ANDA para vertidos al alcantarillado (ver Tabla 3).

Tabla 1: Límites de vertido especificados por la Norma Salvadoreña de Aguas Residuales Descargadas a Medio Receptor, para el caso de aguas residuales de tipo ordinario.

PARÁMETRO	LÍMITE DE VERTIDO
DQO, mg/l	150
DBO ₅ , mg/l	60
Sólidos Sedimentables, ml/l	1
SST, mg/l	60
Aceites y grasas, mg/l	20
N total, mg/l	-
NTK, mg/l	-
P total, mg/l	-

Tabla 2: Valores máximos permisibles para los parámetros complementarios, según la Norma Salvadoreña de Aguas Residuales para aguas residuales especiales Descargadas a Medio Receptor.

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y grasas	mg/l	20-200



PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE
Aluminio (Al)	mg/l	5
Arsénico (As)	mg/l	0.1
Boro (B)	mg/l	1.5
Cadmio (Cd)	mg/l	
Cianuro Total (CN)	mg/l	0.5
Cinc (Zn)	mg/l	5
Cobalto (Co)	mg/l	0.05
Cobre (Cu)	mg/l	1
Color Real		-
Compuestos fenólicos	mg/l	0.5
Cromo hexavalente (Cr ⁺⁶)	mg/l	0.1
Cromo total (Cr)	mg/l	1
DBO ₅	mg/l	60-3,000
Detergentes (SAAM)	mg/l	10
DQO	mg/l	100-3,500
Fluoruros (F)	mg/l	5
Fósforo Total (P)	mg/l	15
Herbicidas totales	mg/l	-
Hidrocarburos	mg/l	-
Hierro total (Fe)	mg/l	10
Manganeso total (Mn)	mg/l	2
Materiales Flotantes	mg/l	Ausentes
Mercurio (Hg)	mg/l	0.01
Molibdeno (Mo)	mg/l	0.01
Níquel (Ni)	mg/l	0.2
Nitrógeno Total (N)	mg/l	50
Organoclorados	mg/l	0.05
Órgano fosforados y Carbamatos	mg/l	0.1
pH	mg/l	5.5-9
Plata (Ag)	mg/l	0.2
Plomo (Pb)	mg/l	0.4
Selenio (Se)	mg/l	0.05
Sólidos Sedimentables	ml/l	10-75
Sólidos suspendidos totales	mg/l	30-1,000
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	mg/l	1,000
Sustancia radioactivas	-	Ausente
Temperatura	°C	20-35
Vanadio (V)	mg/l	1



- o En el caso de vertido a alcantarillado y si existe PTAR debería cumplir la Norma Técnica de ANDA para vertidos al alcantarillado.

Tabla 3: Valores máximos permisibles según la Norma Técnica de ANDA para vertidos al alcantarillado.

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y grasas	mg/l	150
Aluminio (Al)	mg/l	10
Arsénico (As)	mg/l	1.0
Boro (B)	mg/l	3
Cadmio (Cd)	mg/l	0.1
Cianuro Total (CN)	mg/l	1
Cinc (Zn)	mg/l	5
Cobalto (Co)	mg/l	0.5
Cobre (Cu)	mg/l	3
Color Real		
Compuestos fenólicos	mg/l	5
Cromo hexavalente (Cr ⁺⁶)	mg/l	0.5
Cromo total (Cr)	mg/l	3
DBO ₅	mg/l	400
Detergentes (SAAM)	mg/l	35
DQO	mg/l	1,000
Fluoruros (F)	mg/l	6
Fósforo Total (P)	mg/l	45
Herbicidas totales	mg/l	0.1
Hidrocarburos	mg/l	20
Hierro total (Fe)	mg/l	20
Manganeso total (Mn)	mg/l	4
Materiales Flotantes	mg/l	Ausentes
Mercurio (Hg)	mg/l	0.02
Molibdeno (Mo)	mg/l	4
Níquel (Ni)	mg/l	4
Nitrógeno Total (N)	mg/l	100
Organoclorados	mg/l	0.05
Órgano fosforados y Carbamatos	mg/l	0.25
pH	mg/l	5.5-9.0
Plata (Ag)	mg/l	3
Plomo (Pb)	mg/l	1.0
Selenio (Se)	mg/l	0.15



PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE
Sólidos Sedimentables	ml/l	20
Sólidos suspendidos totales	mg/l	450
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	mg/l	2,000
Sustancia radioactivas	-	Ausente
Temperatura	°C	20-35
Vanadio (V)	mg/l	5

Por último, se dispone de algunos datos de contaminantes en los sedimentos, por lo que éstos serán valorados conforme a los criterios especificados por la **normativa holandesa (Circular on target values and intervention values for soil remediation)** (Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Netherland, 2000) en su anexo A (Valores objetivo y de intervención en suelo/sedimentos), y su actualización según la **Soil Remediation Circular 2009 de Edsat** (Soil Remediation Circular, 2009); y acorde además con los criterios especificados por **Long et al., 1998 (Predicting toxicity in marine sediments with numerical sediment quality guidelines. Environ Toxicol Chem 17:714–727 (Long, Field, & MacDonald, 1998).**

4. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES POR ZONA HIDROGRÁFICA

En el presente acápite se realiza un diagnóstico de la calidad de las aguas superficiales del territorio de El Salvador, organizado por zona hidrográfica.

En primer lugar se presenta un análisis detallado para la Zona Hidrográfica Lempa. Para esta zona se describe en primer lugar la red de control en explotación por parte de MARN (DGOA), indicando para cada caso las campañas realizadas en el marco de la citada red, la ubicación de los puntos de monitoreo, y los parámetros analizados (apartado “DESCRIPCIÓN DE LA RED DE CONTROL DE MARN (DGOA) EN LA ZONA HIDROGRÁFICA I – RÍO LEMPA”). Posteriormente se muestran los resultados obtenidos en comparación con la normativa de referencia expuesta en el apartado 3.2. ANÁLISIS ESPECÍFICO DE LA NORMATIVA EN MATERIA DE CALIDAD DE AGUAS, VERTIDOS Y SEDIMENTOS, del presente documento. En primer lugar se realiza un análisis paramétrico de los datos para los distintos usos (apartado “Análisis paramétrico de los datos en función del uso”), seguido de un análisis de la representatividad de la información analizada (apartado “Principales observaciones a la representatividad de los datos”), y finalizando con un análisis en detalle de la evolución de los principales parámetros de calidad en la zona hidrográfica, a lo largo de las distintas campañas (apartado “Análisis espacio temporal de la calidad de las aguas”). Para una mejor comprensión de este último apartado, se recomienda consultar los planos disponibles en el Anexo II al presente Documento de Trabajo, en el que se muestra la evolución espacio temporal de los principales parámetros de calidad analizados.

Además de este análisis de detalle a partir de los datos de la red de MARN (DGOA), se muestran también los principales resultados y conclusiones que se pueden extraer a través de la información contenida en gran cantidad de estudios específicos realizados en determinadas ubicaciones de la zona hidrográfica en cuestión. De estos estudios específicos vuelven a exponerse los principales campañas de monitoreo realizadas, las estaciones estudiadas y los parámetros estudiados.

Una vez presentados los principales resultados, se procede a analizar las “Principales causas y fuentes de contaminación en la Zona Hidrográfica I – Río Lempa”, que básicamente son las fuentes puntuales (vertidos ordinarios y especiales, y pesca y acuicultura), y fuentes de contaminación difusas (botaderos, rellenos sanitarios y suelos contaminados; actividad agrícola; explotaciones ganaderas, zonas mineras).

Asimismo es importante mencionar otros tipos en aguas superficiales, resultantes de la actividad humana de difícil tipificación y que no pueden englobarse en las presiones anteriormente citadas, como son las causadas por especies alóctonas.

En la Estrategia Nacional de Biodiversidad (MARN, 2013e), se menciona la problemática de las especies invasoras vegetales y animales que debido a los desequilibrios de los ecosistemas se propaguen sin control.

Algunas de las especies que cita son: la Tilapia (*Oreochromis Sp.*), el Guapote tigre (*Cichlasoma sp.*), el Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) o el Pato Chanco o Cormorán Neotropical (*Phalacrocorax Brasiliensis*).

La Tilapia (*Oreochromis Sp.*) y el Guapote tigre (*Cichlasoma sp.*), junto con la Carpa espejo (*Cyprinus carpio specularis*), fueron introducidos en lagos y lagunas en los años 50, desplazando a las especies nativas y provocando la amenaza o extinción de la especie autóctona.

Las especies más capturadas en los lagos de Güija, Coatepeque e Ilopango fueron la Tilapia y el Guapote Tigre, y muy por debajo especies nativas como la Mojarra Negra (*Diplodus vulgaris*) y el Ejote (*Melaniris sp.*).

Por otro lado, debido al elevado nivel de nutrientes en embalses, lagos y lagunas se propicia la proliferación de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*), el cual provoca problemas para la pesca artesanal, problemas de navegación, impide la entrada de luz hacia la lámina de agua con la posible caída de la productividad primaria de los ecosistemas, etc. Algunos cuerpos de agua afectados por la presencia de esta planta son los embalses Cerrón Grande, 5 de noviembre y 15 de septiembre, así como las lagunas de Metapán, Olomega, El Jocotal y El Espino.

Por último, otro caso grave es la proliferación del Pato Chancho o Cormorán Neotropical (*Phalacrocorax Brasilianus*) que ha incrementado su población provocando un aumento en la depredación de peces en los humedales. Además, los Cormoranes no tienen depredadores naturales, ya que los que podrían serlo (serpientes, zorros y tacuazines) han desaparecido del entorno, y los mamíferos no tienen acceso a las islas donde habitan estas aves.

En el Catálogo de Mapas de Zonas Críticas Prioritarias en Humedales Ramsar de El Salvador (MARN, 2012c), también aparecen las especies invasoras Pato Chancho y Jacinto de Agua.

En la Figura 1 se muestra la ubicación en los cuerpos de agua de las especies invasoras catalogadas.

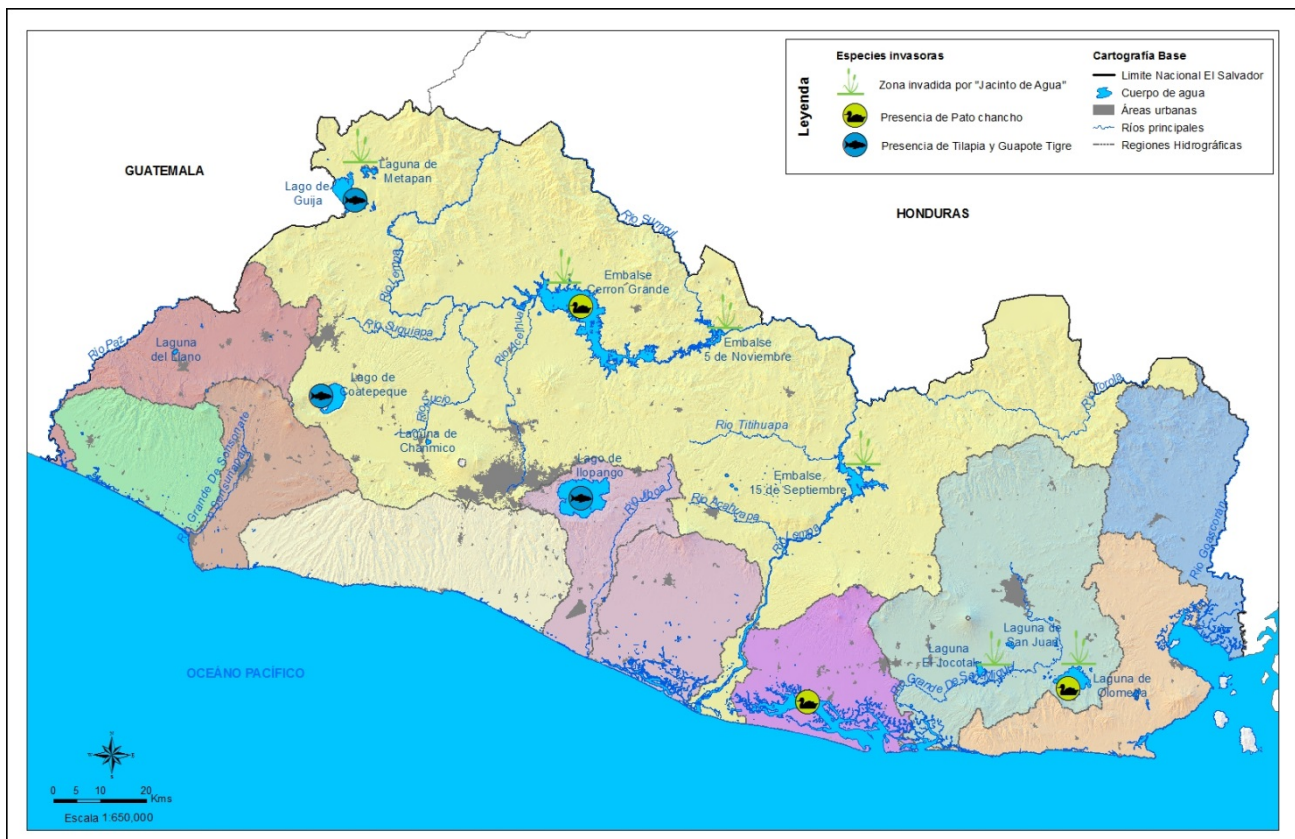


Figura 1. Especies invasoras de El Salvador.

Por otro lado en las aguas costeras también se da este tipo de problemas, como la presencia del alga roja exótica *Acanthophora spicifera* que invaden el fondo marino y puede ocasionar daños en los arrecifes coralinos. Asimismo se dan fenómenos de floraciones masivas de algas, que liberan toxinas y causan mortandades de especies animales.

Por último, se procede a presentar la “Verificación de los efectos generados por las principales causas de contaminación en la Zona Hidrográfica I-Río Lempa”, que por el momento se circunscribe a la información histórica disponible, y que en el futuro próximo será complementado con la información recabada en campo, a través de una campaña de monitoreo in situ, que se adjuntará posteriormente al Documento de Trabajo.

La organización anteriormente comentada es extensible a las Zonas Hidrográficas II – Paz-Jaltepeque y III – Jiquilisco-Goascorán, con la diferencia de que en estos dos casos, los principales resultados se muestran organizados por Región Hidrográfica.

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE CONTROL DE MARN (DGOA) EN LA ZONA HIDROGRÁFICA I – RÍO LEMPA

El MARN cuenta con una red nacional de sitios de muestreo, de la que se dispone información detallada a través de los informes de calidad de aguas de los ríos de El Salvador, editados por dicha institución para los muestreos realizados a lo largo de los años 2009 (MARN-SNET, 2010), 2010 (MARN-DGOA, 2011) y 2011 (MARN-DGOA, 2012). También se dispone de datos analíticos recabados en los años 2006 y 2007.

En este marco, se dispone de información de un total de 4 grandes monitoreos realizados por el MARN a nivel estatal, distribuidos en los siguientes periodos:

- 114 sitios entre noviembre de 2006 y marzo del 2007.
- 124 sitios del 12 de marzo al 19 de junio del 2009.
- 124 sitios entre abril y julio del año 2010.
- 123 sitios del 26 de abril al 17 de julio de 2011.

A continuación (Tabla 4) se relacionan los sitios de muestreo ubicados en la Zona Hidrográfica I – Río Lempa, que son un total de 59 (MARN-DGOA, 2012):

Tabla 4: Sitios de muestreo en el cuerpo receptor, pertenecientes a la Red de control de la calidad de aguas de los ríos de El Salvador, de la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la Zona Hidrográfica I – Río Lempa, para el periodo 2006-2011 (MARN-DGOA, 2012).

Nº	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN	REGIÓN HIDROGRÁFICA
1	A-01-ACAHU	Río Acahuapa, cantón Soyatero, San Vicente	Lempa
2	A-01-ANGUE	Río Angue, Entre Sitio Quebrada Honda y El Amatal o el Puntito, Metapán.	Lempa
3	A-01-CHIMA	Río Chimalapa, Caserío el Carmen Metapán, Santa Ana.	Lempa
4	A-01-CUSMA	Río Cusmapa, Cantón y Crío las piletas, Quebrada la cañada, Metapán.	Lempa
5	A-01-GRAMA	Río El Gramal, Cantón y Crío El Gramal, Antes de Tierra Blanca, Chalatenango.	Lempa
6	A-01-GRAND	Río Grande, Caserío Los Cortéz, Chalatenango	Lempa



N°	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN	REGIÓN HIDROGRÁFICA
7	A-01-GUAJO	Río Guajoyo, antes de estación San Francisco Guajoyo, aguas abajo Quebrada los Filines, Metapán.	Lempa
8	A-01-JUPUL	Río Jupula, antes de llegar a Loma Los Muertos, San Ignacio, Chalatenango.	Lempa
9	A-01-LEMPA	Río Lempa, después de su ingreso al país en Estación Hidrométrica Citalá	Lempa
10	A-01-LSUCIO	Río Sucio, calle de Tenancingo a Suchitoto, Cuscatlán	Lempa
11	A-01-MATAL	Río Matalapa, Contiguo a Parque Saburo Hirao, San Salvador	Lempa
12	A-01-METAY	Río Metayate, cantón San Antonio, Chalatenango	Lempa
13	A-01-NUNUH	Río Nunuhuapa, Hacienda El Refugio, El Zarzal, Chalatenango.	Lempa
14	A-01-OSTUA	Río Ostúa, Hacienda La Portada, Metapán.	Lempa
15	A-01-QUEZA	Río Quezalapa, calle entre Tenancingo y Suchitoto	Lempa
16	A-01-RSAPO	Río Sapo, cantón Poza Honda, Meanguera, Morazán	Lempa
17	A-01-RTAMA	Río Tamarindo, parte más alta del Río, Cantón y caserío Las Piñuelas, 100 aguas abajo del puente de la calle que conduce a San Luis la reina, San Miguel	Lempa
18	A-01-RTITI	Río Titihuapa, 150 mts aguas abajo del puente de la calle a San Isidro y 500mts aguas abajo de la desembocadura del Río San Isidro ,Cantón Santa Rosa, San Vicente	Lempa
19	A-01-SANJO	Río San José, Finca San francisco, Aguas abajo quebrada: La quebradota, Metapán.	Lempa
20	A-01-SANSI	Río San Simón, cantón los Orcones, Distrito de Riego Lempa Ahuachapán	Lempa
21	A-01-SESOR	Río Sesori, tributario del río El Tamarindo, Paso Santa Cruz, aguas abajo del municipio de Sesori, San Miguel	Lempa
22	A-01-SUCIO	Río Sucio, Cerro de Plata, Distrito de Riego de Zapotitán	Lempa
23	A-01-SUMPU	Río Sumpul, antes del pueblo San Fernando, Chalatenango	Lempa



N°	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN	REGIÓN HIDROGRÁFICA
24	A-01-SUQUI	Río Sucio, contiguo a Beneficio El Sauce, Santa Ana	Lempa
25	A-01-TAHUI	Río Tahuilapa, Cantón y Crío Tahuilapa, Entre El Jute y Los Calderón, Metapán.	Lempa
26	A-01-TALQU	Río Talquezalapa, cantón Escamil, antes del pueblo Agua Caliente, Chalatenango	Lempa
27	A-01-TAMUL	Río Tamulasco, cantón Las Minas, Chalatenango	Lempa
28	A-01-TEPEC	Río Tepechapa, aguas abajo de Tenancingo, Cuscatlán	Lempa
29	A-01-TOROL	Río Torola, antes de confluencia con Río Sapo, municipio de Rodríguez, Morazán	Lempa
30	A-02-ACAHU	Río Acahuapa, Ciudad de San Vicente, Barrio el Santuario	Lempa
31	A-02-GRAND	Río Grande, aguas abajo del pueblo El Rodríguez, Chalatenango	Lempa
32	A-02-METAY	Río Metayate, aguas abajo de cantón Jicarón, Chalatenango	Lempa
33	A-02-QUEZA	Río Quezalapa, estación hidrométrica Quezalapa	Lempa
34	A-02-RTAMA	Río Lagartero, aguas arriba del de la desembocadura del río Sesor Paso el Tamrindo, Rodríguez de Sesor, San Miguel.	Lempa
35	A-02-RTITI	Río Titihuapa, Cantón Vado El Padre, Municipio de Dolores, Cabañas	Lempa
36	A-02-SANJO	Río San José, entre Hacienda Santa Rosa y Cerro El Gueguecho, Metapán.	Lempa
37	A-02-SUMPU	Río Sumpul, aguas abajo de pueblo San Fernando, Chalatenango	Lempa
38	A-02-TAMUL	Río Tamulasco, cantón Totolco, Chalatenango	Lempa
39	A-02-TOROL	Río Torola, 300 mts aguas abajo de puente Torola, Oscicala, Morazán	Lempa
40	A-03-ACAHU	Río Acahuapa, cantón y caserío la Joya, San Vicente	Lempa
41	A-03-METAY	Río Metayate, cantón El Jute, Chalatenango	Lempa
42	A-03-RTITI	Río Titihuapa, antes de desembocar al embalse 15 de septiembre, 150mts aguas arriba del puente de la carretera que conduce a San Ildefonso, cantón El portillo, San Vicente.	Lempa



N°	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN	REGIÓN HIDROGRÁFICA
43	A-03-SUMPU	Río Sumpul, cantón y crio. Petapa, Chalatenango	Lempa
44	A-03-TAMULA	Río Tamulasco, cantón La Concepción, Chalatenango	Lempa
45	A-04-ACAHU	Río Acahuapa, cantón El Pedregal, San Vicente	Lempa
46	A-04-ARANC	Río Aranchacal, Hacienda San Francisco, Santa Ana	Lempa
47	A-04-SUMPU	Río Sumpul, cantón y Hacienda Vieja, Chalatenango	Lempa
48	A-08-LEMPA	Río Lempa, antes de confluencia con Río Peñanalapa en El Tamarindo, Cerro El Gritadero	Lempa
49	A-09-SUCIO	Río Sucio, CEDEFOR, carretera a Santa Ana	Lempa
50	A-12-LEMPA	Río Lempa, en el lugar El Tamarindo. Cantón Nancintepeque	Lempa
51	A-14-ACELH	Río Acelhuate, antes de desembocadura del Río San Antonio, Cantón Bonete	Lempa
52	A-15-SUCIO	Río Sucio, Colonia Joya de Cerén, carretera a Opico.	Lempa
53	A-17-ACELH	Río Acelhuate, luego de desembocadura del Río Las Cañas, Cantón Joya Grande.	Lempa
54	A-17LEMPA	Río Lempa, antes de confluencia con Río Sucio en Estación Hidrométrica San Fco. Los Dos Cerros	Lempa
55	A-19-LEMPA	Río Lempa, en Valle Nuevo, El Refugio	Lempa
56	A-20-LEMPA	Río Lempa, desvío del río a la Presa 15 de Septiembre	Lempa
57	A-23-SUQUI	Río Suquiapa, San Pablo Tacahico, La Libertad	Lempa
58	A-24-SUCIO	Río Sucio, Hacienda San Francisco los Dos Cerros, La Libertad	Lempa
59	A-25-ACELH	Río Acelhuate, Puente El Tule, antes de desembocadura a Río Lempa	Lempa

En la Figura 2 se muestra su distribución a lo largo de la Zona Hidrográfica:

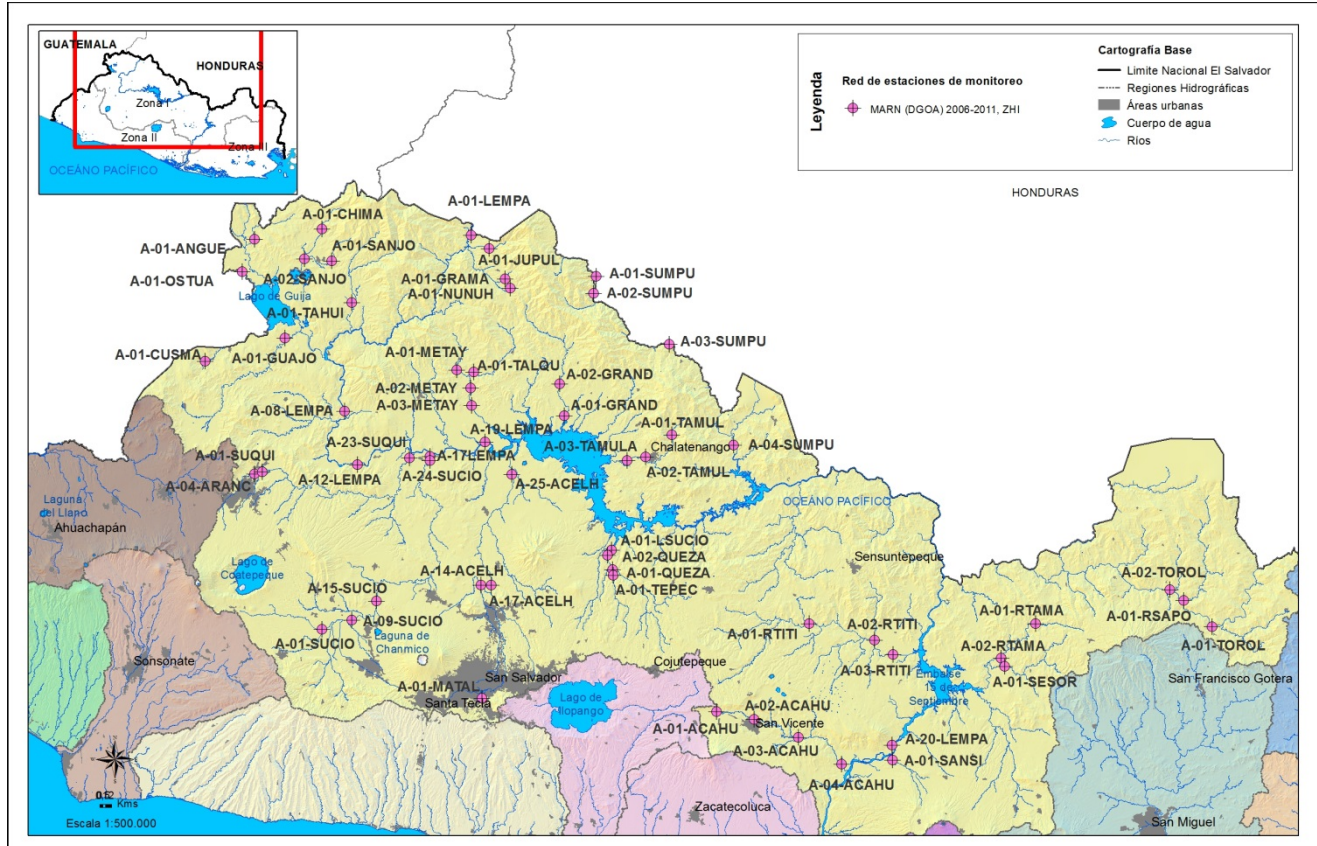


Figura 2. Sitios de muestreo en el cuerpo receptor, pertenecientes a la Red de control de la calidad de aguas de los ríos de El Salvador, de la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la Zona Hidrográfica I – Río Lempa, para el periodo 2006-2011.

Los parámetros analizados en el marco de estos trabajos han sido los siguientes (Tabla 5), con indicación de las unidades de los datos de origen, y de los criterios de valoración empleados en el presente documento de diagnóstico, en función del uso y de la normativa vigente a nivel estatal y/o internacional, según el caso:

Tabla 5: Parámetros analizados por la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la Zona Hidrográfica I – Río Lempa, para el periodo 2006-2011. Se indican los criterios de valoración empleados en el presente documento de diagnóstico, en función del uso y de la normativa vigente a nivel estatal y/o internacional.

PARÁMETRO	UNIDAD	AGUAS CRUDAS	IRRIGACIÓN	PROPAGACIÓN PISCÍCOLA	CONTACTO RECREATIVO DIRECTO
Boro	mg/l	-	D 51; FAO, 1986	-	-
Cloruros	mg/l	D 51	D 51; FAO, 1986	-	-
Cobre	mg/l	CONACYT NSO 13.07.01:08	FAO, 1986	EPA, 2006	-



PARÁMETRO	UNIDAD	AGUAS CRUDAS	IRRIGACIÓN	PROPAGACIÓN PISCÍCOLA	CONTACTO RECREATIVO DIRECTO
Coliformes fecales	NMP/100 ml	OMS	-	-	OMS
Color aparente	Unidades	D 51	-	-	-
Conductividad	μS/cm	D. Supremo 002-2008-MINAM Perú	D 51; FAO, 1986	D 51	-
DBO ₅	mg/l	D 51	-	Ministerio de Medio Ambiente de Japón	D. Supremo 002-2008-MINAM Perú
Fenoles	mg/l	D 51; EPA, 2006	-	-	-
Nitratos	mg N-NO ₃ -/L	CONACYT NSO 13.07.01:08	FAO, 1986	-	D. Supremo 002-2008-MINAM Perú
Oxígeno Disuelto	mg/L	D 51	-	D 51	-
pH	Ud. de pH	D 51	FAO, 1986	D 51	Norma OPS y OMS
RAS	adim	-	D 51	-	-
Sodio	meq/l	-	D 51; FAO-1986	-	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	PHS Drinking Water Standard, 1962; EPA, 1986.	FAO, 1986	EPA, 1986	-
Sulfatos	meq/l	-	D 51; FAO, 1986	-	-
Turbidez	UNT	D 51	-	-	OMS
Zinc	mg/L	CONACYT NSO 13.07.01:08	FAO, 1986	EPA, 2006	-

De manera adicional a estos datos, se dispone de un informe de Diagnóstico Nacional de la Calidad Sanitaria de las Aguas Superficiales de El Salvador, realizado de nuevo por el MARN entre abril y junio de 2007 (Armida, 2007), en el marco del Programa de Contaminación de Áreas Críticas. En este diagnóstico, el MARN ha desarrollado trabajos de monitoreo en la mayor parte de las estaciones anteriormente enumeradas, en concreto en 114 sitios a nivel nacional. Las estaciones no estudiadas en la Zona Hidrográfica I – Río Lempa, de las 59 analizadas de 2006 a 2011, son las siguientes 11: A-01-ANGUE, A-01-CHIMA, A-01-CUSMA, A-01-GRAMA, A-01-GUAJO, A-01-JUPUL, A-01-NUNUH, A-01-OSTUA, A-01-SANJO, A-01-TAHUI y A-02-SANJO.

Hay cierta diferencia en los parámetros estudiados en el diagnóstico (Armida, 2007), por lo que a continuación se adjunta una tabla con indicación de dichos parámetros, y los criterios de valoración del estado del cuerpo receptor en virtud de las normas nacionales e internacionales (Tabla 6):

Tabla 6: Parámetros analizados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la Zona Hidrográfica I – Río Lempa, para el año 2007 (Armida, 2007). Se indican los criterios de valoración empleados en el presente documento de diagnóstico, en función del uso y de la normativa vigente a nivel estatal y/o internacional.

PARÁMETRO	UNIDAD	AGUAS CRUDAS	IRRIGACIÓN	PROPAGACIÓN PISCÍCOLA	CONTACTO RECREATIVO DIRECTO
% Salinidad		-	-	-	-
Arsénico	mg/l		FAO, 1986	EPA, 2006	-
Coliformes fecales	NMP/100 ml	OMS	-	-	OMS
Conductividad	µS/cm	D. Supremo 002-2008-MINAM Perú	D 51; FAO, 1986	D 51	-
Cromo	mg/l	-	FAO, 1986	-	-
DBO ₅	mg/l	D 51	-	Ministerio de Medio Ambiente de Japón	D. Supremo 002-2008-MINAM Perú
Fenoles	mg/l	D 51; EPA, 2006	-	-	-
Mercurio	mg/l	-	-	National Water Criteria, EPA, 2006	-
Nitrógeno Amoniacal	mg N/l	D. Supremo 002-2008-MINAM Perú	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	D 51	-	D 51	OMS
pH	Ud. de pH	D 51	FAO, 1986	D 51; EPA, 2006	Norma OPS y OMS
Plomo	mg/l	-	FAO, 1986	EPA, 2006	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	PHS Drinking Water Standard, 1962; EPA, 1986.	FAO, 1986	EPA, 1986	-
Temp Agua	C°	-	-	D 51; Comisión Guatemalteca de Normas	-
Temp Aire	C°	-	-		-

Adicionalmente, en el Diagnóstico de 2007 se realiza un estudio de sedimentos en 10 estaciones, 8 de ellas en la presente Zona Hidrográfica (Tabla 7):

Tabla 7: Sitios de muestreo de sedimentos en la Zona Hidrográfica I – Río Lempa en el año 2007 (Armida, 2007).

N°	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN	REGIÓN HIDROGRÁFICA
----	--------	-----------------------------	---------------------



N°	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN	REGIÓN HIDROGRÁFICA
1	A-03-TITI	Río Titihuapa, antes de desembocar al embalse 15 de septiembre, 150mts aguas arriba	Lempa
2	A-14-ACELH	Río Acelhuate, antes de desembocadura del Río San Antonio, Cantón Bonete	Lempa
3	A-15-SUCIO	Río Sucio, Colonia Joya de Cerén, carretera a Opico.	Lempa
4	A-17-ACELH	Río Acelhuate, luego de desembocadura del Río Las Cañas, Cantón Joya Grande.	Lempa
5	A-19-LEMPA	Río Lempa, en Valle Nuevo, El Refugio	Lempa
6	A-23-SUQUI	Río Suquiapa, San Pablo Tacahico, La Libertad	Lempa
7	A-24-SUCIO	Río Sucio, Hacienda San Francisco los Dos Cerros, La Libertad	Lempa
8	A-25-ACELH	Río Acelhuate, Puente El Tule, antes de desembocadura a Río Lempa	Lempa

En estas estaciones se ha estudiado las concentraciones de los metales arsénico, mercurio, cromo y plomo (en mg/kg de peso seco de sedimento). Estas concentraciones serán comparadas en el presente documento con los valores objetivo y de intervención especificados por la normativa holandesa, así como con los valores ERL (effects range-low) y EMR (effects range median) especificados por Long et al. (Long, Field, & MacDonald, 1998).

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA RED DE CONTROL DE MARN (DGOA) Y ESTUDIOS ESPECÍFICOS EN ZONA HIDROGRÁFICA I-RÍO LEMPA

4.2.1. Análisis de los resultados de la Red de control de la calidad de las aguas superficiales de MARN (DGOA)

4.2.1.1. Análisis paramétrico de los datos en función del uso

A la vista de los datos disponibles, puede concluirse que hay ciertos parámetros que no cumplen con los criterios de calidad especificados en función del uso, según las normas nacionales e internacionales analizadas, por lo que las aguas presentan por lo general ciertas limitaciones de uso. A continuación se presenta un análisis general de los principales incumplimientos detectados en función del uso del agua en la presente Zona Hidrográfica.

- En cuanto a la aptitud del Agua Cruda para potabilizar por métodos convencionales, según se especifica en las normas de calidad deseables para dicho uso en el Decreto 51:
 - En un 18% de las muestras analizadas por el MARN, hay una desoxigenación destacable de las aguas, ya que los niveles de **oxígeno disuelto** en el agua se mantienen por debajo del límite inferior establecido en el Decreto 51, fijado en 4 mg/l. Estos problemas de

oxigenación se han observado con mayor frecuencia en ríos como Acelhuate, Sucio, Acahuapa, San José y Suquiapa. Sin embargo, en un 53% de los casos, las concentraciones se sitúan por encima de los 6.5 mg/l establecidos como límite superior por el Decreto 51 para este uso, aunque siempre que no alcancen niveles de sobresaturación, a efectos de la calidad de las aguas general se interpreta como un dato positivo. Los casos en que la concentración es demasiado alta se registran en 2009 en A-03-RTITI y en A-03-METAY, donde se alcanzan 11.3 mg/l y 10.62 mg/l, respectivamente, y en 2010 en A-01-METAY, en la que se superan ligeramente los 10 mg/l, lo que es indicador de sobresaturación; también se pueden destacar situaciones como la registrada en 2011 en A-19-LEMPA, donde se alcanzan 9.5 mg/l.

- o En cuanto al **pH**, apenas el 1% de las muestras presentan valores por debajo de 6.5 unidades, y otro 1% se mantiene por encima de 9.2 unidades, por lo que por lo general se descarta la existencia de aguas ácidas o excesivamente básicas, al menos en los momentos en los que se han realizado los muestreos. Con ello las aguas son aptas para este uso en lo que respecta al pH. El máximo se observa en A-01-TAMUL y en A-01-SUMPU en 2007, momento en que se rondan las 10 ud de pH (10 y 10.66 unidades respectivamente).
- o En el 78% de los muestreos tomadas en la Zona Hidrográfica I se ha registrado bajos niveles de cloruros, por debajo de 50 mg/l, y en todos los casos se mantiene por debajo de 250 mg/l, límite superior que no debe superarse para dicho uso. Es por ello por lo que se entiende que este parámetro no está suponiendo una limitación para el uso en cuestión.
- o En cuanto a la contaminación orgánica, que puede estimarse a partir de las concentraciones de **DBO₅**, es de destacar que con relativa frecuencia (alrededor del 25% de las muestras analizadas) se observan valores altos de este parámetro, por encima de 4 mg/l establecido como límite superior para potabilización por métodos convencionales, por lo que este parámetro sí está suponiendo una limitación para el presente uso. Estos valores son especialmente altos en algunas estaciones con carácter puntual, sobre todo en el año 2006-2007, como es el caso de A-01-SUQUI (por encima de 700 mg/l), A-04-ARANC (próximo a 400 mg/l), y A-01-MATAL y A-15-SUCIO (con algunos muestreos por encima de 100 mg/l). En otros muestreos sin embargo (aproximadamente en un 54% de las muestras), se presentan concentraciones inferiores a 3 mg/l, establecido como límite inferior, aunque a efectos de la calidad del agua, siempre es preferible que las concentraciones sean bajas, aun fuera del rango recomendado.
- o En el 32% de las muestras el **color aparente** supera el límite superior especificado por el Decreto 51 para este uso, fijado en 150 unidades, con lo que de nuevo las aguas presentan ciertas limitaciones para la potabilización con métodos convencionales. De hecho en buena parte de estas muestras, los valores son muy superiores, rondando los máximos las 8,700 unidades en A-01-MATAL en 2006-2007. Sólo un 7% de las muestras presenta color aparente por debajo del límite inferior recomendado por el Decreto 51 (establecido en 20 unidades).
- o A pesar de la coloración del agua, se puede concluir que las aguas no son turbias, ya que sólo en el 6% de las muestras los valores superan los 250 NTU establecidos como límite superior. De hecho, en el 26% de las muestras analizadas, la turbidez está por debajo del



límite inferior establecido en 10 NTU, lo que a pesar de estar fuera del rango establecido por el Decreto 51, se interpreta como positivo.

- o En cuanto a los **fenoles**, se destaca que el 89% de las muestras presenta concentraciones superiores a 0.005 mg/l, que es el límite superior establecido en el Decreto 51, aunque sólo el 16% del total supera el límite establecido por EPA (EPA, 1986), fijado en 3.5 mg/l.
- o Adicionalmente a los parámetros contemplados en el Decreto 51, resulta de elevado interés analizar el contenido de **coliformes fecales**, ya que es un indicador fundamental de la contaminación orgánica de origen humano, contaminación que no se debe presentar en el agua que vaya a ser destinada a un tratamiento convencional para su posterior consumo humano, tal y como establece la OMS. En este caso, es muy destacable que casi el 65% de las muestras presentan concentraciones de coliformes fecales por encima del límite comentado, establecido en 1,000 NMP/100 ml. De hecho, el valor promedio para las muestras en las que los niveles son superiores, es de 3,456,606 NMP/100 ml, con lo que queda patente un problema generalizado de contaminación por aguas fecales en buena parte de la Región Hidrográfica. Las concentraciones más elevadas se registran en las estaciones ubicadas en el río Acelhuate, donde se ha llegado a alcanzar un valor de 160,000,000 NMP/100 ml, correspondiente a la estación A-01-MATAL en 2010. Si se elimina este dato del cómputo total, el valor promedio aun así se mantiene en 2,551,731 NMP/100 ml.
- o También resultaría de interés las concentraciones de **sólidos totales disueltos**, que según indica la EPA (EPA, 1986), deben mantenerse por debajo de 500 mg/l. Este es el caso en el 90% de las muestras, por lo que salvo casos puntuales, las aguas serían aptas en función de este parámetro. Sólo en algún caso puntual se duplica o triplica la concentración establecida en este criterio, como es el caso de las estaciones A-01-SUQUI en 2006-2007 y A-04-SUMPU en 2009.
- o También pueden asumirse criterios establecidos por la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, para el caso del cobre y el zinc, ya que bajo un tratamiento convencional las concentraciones de este parámetro no se verían reducidas. En este caso, el 100% de las muestras se mantienen por debajo de los valores umbrales fijados por esta norma, establecidos en 1.3 y 5 mg/l, respectivamente. Este también es el caso de los nitratos, que apenas en un 1.5% de las muestras superan los 50 mg NO₃/l establecidos como límite máximo permisible.
- o Y parámetros como la conductividad, que en virtud del D. Supremo 0022008MINAM Perú (para la Categoría A2 – Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional), y de la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:99 deben mantenerse por debajo de 1,600 µS/cm. Este es el caso del 100% de las muestras. En el D. Supremo 0022008MINAM Perú, también se fija un límite para el nitrógeno amoniacal, establecido en 2 mg N-NH₄/L, que se supera en el 14.5% de las muestras.
- En cuanto a la aptitud del agua para el riego:
 - o En lo que respecta a la **conductividad**, sólo el 6% de las muestras presentan valores por encima de 750 µS/cm, límite superior fijado por el Decreto 51 para el presente uso, siendo

el valor promedio en incumplimiento próximo a 980 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En ningún caso se supera el límite establecido por FAO en 1985, de 3,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por otra parte, el 48% de las muestras presentan valores bajos, por debajo de 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, fijado como límite inferior del rango de calidad deseable.

- o En cuanto al **pH**, apenas el 5% de las muestras superan las 8.4 unidades establecidas como límite superior, y otro 1% se sitúa por debajo del límite inferior, establecido en 6.5 unidades, ambos en el Decreto 51 para el presente uso. Esto supone un cumplimiento generalizado de este criterio de valoración de la aptitud de las aguas en lo que se refiere a este parámetro. Aun así debe tenerse en consideración los valores extremos observados, sobre todo en lo que a mínimos se refiere, ya que en la estación A-17-ACELH en 2007 se alcanzan 2.58 unidades de pH, lo que supone un impacto de gran relevancia para la calidad general del agua y los organismos que sustenta. En A-01-SUQUI en 2006 se produce el siguiente mínimo, que alcanza 5.4 unidades.
- o El 100% de las muestras presentan concentraciones de **boro** aptas para el riego, ya que en todos los casos se sitúan entre 0.5 y 2 mg/l, rango de calidad deseable según el Decreto 51.
- o En cuanto al contenido de **sodio**, el 45% de las muestras presentan valores bajos, por debajo de 30 meq/l, aunque apenas hay incumplimientos del límite superior, establecido en 60 meq/l por el Decreto 51 (en el 5% de las muestras). Al igual que en el caso del pH, es importante observar los valores máximos, registrados en A-15-SUCIO en 2009, momento en que se registraron 131 meq/l.
- o En relación con las sales, el **RAS** no presenta valores por encima de 10. Tampoco los cloruros se presentan por encima de 5.5 meq/l, por lo que ambos se presentan en el rango de las normas de calidad deseables para el agua de riego. Es también el caso de los **sulfatos** aunque con alguna excepción (1% de las muestras), en las que se superan los 4.1 meq/l establecidos por el Decreto 51. Aun así, se mantienen por debajo de los 20 meq/l establecidos por FAO en 1985.
- o Otros parámetros establecidos como de interés por FAO para evitar toxicidad en las plantas (FAO, 1985), son el **cobre, arsénico, el cromo, el plomo y el zinc**. En todos los casos se mantienen por debajo de los valores recomendados, establecidos entre 0.1 mg/l para el caso del arsénico y el cromo, hasta 5 mg/l en el caso del plomo.
- o También resulta de interés las bajas concentraciones de **sólidos disueltos totales**. Según esta fuente de información el límite a partir del cual podrían haber complicaciones se establece en 3,000 mg/l, pero como se ha visto en la valoración de la aptitud del uso para consumo humano tras tratamiento convencional, las concentraciones son muy inferiores (el 90% de las muestras presentan valores por debajo de 500 mg/l).
- o Y las concentraciones de **nitratos**, que deben mantenerse por debajo de 10 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$ (FAO, 1985). Este es el caso del 98% de las muestras, por lo que los contenidos de nitratos serían adecuados.
- o Por otra parte, tal y como se ha visto con anterioridad, casi el 65% de las muestras presentan concentraciones de coliformes fecales por encima del límite comentado, establecido en

1,000 NMP/100 ml. Es importante tener en consideración que los coliformes fecales son un indicador fundamental de la contaminación orgánica de origen humano, contaminación que no se debe presentar en el agua que vaya a ser destinada a riego, tal y como establece la OMS; de hecho, la OMS establece como límite para este uso de 1,000 NMP/100 ml de coliformes totales. A la vista de los resultados analíticos disponibles de coliformes fecales, es esperable que las coliformes totales sean muy superiores a las fecales, y por tanto muy superiores también al límite establecido por OMS, motivo por el que las aguas no serían adecuadas para el riego, sobre todo de aquellos cultivos no leñosos que se vayan a consumir frescos, por el mayor riesgo de intoxicación que su consumo conllevaría. Especiales precauciones deberían tenerse en el ámbito de los ríos Matalapa y Acelhuate, donde se registran los máximos.

- En cuanto a la aptitud del agua para la propagación piscícola:
 - En un 25% de las muestras hay bajas concentraciones de **oxígeno disuelto**, por debajo de 5 mg/l establecidos como límite inferior para la propagación piscícola según el Decreto 51. Tal y como se ha expuesto anteriormente, estos problemas de oxigenación se han observado con mayor frecuencia en ríos como Acelhuate, Sucio, Acahuapa, San José, Suquiapa, Ceniza y Grande de Sonsonate, entre otros. Los valores mínimos son propios de sistemas anóxicos, con el consecuente impacto sobre las poblaciones acuáticas.
 - Siguiendo con la físico-química básica, un 51% de las muestras presentan valores de **conductividad** por encima de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, límite superior fijado por el Decreto 51 para la propagación piscícola, siendo el valor promedio en incumplimiento próximo a 730 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En materia de mínimos, el 25% de las muestras presentan valores por debajo de 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, fijado como límite inferior del rango de calidad deseable.
 - En cuanto al **pH**, como ya se ha comentado anteriormente apenas se registran valores extremos. En este caso, sólo el 2% de las muestras superan las 8.6 unidades establecidas como límite superior, y otro 1% se sitúa por debajo del límite inferior, establecido en 6.5 unidades, ambos en el Decreto 51 para el presente uso. Se recuerda los valores mínimos extremos observados en la estación A-17-ACELH en 2007 (2.58 unidades).
 - Además de los criterios establecidos por el Decreto 51, se estima que son de gran interés algunos parámetros contemplados por EPA en su documento National Water Criteria (2006), como es el caso de las concentraciones de sólidos totales disueltos y metales como el cobre, el mercurio, el plomo y el zinc:
 - En lo que respecta a los sólidos totales disueltos, se produce un cumplimiento superior al 99%, dado que el umbral especificado por EPA es mucho más elevado que en el resto de usos, en 10,000 mg/l.
 - En cuanto a los metales, las concentraciones medidas en relación al zinc y el plomo se sitúan en prácticamente el 100% de los casos por debajo de los límites máximos para que aparezcan efectos agudos, fijados en 0.12 y 0.065 mg/l, respectivamente, con un porcentaje de muestras que superan estos límites del 0.4% y del 4%. En el caso del mercurio, en todos los casos están por debajo de 0.014 mg/l, límite máximo para que aparezcan efectos agudos. Sin embargo, sí se

detectan concentraciones de **cobre** por encima de dicho límite a partir del cual pueden aparecer efectos agudos (0.002337 mg/l), en concreto en el 29% de las muestras, y casi en el 28% se manifiestan por encima del límite a partir del cual pueden aparecer efectos crónicos (0.001452 mg/l). A pesar de ello, es muy probable que este parámetro tenga un origen natural, aspecto que se aclara con un análisis en profundidad de toda la información disponible.

- o En cuanto a la contaminación orgánica, alrededor del 29% de las muestras analizadas presentan concentraciones de **DBO₅** por encima de 3 mg/l, límite superior establecido por el Ministerio de Medio Ambiente de Japón, para uso industrial, agrícola y pesca en su documento Environmental Quality Standards for Water Pollution. Ya se ha expuesto con anterioridad la existencia de valores que son especialmente altos, sobre todo en el año 2006-2007, en estaciones como A-01-SUQUI (por encima de 700 mg/l), A-04-ARANC (próximo a 400 mg/l) y A-01-MATAL y A-15-SUCIO (con algunos muestreos por encima de 100 mg/l).
- Por último, se analiza a continuación la aptitud del agua para su uso recreativo por contacto directo:
 - o En lo que respecta a la **oxigenación de las aguas**, un 13% de las muestras presentan concentraciones por debajo de 7 mg/l establecidos por la OMS para este tipo de usos. El valor promedio de aquellos datos por debajo de este umbral se sitúa en 4.9 mg/l, aunque como ya se ha comentado en ocasiones anteriores, los mínimos rondan los 0 mg/l, por lo que estas aguas deben evitarse para el uso recreativo. Es el caso de las estaciones A-09-SUCIO, A-17-ACELH y A-25-ACELH, que en algún momento han presentado valores totalmente anóxicos.
 - o En cuanto al **pH**, como ya se ha comentado anteriormente, apenas se registran valores extremos. En este caso, sólo el 1% de las muestras superan las 9 unidades establecidas como límite superior por la OMS, y otro 0.4% se sitúa por debajo del límite inferior, establecido en 5 unidades. El promedio de los valores altos alcanza las 9.9 unidades, y el promedio de los bajos las 2.6 unidades.
 - o En lo que respecta a la turbidez, en el 54% de las muestras analizadas presentan valores por encima del límite superior establecido por la OMS, de 10 NTU, por lo que debe tomarse precauciones en caso de su uso recreativo, por baja visibilidad.
 - o Además de estas limitaciones, es de gran importancia recordar que las aguas presentan altas concentraciones de **coliformes fecales**, muy por encima de los 1,000 NMP/100 ml establecidos por la OMS como el límite recomendable. Se vuelve a incidir en el hecho que el 65% de las muestras presentan concentraciones mayores, en algunos casos en varios órdenes de magnitud, por lo que es este parámetro el que más limitaciones supone sobre la aptitud del agua para el uso recreativo por contacto directo.
 - o Otros parámetros relacionados con la contaminación de las aguas son la **DBO₅** y los nitratos. En ambos casos el D. Supremo 0022008MINAM Perú establece un límite superior que no debe superarse para este tipo de usos, que se fijan en 5 mg/l y 10 mg N-NO₃/l, respectivamente. En estos casos, el 18% de las muestras mostraron **DBO₅** superiores al límite y el 1.5% en el caso de los nitratos.



4.2.1.2. Principales observaciones a la representatividad de los datos

A continuación se muestra un análisis detallado de la representatividad de los datos disponibles a partir de la red de monitoreo de MARN (DGOA) en la Zona Hidrográfica I – Lempa.

En primer lugar, a la vista de las elevadas concentraciones de coliformes fecales registradas (no solo en el Lempa sino en todo el territorio salvadoreño), podría ser esperable valores más elevados de DBO_5 a lo largo del cauce del Lempa y sus tributarios, ya que son parámetros que suelen aumentar conjuntamente; del mismo modo que sería esperable que con el aumento de ambos se produzca un descenso del oxígeno. Sin embargo, las concentraciones de DBO_5 se mantienen con frecuencia bajas, y las de oxígeno disuelto en un rango adecuado, a pesar de presentar concentraciones de coliformes fecales elevadas. Es el caso de las estaciones siguientes (ordenadas de aguas arriba a aguas abajo): A-01-LEMPA en 2009, A-01-TAHUI en 2012, A-02-TAMUL en todas las campañas, A-02-TOROL y A-01-RTAMA en 2007, y A-01-SESORI en 2009.

Resulta llamativa también la desoxigenación registrada en el año 2011 a lo largo de toda la cuenca, siendo dicho año considerado hidrológicamente húmedo, y observándose que a la vista de otros datos de calidad disponibles, este descenso generalizado no va acompañado por un aumento significativo de otros parámetros, como la DBO_5 , la conductividad o los sólidos. Es por ello por lo que podría pensarse en que se haya producido algún problema técnico con el sensor de oxígeno disuelto en dicha campaña de muestreos, aunque con la información que se tiene disponible no se puede corroborar.

En relación con todo lo anterior, resulta destacable los altos valores de concentración de fenoles observados a lo largo de la zona hidrográfica, y la alta frecuencia de muestras donde se registran altos valores. A este respecto, en zonas con alta contaminación de origen doméstico e industrial es posible detectarse esos niveles en el agua, pero resulta llamativa la frecuencia con la que éstos se presentan. Sería por tanto recomendable realizar una revisión del procedimiento seguido en el laboratorio para descartar posibles contaminaciones cruzadas que estén generando falsos positivos durante las determinaciones, ya que quizá éste podría ser, al menos en algunas ocasiones, los motivos por el que se cuantifiquen valores tan altos a lo largo de toda la cuenca del Lempa y tributarios.

En lo que respecta a los metales, y en concreto en el caso del cobre, es destacable que muchos de los datos medidos ascienden a 0.01 mg/l. El mantenimiento de unos niveles tan conservativos de este metal en las aguas a lo largo de la mayor parte de la cuenca es un hecho que resulta extraño. Es probable que este valor sea en realidad el límite de detección de la técnica analítica, y no un valor en concreto, con lo que en realidad ese valor estaría indicando que hay ciertos niveles de cobre en el agua, pero que no han podido ser cuantificadas (<0.01 mg/l, y no = 0.01 mg/l). Con ello los niveles de cobre serían más bajos de lo que aparenta a la vista de los resultados, con lo que las posibles afecciones sobre la vida acuática que se pudieran estar produciendo (como se verá en los siguientes apartados), no se estarían produciendo con carácter general, sino en situaciones puntuales, coincidiendo con los máximos de contaminación registrados en la cuenca. Aunque los valores de cobre sean probablemente más bajos que lo que indican los resultados analíticos, sí es evidente que hay presencia de este metal a lo largo de la cuenca; es esperable que parte de este cobre pueda tener origen natural (zonas de interés minero; fuentes epitermales), aunque también puede estarse aumentando vía antropogénica, lo que resulta más evidente en las zonas más contaminadas de la región.

En ocasiones puntuales se han observado algunos valores de pH muy básicos, que sin embargo no se ven correlacionados con altas concentraciones de sales o sólidos totales disueltos, con lo que no parece haber una justificación para dichos valores de pH; esto puede estar indicando que hay algún error de medición en alguno de

los datos, probablemente del pH. Sería el caso de las estaciones A-02-GRAND en 2009 y de A-01-TAMUL y A-01-SUMPU en 2007. Caso contrario es el de valores extremos ácidos, como es el caso de la estación A-17-ACELH en 2007; en este último caso, dada la importante afección que presenta el río, podría pensarse en que se está produciendo un vertido de tipo industrial, pero sería esperable que otros parámetros relacionados como los anteriormente indicados también presentarían una importante desviación.

En otras ocasiones, de nuevo con carácter puntual, se ha observado cierta falta de correlación entre las concentraciones de sólidos totales disueltos, turbidez y color, ya que en algunas ocasiones se han observado valores extremadamente elevados de color aparente y en menor medida de turbidez, que no se corresponden con los bajos valores de sólidos totales disueltos, la baja DBO o la baja conductividad. Con esto quiere ponerse de manifiesto que es probable que o bien los valores de TDS en esos casos serían más altos, o bien que la turbidez, y sobre todo, el color aparente, sería mucho más bajo que lo indicado. Un ejemplo puede observarse en las estaciones A-01-LEMPA, A-08-LEMPA y A-12-LEMPA en las campañas de 2009 y 2011; A-03-SUMPU en 2010; A-01-RSAPO y A-01-SESORI en 2009; todas ellas presentan muy elevados valores de color, pero una desviación atenuada en materia de turbidez, y ausencia de desviación en materia de TDS. Tampoco hay por lo general desviación en materia de la materia orgánica ni de conductividad que pueda explicar ese importante aumento de los valores de color.

4.2.1.3. Análisis espacio temporal de la calidad de las aguas

Una vez presentada una síntesis general de la aptitud de las aguas en función del uso, a continuación se facilita un análisis detallado del comportamiento de los distintos parámetros que definen la calidad de las aguas, a lo largo de la Zona Hidrográfica I, dividiéndola en varias zonas ordenadas desde aguas arriba a aguas abajo: tramo alto de la cuenca del río Lempa, aportes a los embalses Cerrón Grande, 5 de Noviembre y 15 de Septiembre, y tramo bajo del río Lempa. Los principales parámetros que definen la calidad del agua son los siguientes, cuyas dinámicas espacio-temporales se muestran en los **planos del Anexo II. Planos de calidad de las aguas, acápite II.1. Calidad de las aguas superficiales en la Zona Hidrográfica I – Lempa**: contaminación orgánica (DBO₅ y oxígeno disuelto) y microbiológica (coliformes fecales); formas del nitrógeno y del fósforo (nitratos, nitrógeno amoniacal y fosfatos); acidez (pH) y temperatura; sólidos en el agua (sólidos totales disueltos, turbiedad y color aparente); conductividad y sales (cloruros, sodio, RAS, sulfatos y boro); metales (cobre, mercurio, plomo, arsénico, zinc y cromo); fenoles; e Índice de Calidad del Agua General.

- **Tramo alto de la cuenca del río Lempa**: entendido éste como el tramo de río Lempa y sus tributarios, desde su cabecera hasta la estación de monitoreo A-12-LEMPA. Esto incluye los ríos Nunuhuapa (A-01-NUNUH), El Gramal (A-01-GRAMA), Jupula (A-01-JUPUL), Tahuilapa (A-01-TAHUI TAHUI; aguas arriba de esta estación se ubica la planta potabilizadora de El Rosario, que toma las aguas del río El Rosario, en el municipio de Metapán), y Guajoyo (A-01-GUAJO), todos tributarios directos del río Lempa; así como los ríos San José (tributario de la laguna de Metapán, con las estaciones A-01-SANJO y A-02-SANJO), y Angue, Ostúa y Cusmapa (tributarios del Lago de Güija, con las estaciones A-01-ANGUE, A-01-OSTUA y A-01-CUSMA, respectivamente):
 - Las aguas se mantienen **relativamente bien oxigenadas** a lo largo del tramo de estudio (Figura 3), a excepción del año 2011, en el que las aguas se presentan desoxigenadas, con un promedio de 4.5 mg/l para todas las estaciones. **La mayor desoxigenación se observa en el río San José**, en la estación A-02-SANJO, en todos los monitoreos, en la que además se observa una **elevada DBO₅ y elevadas concentraciones de coliformes fecales** (sobre todo en

el año 2011, aunque en el año 2010 también son importantes), lo que está indicando que la zona recibe aportes de tipo doméstico sin una adecuada depuración. Este hecho es importante teniendo en cuenta que el río San José es un aporte destacable a la laguna de Metapán.

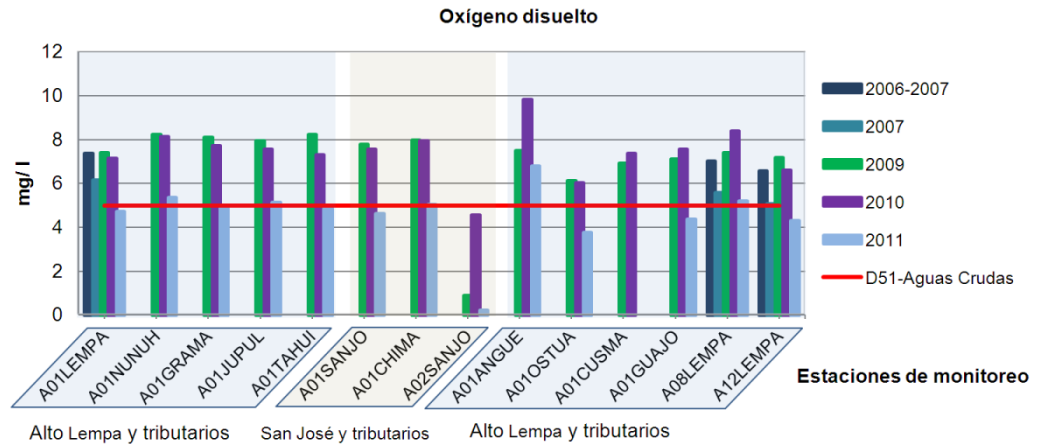


Figura 3. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de oxígeno disuelto en el tramo alto del Lempa, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

- o En el resto de estaciones las concentraciones de DBO₅ son bajas, por debajo del límite establecido para aguas crudas por del Decreto 51, aunque **sí presentan concentraciones significativas de coliformes fecales** a lo largo de las distintas estaciones (Figura 4), por encima del umbral establecido por la OMS de 1,000 NMP/100 ml. Las mayores concentraciones se registran en A-02-SANJO, en la que se alcanzan 16 millones de NMP/100 ml en 2009 y 3.5 millones en 2011; el siguiente máximo asciende a 160,000 NMP/100 ml en el río Lempa en A-01-LEMPA. Otras estaciones se mantienen entre 50,000 y 1,000 NMP/100 ml en algunos muestreos, aunque en casi todos los años monitoreados este parámetro se presenta por encima de 1,000 NMP/100 ml en la estación A-12-LEMPA (promedio de 12,000 NMP/100 ml).

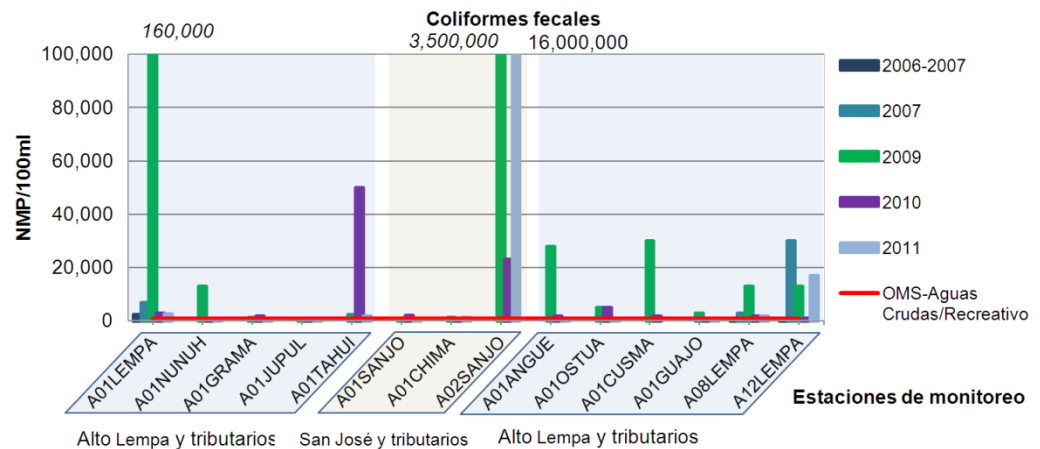


Figura 4. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de coliformes fecales en el tramo alto del Lempa, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

- o En materia de nutrientes, **las concentraciones de nitratos y fosfatos se mantienen por debajo de 2 mg N-NO₃/l y 0.25 mg P-PO₄/l, a excepción de en el río San José (estación A-02-SANJO), en la que estas concentraciones son superiores en el año 2009 y 2011, respectivamente, momentos en que son significativamente superiores, de 5.7 mg N-NO₃/l y 1.2 mg P-PO₄/l.**

Con estas concentraciones, los nitratos resultan adecuados para los distintos usos que se pueda dar al agua (potabilización por tratamiento convencional, riego y recreativo por contacto directo). Adicionalmente se dispone de datos de nitrógeno amoniacal para las estaciones A-01-LEMPA, A-08-LEMPA y A-12-LEMPA en el año 2007, siendo en todos los casos muy inferiores a 2 mg N-NH₃/l, estándar de calidad ambiental fijado por la normativa peruana (República del Perú, 2008) para las aguas superficiales que pueden ser destinadas a la producción de agua potable con tratamiento convencional.

En cuanto a los fosfatos, los niveles son adecuados para la irrigación, ya que se sitúan en todo momento en el rango de valores recomendados por FAO para la irrigación (FAO, 1985), aunque en todas las estaciones salvo aquellas ubicadas en los ríos Nunuhuapa, El Gramal y Jupula, superan el límite máximo establecido por EPA (EPA, 1986) a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en ríos. De hecho es importante tener en consideración los **aportes desde los ríos Ostúa y Angue al Lago de Güija, que superan ampliamente los 0.025 mg P-PO₄/l establecidos como límite máximo a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en lagos; y los de San José a la Laguna de Metapán** anteriormente comentados.

- o **El pH se mantiene entre 8.6 y 6.5 unidades, por lo que permanece en todos los muestreos dentro de los rangos adecuados para la vida piscícola, el riego y las aguas crudas según las distintas normativas empleadas como de referencia. Sin embargo, los escasos datos disponibles de temperatura del río Lempa (A-01-LEMPA, A-08-LEMPA y A-12-LEMPA) y de la ambiental indican que hay una desviación superior a 3°C entre ambas temperaturas, de modo que podría haber alguna afección sobre la vida piscícola en esta materia (según criterio establecido en el Decreto 51). El máximo de desviación asciende a 7.2°C en A-08-LEMPA.**
- o En lo que respecta a **los sólidos totales disueltos (en adelante TDS), el valor promedio se mantiene en torno a 185 mg/l, muy por debajo del umbral establecido como máximo para las aguas crudas (y que no hace necesario ninguna restricción en el riego (FAO, 1985)). A pesar de ello, en algunas estaciones los valores de turbiedad superan el correspondiente umbral establecido para dicho uso, principalmente en las estaciones A-01-LEMPA y A-01-OSTUA (Río Ostúa, que aporta sus caudales al Lago de Güija), en el año 2011, momento en el que se alcanza un valor de 350 y 660 NTU, respectivamente. En estas estaciones, y en otras, el color aparente supera el umbral para dicho uso, con máximos de 3,750 y 547 unidades Co-Pt, respectivamente, aunque no son las únicas en las que se observan altos valores. Es el caso de las estaciones A-02-SANJO, A-08-LEMPA y A-12-LEMPA, entre otras.**



- o En materia de concentraciones de sales, **en términos generales las aguas presentan una conductividad adecuada para el desarrollo de la vida piscícola y para el riego**, aunque puntualmente en A-02-SANJO se superan los 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el año 2011. Las concentraciones de cloruros, boro y sodio se mantienen bajas, incluso por debajo del límite inferior deseable para el riego según el Decreto 51 en el caso del boro y del sodio; a pesar de ello, el sodio está dentro del rango de valores recomendado por FAO, que establece que hasta 40 meq/l sería un valor habitual. Además, en el caso del cloruro sus concentraciones están por debajo del límite inferior para las aguas crudas que sean destinadas a potabilización por tratamiento convencional, de nuevo según criterio del Decreto 51.

El RAS presenta valores adecuados para dicho uso, manteniéndose en todos los casos por debajo de 3, siendo el promedio igual a 0.53, lo que según FAO (FAO, 1985) hace que las aguas no tengan que ser objeto de ninguna restricción de uso en el riego a manta.

En cuanto a los sulfatos, sólo en el río Angue se registran concentraciones que superan la norma de calidad deseable establecida en el Decreto 51 para la irrigación, ascendiendo en 2010 a 19.8 meq/l, mientras el promedio para esta parte de la zona hidrográfica asciende a 1 meq/l. A pesar de ello, esta concentración máxima está aun dentro del rango de valores habituales para el riego (FAO, 1985).

- o Por otra parte, destacan las concentraciones de metales como **el cobre, que se presenta en varias estaciones por encima del límite máximo permisible a partir del cual pueden producirse efectos agudos sobre los peces** (EPA, 1986), sobre todo en las estaciones del río Lempa A-08-LEMPA y A-12-LEMPA, en los que se registran dos máximos de 0.04 y 0.03 mg/l en el año 2009, respectivamente. Otros valores elevados se detectan con carácter puntual en las estaciones siguientes, con valores en todos los casos en torno a 0.01 mg/l: A-01-LEMPA, A-01-NUNUH, A-01-GRAMA, A-01-JUPUL, A-02-SANJO y A-01-OSTUA; en el resto de estaciones, los valores están por debajo del límite de detección, por lo que son tan bajas que no son detectables.

En el caso del plomo, sólo en la estación A-12-LEMPA se supera el LMP para efectos agudos en los peces establecido por la EPA (EPA, 1986) en el monitoreo de 2007, momento en el que se alcanzan 0.17 mg/l; en el resto de estaciones y muestreos son inferiores al LMP, o bien están por debajo del límite de detección de la técnica analítica. Las concentraciones de mercurio y zinc, sin embargo, se mantienen muy por debajo de los LMP para dichos parámetros, al ser en su mayoría niveles no detectables.

Adicionalmente, se dispone de datos de cromo y arsénico para el año 2007 en las estaciones A-01-LEMPA, A-08-LEMPA y A-12-LEMPA, que se mantienen muy por debajo de los límites establecidos por FAO (FAO, 1985) para el riego.

- o Por último, se dispone de información de la **concentración de fenoles en el agua, que son elevados y relativamente variables entre campañas y estaciones, y cuyo valor promedio asciende a 2.5 mg/l**. Este valor promedio es muy superior a la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinadas a potabilización a través de un tratamiento convencional (Decreto 51), aunque sin embargo es inferior al límite recomendado por EPA, de

3.5 mg/l. Este valor se ve superado en las estaciones A-01-OSTUA en 2011, y en A-08-LEMPA y A-12-LEMPA en 2006-2007 (4.5 mg/l en esta última estación).

- o Cerrando la valoración del estado de las aguas de este tramo alto de la cuenca del río Lempa, se concluye que, a partir de las concentraciones analizadas de coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, variación de temperatura, turbiedad, TDS y oxígeno disuelto, los ICA obtenidos oscilan entre los estados “bueno” a “pésimo”, aunque **predomina el estado “Regular”**. Con ello, las aguas en este tramo por lo general pueden suponer **ciertas restricciones para la vida acuática y el contacto humano, y pueden presentar menos diversidad de organismos acuáticos así como mayor probabilidad de desarrollos algales de carácter explosivo**.

A pesar de esta valoración, es importante poner de manifiesto que todas las valoraciones de “buena calidad del agua”, aunque muy puntuales y en los tributarios (en las estaciones A-01-NUNUH, A-01-GRAMA, A-01-JUPUL, A-01-SANJE y A-01-GUAJO), se han observado en el monitoreo más reciente, de 2011, lo que pone de manifiesto que se podría estar produciendo cierta mejoría de la calidad de las aguas en dichos tributarios, que sin embargo debe corroborarse con futuros monitoreos.

- o Como comentario adicional, y aunque no se dispone de datos de calidad del agua en el río El Rosario, donde se ubica la **planta potabilizadora de El Rosario**, se ha podido comprobar que en la estación situada aguas abajo de este tributario, en el río Tahuilapa, hay problemas de calidad en materia de coliformes fecales, color y fenoles. Es posible que hayan aportaciones de tipo doméstico aguas arriba de la estación, pero también podría darse el caso que la calidad aguas arriba en el citado tributario tampoco sea buena. No se dispone de información para contrastar esta hipótesis.

También se destaca que unos kilómetros aguas abajo de la estación A-12-LEMPA se ubica la **planta potabilizadora de Las Pavas**. En su recorrido hasta la potabilizadora hay varios aportes intermedios de calidad desconocida, pero sí se tiene conocimiento de la calidad del río Lempa en dicha estación, que incumple los requerimientos necesarios para el uso de las aguas crudas para el consumo una vez hayan pasado por un tratamiento convencional para las coliformes fecales, el color y los fenoles. Es por tanto esperable que el agua de la toma de dicha potabilizadora también esté incumpliendo estos criterios, debido a estos incumplimientos y los de otros posibles aportes sin información.

- Aportes al embalse Cerrón Grande: los principales aportes al embalse de Cerrón Grande se producen:
 - o Por el Oeste, a través del río Lempa y sus tributarios, que en este caso se entiende como aquellos que se producen entre las estaciones A-12-LEMPA y A-19-EMPA. Esto incluye los aportes de los ríos Suquiapa (A-01-SUQUI y A-23-SUQUI) y su tributario, el río Aranchacal (A-04-ARANC); y el río Sucio (A-01-SUCIO, A-09-SUCIO, A-15-SUCIO y A-24-SUCIO).
 - o Por el Noreste, a través de los ríos Metayate (A-01-METAY a A-03-METAY) y su tributario, el río Talquezalapa (A-01-TALQU); del río Grande (A-01-GRAND y A-02-GRAND); y del río Tamulasco (A-01-TAMUL a A-03-TAMUL).

- o Y por el Sureste, a través de los ríos Acelhuate (A-14-ACELH, A-17-ACELH y A-25-ACELH) y su tributario, el río Matalapa (A-01-MATAL); del río Quezalapa (A-01-QUEZA y A-02-QUEZA) y su tributario, el río Tepechapa (A-01-TEPEC); y del río Sucio en Cuscatlán (A-01-LSUCIO).

Análisis de los aportes al embalse Cerrón Grande por el Oeste:

- o Las concentraciones de DBO_5 se mantienen por lo general muy altas tanto en el río Suquiapa y en su tributario, como en el río Sucio, sobre todo en las estaciones A-01-SUQUI, A-04-ARANC, A-09-SUCIO y A-15-SUCIO. Los máximos rondan los 730 mg/l en A-01-SUQUI y 380 mg/l en 04ARANC, ambos en 2006-2007. En el río Sucio el máximo se registra en A-09-SUCIO en 2011 y en A-15-SUCIO en 2009, siendo respectivamente de 122 y 134 mg/l (Figura 5).

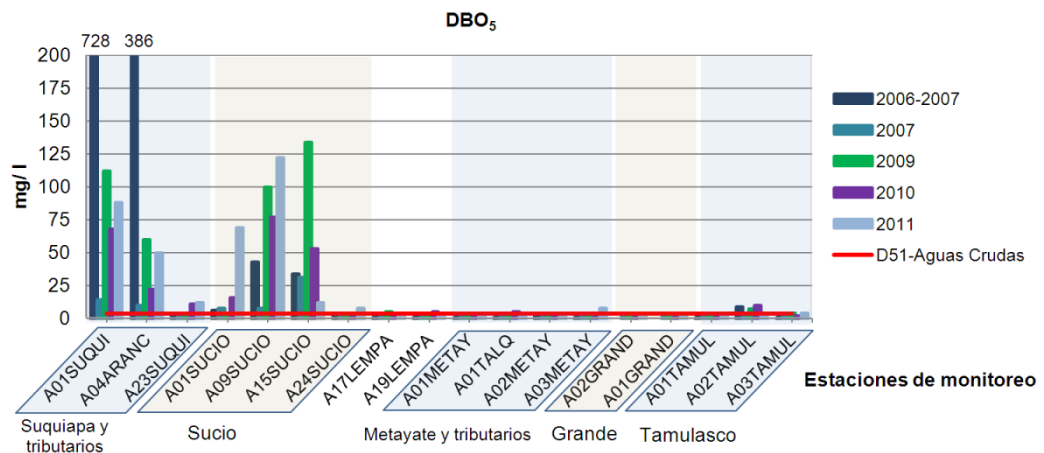


Figura 5. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de DBO_5 en los aportes a Cerrón Grande por el oeste y el noreste, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

Asociado a estas altas demandas de oxígeno, se registran bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, inferiores cuanto mayor es la DBO_5 (Figura 5). Es por ello por lo que los mínimos registrados se corresponden con las estaciones A-01-SUQUI, A-09-SUCIO y A-15-SUCIO, que rozan la anoxia en los muestreos de 2009, 2010 y 2011, con el consecuente posible impacto sobre la vida piscícola en el tramo de estudio. También presentan muy altas concentraciones de coliformes fecales (Figura 7), sobre todo en A-01-SUQUI y A-04-ARANC, en las que se alcanzan 50 millones de NMP/100 ml en 2006-2007, y en A-09-SUCIO que en 2009 alcanza los 5 millones de NMP/100 ml. Todos estos problemas de calidad están indicando que se están produciendo vertidos de carácter doméstico sin la adecuada depuración.

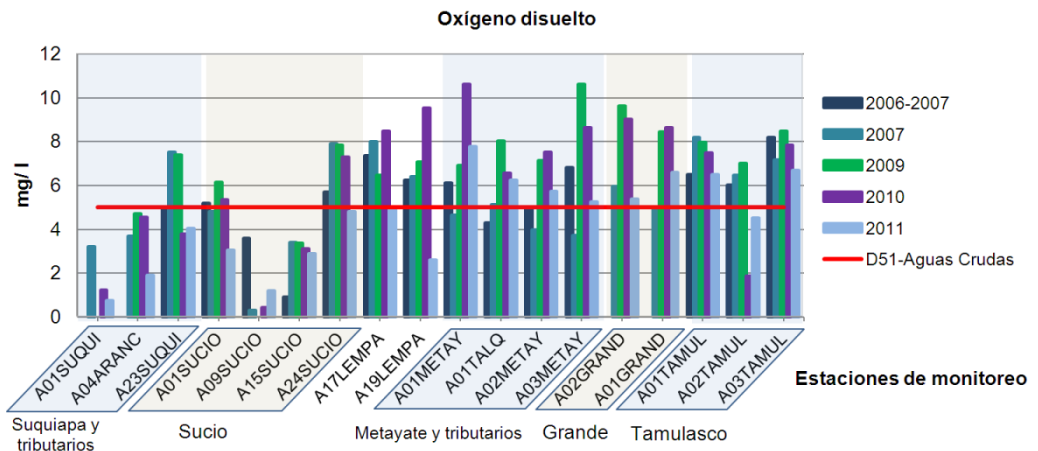


Figura 6. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de oxígeno disuelto en los aportes a Cerrón Grande por el oeste y el noreste, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

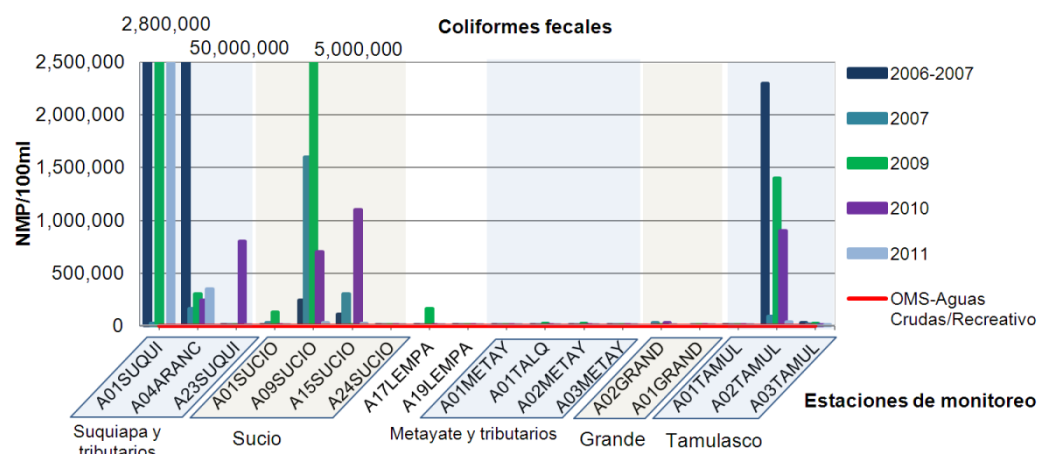


Figura 7. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de coliformes fecales en los aportes a Cerrón Grande por el oeste y el noreste, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

Es de destacar que a pesar de estas observaciones, la calidad de la estación A-23-SUQUI es significativamente mejor que la de las dos estaciones aguas arriba, con mayor oxigenación y menores cargas orgánica y microbiológica, por lo que el río Suquiapa está presentando cierta capacidad de autodepuración. Algo similar puede deducirse a la vista de la calidad de la estación A-24-SUCIO, en comparación con las situadas aguas arriba. Con ello, la contaminación orgánica y microbiológica observada en el tramo del río Lempa comprendido justo aguas arriba del embalse Cerrón Grande es muy inferior a la observada en los tributarios recién comentados, y las aguas están bien oxigenadas, a excepción de en el año 2011, en la que presentan una desoxigenación importante en la estación A-19-LEMPA, de 2.6 mg/l.

- o En lo que respecta a las concentraciones de nutrientes, **los mayores valores de fosfatos y nitratos se registran en las estaciones A-01-SUQUI** (2.5 mg P-PO₄/l en 2011, único monitoreo con dato disponible, y 7.8 mg N-NO₃/l en 2010) **y A-09-SUCIO** (3.3 mg P-PO₄/l y 8.9 mg N-NO₃/l en 2009), aunque los nitratos también son relativamente altos en A-17-LEMPA (6.9 mg N-NO₃/l en 2011); mientras los valores promedios para todas los aportes oeste al embalse ascienden a 1.1 mg P-PO₄/l y 2.6 mg N-NO₃/l, respectivamente. Aunque estos promedios sean habituales en aguas para riego (FAO, 1985), las concentraciones de fosfatos son elevadas en materia de eutrofización (Figura 8), ya que se sitúan por encima del límite máximo a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en ríos (EPA, 1986).

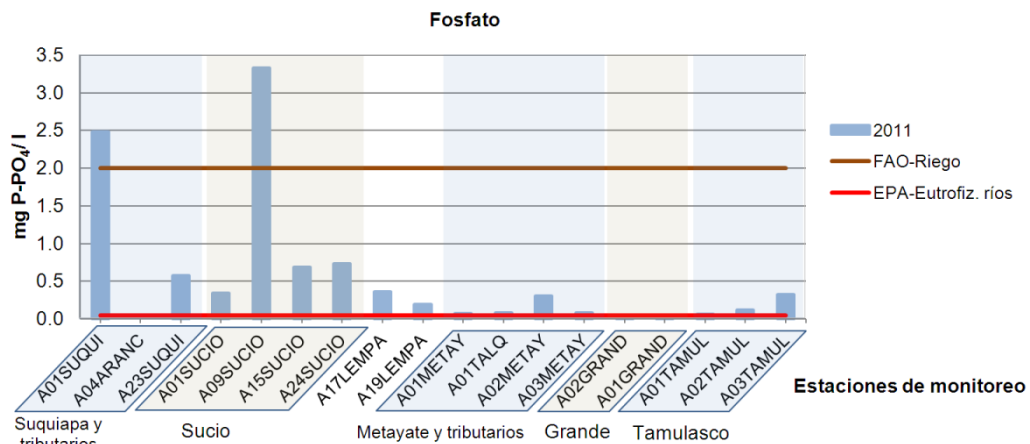


Figura 8. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de fosfatos en los aportes a Cerrón Grande por el oeste y el noreste, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

La calidad de entrada al embalse por el río Lempa se controla a través de la estación A-19-LEMPA, que en promedio para todos los monitoreos supone unas entradas de 0.19 mg P-PO₄/l y 1.25 mg N-NO₃/l, respectivamente, por lo que son relativamente moderados en comparación con las estaciones situadas aguas arriba, aunque son valores altos, bastante superiores a los establecidos por EPA para que puedan producirse problemas de eutrofización en sistemas lénticos.

Adicionalmente se dispone de datos de nitrógeno amoniacal para el año 2007, siendo en todos los casos inferiores a 2 mg N-NH₃/l, estándar de calidad ambiental fijado por la normativa peruana (República del Perú, 2008) para las aguas superficiales que pueden ser destinadas a la producción de agua potable con tratamiento convencional, a excepción de las estaciones A-01-SUQUI, A-04-ARANC y A-09-SUCIO, en las que son bastante superiores, entre 8.9 mg N-NH₃/l en la primera estación y 5.3 N-NH₃/l en A04-ARANC.

- o El pH es adecuado para el desarrollo de la vida piscícola, el riego y las aguas crudas, ya que se mantiene entre 8.1 y 6.7 unidades, aunque puntualmente en las estaciones A-01-SUQUI y A-04-ARANC bajan o se mantienen próximos a 6 unidades (en 2006-2007). En lo que respecta a la temperatura del agua, se dispone de datos para el año 2007, a partir de los cuales se puede observar cierta posible alteración para la vida piscícola, derivada de la

desviación que ésta presenta con respecto a la temperatura atmosférica, que es superior a 3°C en los ríos Sucio (A-01-SUCIO y A-24-SUCIO) y Lempa (A-19-LEMPA).

- o La cantidad de sólidos totales disueltos es elevada en todos los muestreos en el río Sucio, en el que por lo general se superan los 500 mg/l establecidos como límite para las aguas crudas (EPA, 1986), así como por encima de los 450 mg/l a partir de los cuales se deberían tomar algunas medidas de restricción, de ligeras a moderadas, en su uso en el regadío (FAO, 1985). Puntualmente se observan altas concentraciones también en A-01-SUQUI en 2006-2007 (momento en que se superan los 1,000 mg/l) (ver Figura 9).

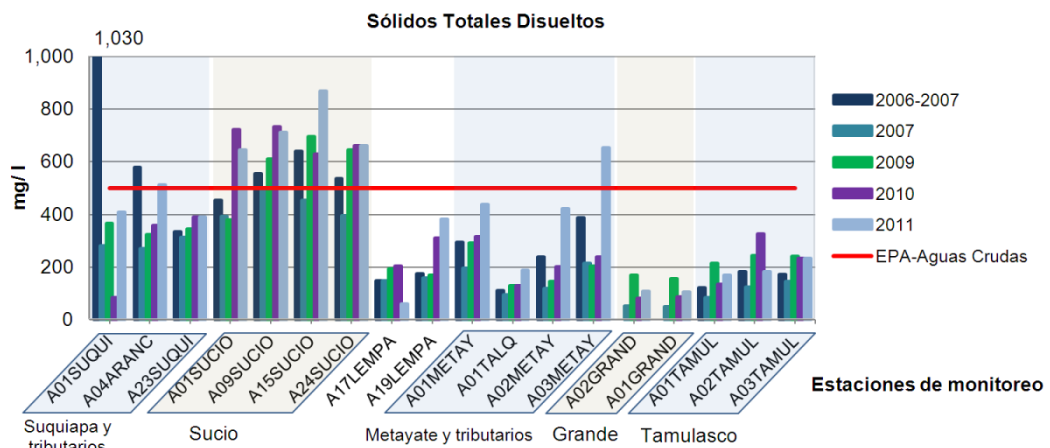


Figura 9. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de TDS en los aportes a Cerrón Grande por el oeste y el noreste, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

Esta situación va por lo general acompañada por un muy alto color aparente, que alcanza las 2,350 unidades Co-Pt en 2010 en A-15-SUCIO, o las 2,400 unidades en 2006-2007 en A-01-SUQUI, de nuevo valores que superan ampliamente la norma de calidad deseable establecida por el Decreto 51 para las aguas crudas. A pesar de ello, el aumento de turbiedad no supone una superación de la norma de calidad deseable para este uso y parámetro, salvo en momentos puntuales, sobre todo en 2006-2007 en las estaciones anteriormente mencionadas. Aguas abajo de la estación A-17-LEMPA las concentraciones de TDS son muy inferiores a las registradas en el río Sucio, aunque presenta altos valores de turbiedad y color muy altos en 2009 (1,105 NTU y 3,400 unidades Co-Pt, respectivamente). A pesar de ello, en la estación A-19-LEMPA los tres parámetros vuelven a valores dentro de las normas de calidad respectivas para todos los monitoreos, al presentar concentraciones muy inferiores a los registrados aguas arriba en los ríos Suquiapa y Sucio.

- o En lo que respecta a las sales, hay diferencias entre los ríos Suquiapa y Sucio. Los ríos Suquiapa y Aranchacal presentan baja conductividad, por lo general por debajo de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por lo que es apta para la propagación piscícola (a excepción de en 2011, donde es algo superior), bajas concentraciones de cloruros, boro y sodio, incluso por debajo del límite inferior de la norma de calidad deseable para riego, y bajos RAS y sulfatos, dentro del rango adecuado para el riego. En el caso concreto del sodio, a pesar de presentar bajos

valores, está dentro del rango de valores recomendado por FAO, que establece que hasta 40 meq/l sería un valor habitual; en el de los cloruros, estos son también bajos para su uso doméstico tras tratamiento convencional (Decreto 51).

Sin embargo, **en el río Sucio la conductividad es mayor**, por lo general por encima de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y en buena parte de los muestreos y muestras, **por encima del umbral adecuado para el riego** según el Decreto 51, fijado en 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 10). Además presenta **mayores concentraciones de cloruros y sodio, por lo general dentro del rango adecuado para el riego** (salvo en el año 2009 en A-15-SUCIO, en la que el sodio supera el límite superior para este uso, al alcanzar 131 meq/l, muy por encima de los valores habituales para este uso); y en 2011 una concentración de sulfatos ligeramente superior a la norma deseable para el riego según el Decreto 51, aunque se mantienen dentro del rango habitual de aguas de riego según FAO, al igual que sucede en el resto de estaciones y campañas, en las que se mantienen en el rango adecuado para el riego según criterio del Decreto 51 y de FAO (FAO, 1985), siendo el promedio de 2.53 meq/l. El RAS de nuevo es adecuado, algo superior al registrado en las estaciones del río Suquiapa y tributario, aunque teniendo en consideración las recomendaciones de FAO, sería conveniente prestar atención a la evolución del RAS en el tramo medio del río Sucio, ya que en algunos muestreos es superior a 3 meq/l, a partir del cual deben tomarse algunas restricciones de uso en los riegos a manta.

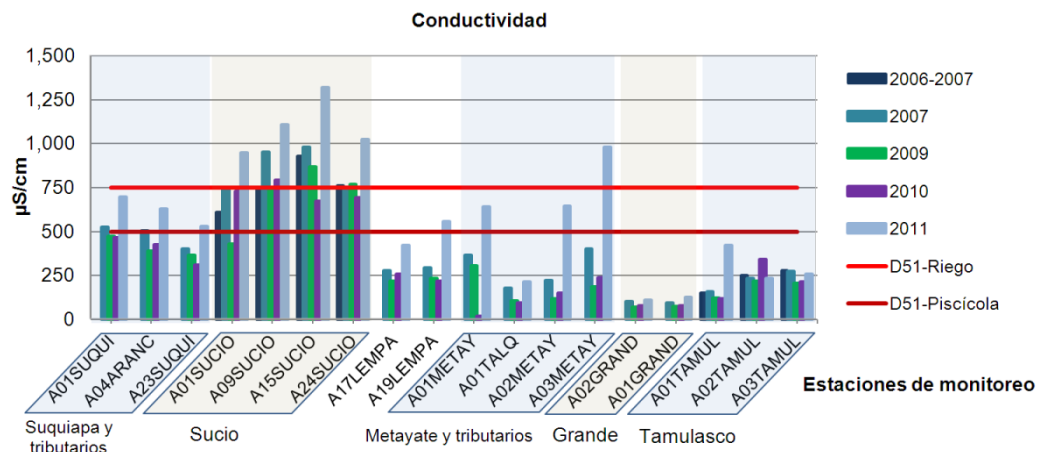


Figura 10. Dinámica espacio-temporal la conductividad en los aportes a Cerrón Grande por el oeste y el noreste, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

Aguas abajo en la estación A-19-LEMPA, las condiciones parecen adecuadas para el riego (y en el caso de la conductividad también para la propagación piscícola), ya que todos los parámetros se mantienen dentro de los rangos establecidos por el Decreto 51.

- o Por otra parte, las concentraciones de cobre superan en determinados casos el LMP a partir del cual se pueden presentar efectos agudos sobre los peces (EPA, 1986), siendo especialmente elevadas en el río Suquiapa en las estaciones A-23-SUQUI en 2009, cuando se registran 0.06 mg/l, y A-01-SUQUI en 2011, cuando se alcanzan 0.03 mg/l; y en el río Sucio en A-01-SUCIO en 2012 y en A-09-SUCIO en 2006-2007, cuando se registraron

0.04 mg/l. A pesar de ello las entradas al embalse Cerrón Grande por el río Lempa (A-19-LEMPA), se mantienen en 0.01 mg/l en 2006-2007, y en el resto de años no presentan concentraciones detectables (Figura 11).

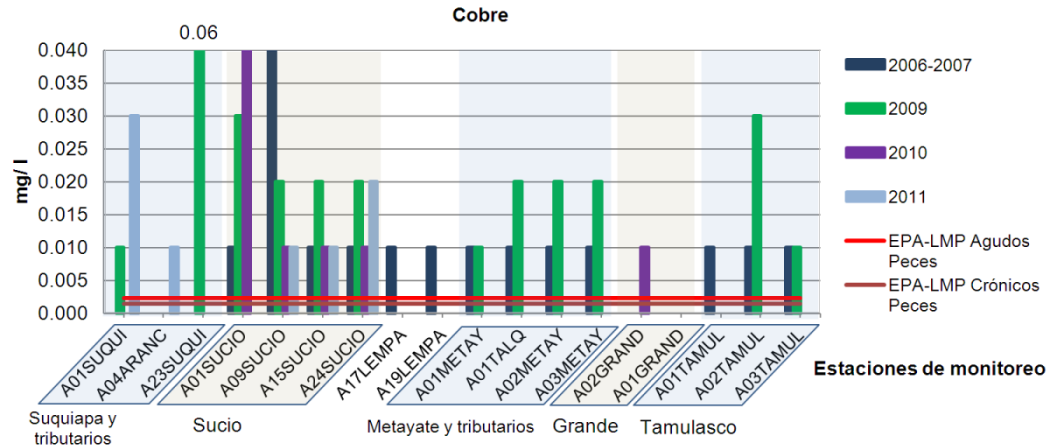


Figura 11. Dinámica espacio-temporal la conductividad en los aportes a Cerrón Grande por el oeste y el noreste, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

Las concentraciones de mercurio no son detectables por la técnica analítica, por lo que son bajos; en el caso del plomo todos los valores son muy inferiores al LMP, ya que sólo en un caso ha podido cuantificarse; en el del zinc, sólo en A-09-SUCIO en 2001 se supera el LMP, con 0.18 mg/l, siendo en el resto de monitoreos y estaciones inferior al límite de detección o cuantificables pero bajos; y en el del arsénico, del que se dispone de datos en 2007, en todos los casos las concentraciones son inferiores al LMP, siendo el valor promedio de 0.008 mg/l.

Adicionalmente, se dispone de datos de cromo y arsénico para el año 2007, que en todos los casos se mantienen muy por debajo de 0.1 mg/l, límite establecido por FAO (FAO, 1985) para el riego (promedio en ambos casos igual a 0.008 mg/l).

Además de datos de concentración de los principales metales en las aguas, se dispone de información referente a las cargas en sedimentos de arsénico, cromo, mercurio y plomo en algunas de las estaciones para el año 2007. Es el caso del río Suquiapa en la estación A-23-SUQUI, del río Sucio en las estaciones A-15-SUCIO y A-24-SUCIO, y del Lempa en A-19-LEMPA. Es de destacar que en todos los casos las cargas de arsénico y cromo son inferiores a los límites por encima de los cuales pueden esperarse efectos a largo (ERL) y a medio plazo (EMR) sobre los sistemas biológicos asociados al sedimento (Long, Field, & MacDonald, 1998). También son inferiores a los valores objetivo y por tanto también de intervención, establecidos en la norma holandesa (Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Netherland, 2000), y su actualización, sobre todo en materia de valores de intervención, en la denominada “Soil Remediation Circular 2009” de EDSAT.

Las cargas de mercurio son superiores al ERL en las estaciones A-15-SUCIO (0.39 mg Hg/kg de materia seca) donde también se supera el ERL para el plomo aunque muy sensiblemente

(85.24 mg Pb/kg), y A-19-LEMPA, aunque no se supera el EMR. Algo similar sucede con los valores objetivo establecidos por la normativa holandesa, que se ven superados tanto para el mercurio como para el plomo en A-19-LEMPA, aunque no en A-15-SUCIO, y de nuevo se mantienen por debajo del valor de intervención actualizados por EDSAT (2009).

- o Por último, la concentración de fenoles alcanza un valor promedio de 2.2 mg/l. Este valor promedio es muy superior a la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinados a potabilización a través de un tratamiento convencional (Decreto 51), aunque sin embargo es inferior al límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l. A pesar de ello, este umbral fijado por EPA se ve superado en varias estaciones principalmente en el año 2006-2007, siendo los máximos observados los registrados en A-23-SUQI, A-17-LEMPA y A-19-LEMPA (4.4-4.8 mg/l), por lo que han estado entrando altas concentraciones de fenoles al embalse Cerrón Grande en dichas fechas. Concentraciones elevadas también se observan en 2011 en el río Sucio, aunque son algo inferiores que las anteriormente comentadas.
- o Cerrando la valoración del estado de las aguas de estos aportes al embalse Cerrón Grande por el Oeste, se concluye que, a partir de las concentraciones analizadas de coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, variación de temperatura, turbiedad, TDS y oxígeno disuelto, los ICA obtenidos oscilan entre los estados “regular” y “pésimo”, aunque predomina el estado “pésimo”. Con ello, y según ICA las aguas en este tramo por lo general imposibilitarían el desarrollo de la vida acuática, de modo que sólo se podría desarrollar un número limitado de formas de vida acuática. Además, se deberían implantar restricciones para el contacto humano, como la natación.

Análisis de los aportes al embalse Cerrón Grande por el Noreste:

- o Las concentraciones de DBO₅ se mantienen bajas en los tres ríos que aportan caudales al embalse Cerrón Grande por el norte y el este del mismo: Metayate y su tributario, el río Talquezalapa, Grande y Tamulasco, siendo las más altas las registradas en el río Metayate en la estación A-03-METAY y en el río Tamulasco en la estación A-02-TAMUL, con 4 mg/l, lo que es una concentración muy moderada de este parámetro. Las aguas en general presentan buena oxigenación, aunque hay ciertas desviaciones en el río Metayate, donde puntualmente se registran concentraciones bajas, próximas a 4 mg/l en 2007 (y en A-02-TAMUL en 2010, momento en que se registra una concentración de 2 mg/l), y por tanto inferiores a las adecuadas para la vida piscícola. También se registra cierta sobresaturación en 2009 y 2010, en las estaciones A01-METAY y A-03-METAY, en las que se superan los 10 mg/l.

En cuanto a la contaminación microbiológica, las concentraciones de coliformes fecales son bajas a lo largo de los distintos ríos, al menos en las estaciones analizadas, a excepción de en la estación A-02-TAMUL, que presenta altas concentraciones en todos los muestreos, muy por encima de 1,000 NMP/100 ml recomendados por OMS para el uso recreativo o las aguas crudas que van a ser objeto de tratamiento convencional.

- o En cuanto a los nutrientes, las concentraciones de nitratos y fosfatos son inferiores a las registradas en los aportes por el Oeste; las mayores concentraciones registradas se han observado en el río Tamulasco en la estación A-03-TAMUL, siendo de 2.20 mg N-NO₃/l en 2006-2007 y 2009, y de 0.32 mg P-PO₄/l en 2011, aunque los promedios para todas las

estaciones de los tres ríos ascienden a 0.85 mg N-NO₃/l y 0.12 mg P-PO₄/l. Por lo general las concentraciones puntuales de fosfatos son superiores a los límites máximos establecidos por EPA a partir del cual pueden producirse problemas de eutrofización en ríos y en sistemas lénticos.

El nitrógeno amoniacal para el año 2007 es en todos los casos inferior a 2 mg N-NH₃/l (promedio igual a 0.4 mg N-NH₃/l).

- o Los valores de pH registrados en 2006-2007, 2010 y 2011 se mantienen entre 8.2 y 6.5, por lo que se mantienen moderados. Sin embargo, se registran algunos máximos de carácter puntual en los ríos Metayate (estación A-03-METAY año 2009: 8.6 unidades), Grande (estación A-02-GRANDE año 2009: 9.2 unidades) y Tamulasco (estación A-01-TAMUL año 2007: 10.0 unidades). En cuanto a la temperatura del agua, todas las estaciones estudiadas en 2007 presentan escasa desviación con respecto a la temperatura ambiental, con la excepción de en el tramo alto del río Tamulasco, por lo que se descartan posibles afecciones al embalse en materia de temperatura, al menos en el momento en que se tomaron los datos.
- o Las concentraciones de TDS son elevadas y relativamente similares entre estaciones, manteniéndose por debajo de 325 mg/l (máximo registrado en A-02-TAMUL en 2010), por lo que no suponen limitaciones en materia de este parámetro para su aprovechamiento en el riego y como aguas crudas. Lo mismo sucede con la turbiedad y el color aparente, que son bajos en comparación con los aportes a Cerrón Grande por el Oeste. En el caso de la turbidez, el valor promedio se sitúa próximo al umbral especificado por OMS para el uso recreativo (promedio en 13 NTU); en el caso del color aparente, los valores se mantienen por debajo de la norma de calidad deseable para las aguas crudas según el Decreto 51, con lo que son valores muy inferiores a los registrados en los ríos Sucio o Suquiapa.
- o En materia de sales, hay diferencias entre los distintos ríos, aunque por lo general, el año 2011 presenta mayores valores de conductividad, concentraciones de sodio y cloruros, y RAS, que en los años precedentes. Este efecto es particularmente llamativo en el río Metayate, en las estaciones A-01-METAY y A-03-METAY, año en que los valores son muy superiores a los años precedentes: los máximos alcanzan respectivamente de 642 y 980 μ S/cm en lo que a conductividad se refiere, y valores de 85.3 y 88.7 meq de Na/l, respectivamente. En el resto de años, las concentraciones en el río Metayate se mantienen por debajo de 400 μ S/cm y de 60 meq Na/l, por lo que no serían esperables problemas en las aguas de riego en función de estos parámetros; a pesar de ello, es destacable los máximos de RAS detectados en este río, que aunque no superan la norma de calidad deseable para el riego según el Decreto 51, sí son muy superiores al resto de aportes al embalse, alcanzando respectivamente, 7.7 y 10 unidades de RAS, para las estaciones anteriormente mencionadas. Ante estos máximos la FAO recomienda que se tomen ciertas restricciones en el riego a manta, con el fin de evitar posibles problemas de toxicidad en cultivos especialmente sensibles.

Los ríos Grande y Tamulasco presentan valores más bajos de conductividad, sodio y RAS; en el caso de los cloruros, en todos ellos son inferiores a la norma de calidad deseable para el riego según el Decreto 51, y se mantienen en niveles que según FAO no necesitan medidas de restricción; los mínimos se registran en el río Grande.

En todos los casos, las concentraciones de boro se sitúan por debajo del LMP inferior para el riego, siendo de hecho no cuantificable, mientras que los sulfatos se mantienen en el rango adecuado para el riego, ambos según el Decreto 51.

- o En lo que respecta a los metales, se dispone de algunos datos cuantificados de mercurio en los ríos Grande y Tamulasco para el año 2007, siendo inferior al LMP a partir del cual pueden aparecer efectos agudos en todas las estaciones; en el resto de muestreos y estaciones las concentraciones son inferiores al límite de detección. Lo mismo sucede con el caso del plomo, de los que se dispone de un dato de concentración en todas las estaciones de los ríos Grande, Tamulasco y Metayate, siendo de nuevo inferiores al LMP a partir del cual pueden aparecer efectos agudos. Este no es el caso del cobre, del que se dispone de mayor número de concentraciones, y del que se tiene conocimiento que siempre está por encima del LMP respectivo en A-02-TAMUL, donde alcanza los 0.03 mg/l en 2009.

Además, los niveles de están muy por debajo de los LMP respectivos, siendo en su mayor parte no detectables. El arsénico y el cromo se mantienen en 2007 (campaña con dato) muy por debajo de 0.1 mg/l, límite recomendable establecido para el riego (FAO, 1985).

- o Por último, los fenoles oscilan entre niveles no detectables y concentraciones máximas en el río Tamulasco, de 4.9 mg/l en A-01-TAMUL y 3.6 mg/l en A-02-TAMUL (ambos en 2006-2007). En estas estaciones se está superando el límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l; el promedio para los tres ríos asciende a 2.2 mg/l, por lo que de nuevo es muy superior a la norma deseable para las aguas crudas según el Decreto 51, aunque se mantiene por debajo del límite recomendado por la EPA.
- o Para finalizar la valoración del estado de las aguas de estos aportes al embalse Cerrón Grande por el Noreste, los ICA obtenidos oscilan entre los estados “regular” y “pésimo”, aunque predomina el estado “regular”, de modo que según este índice, las aguas en este tramo supondrían restricciones para el desarrollo de la vida acuática, predominando una baja diversidad y probablemente ciertos desarrollos algales más frecuentes de los que se presentarían en zonas con mejor calidad; así como restricciones para el contacto humano.
- o Como comentario adicional, se destaca la existencia de una planta potabilizadora que toma los caudales del río Tamulasco en el municipio de Chalatenando. Es de destacar que este río ha presentado incumplimientos de los requisitos necesarios para el empleo de las aguas crudas para el consumo tras ser objeto de un tratamiento convencional. Los incumplimientos de han registrado en materia de DBO_5 , oxígeno disuelto, coliformes fecales y fenoles.

Análisis de los aportes al embalse Cerrón Grande por el Suroeste:

- o Las concentraciones de DBO_5 y de coliformes fecales son muy elevadas a lo largo del río Acelhuate y en su tributario, el río Matalapa, ya que en todos los casos superan los niveles adecuados para aguas crudas que van a ser objeto de tratamiento convencional, así como para un uso recreativo por contacto directo (ver Figura 12 para la dinámica de la DBO_5 y la Figura 13 para la del oxígeno disuelto). Esta situación va acompañada de bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, inferiores a 5 mg/l en todos los muestreos y

estaciones, y en ocasiones muy próximos a la anoxia, por lo que pueden generarse impactos negativos sobre la vida piscícola, además de no ser adecuadas para su uso recreativo según criterio de la OMS. Los máximos de DBO_5 y coliformes fecales se registran en A-01-MATAL y en A-17-ACELH, siendo superiores a 150 mg/l en el primer caso y superiores a 90 millones NMP/100 ml en el segundo, respectivamente. Es por ello por lo que presenta unas condiciones de contaminación orgánica y microbiológica comparable a la detectada en otros ríos como el Sucio o el Suquiapa.

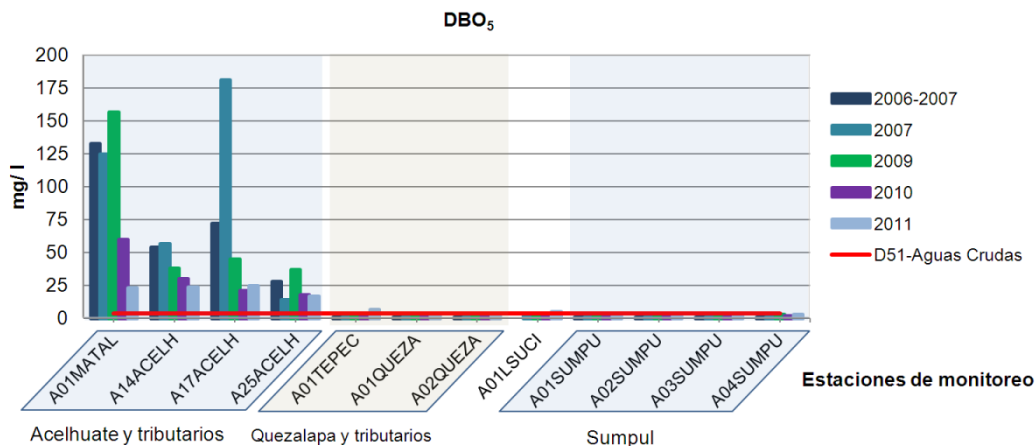


Figura 12. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de DBO_5 en los aportes a Cerrón Grande por el sureste, y aportes al embalse 5 de Noviembre, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

Los ríos Quezalapa, Tepechapa y Sucio (este último en Cuscatlán) presentan por el contrario niveles de contaminación orgánica y microbiológica más próximos a los que se ha registrado en ríos que aportan por el norte del embalse Cerrón Grande, como son el Metayate y el Grande. De hecho el máximo en estos ríos de DBO_5 se ha registrado en la estación A-01-TEPEC en 2011, con 7 mg/l; mientras el máximo de coliformes fecales se ha observado en A-01-LSUCI en 2007, con 13,000 NMP/100 ml, que aunque es superior al umbral recomendado por la OMS, dista mucho de las concentraciones observadas en otros ríos (Figura 14). Debido a esta mejor calidad, las aguas de los ríos Quezalapa, Tepechapa y Sucio (en Cuscatlán) están bien oxigenadas a lo largo de los distintos muestreos, con la excepción del año 2011, en que se observa una desoxigenación acusada a lo largo de todos los puntos de muestreo, bajando sensiblemente de 4 mg/l en Tepechapa y Sucio.

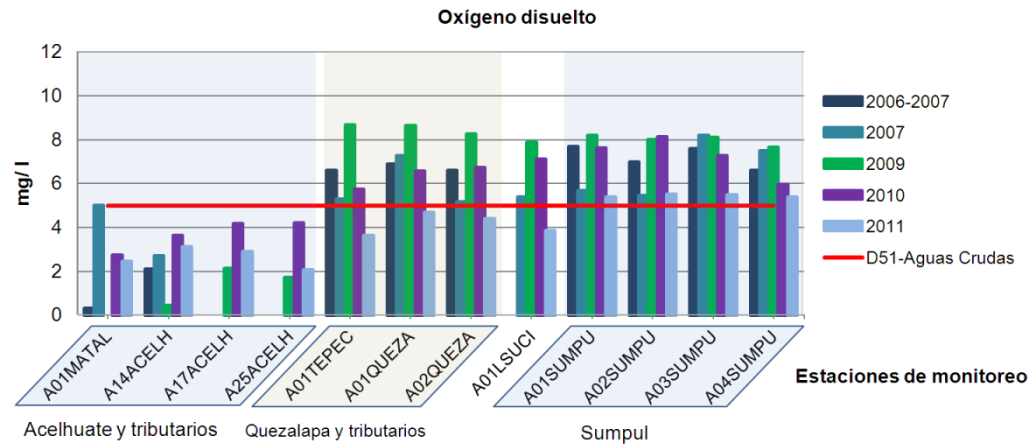


Figura 13. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de oxígeno disuelto en los aportes a Cerrón Grande por el sureste, y aportes al embalse 5 de Noviembre, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

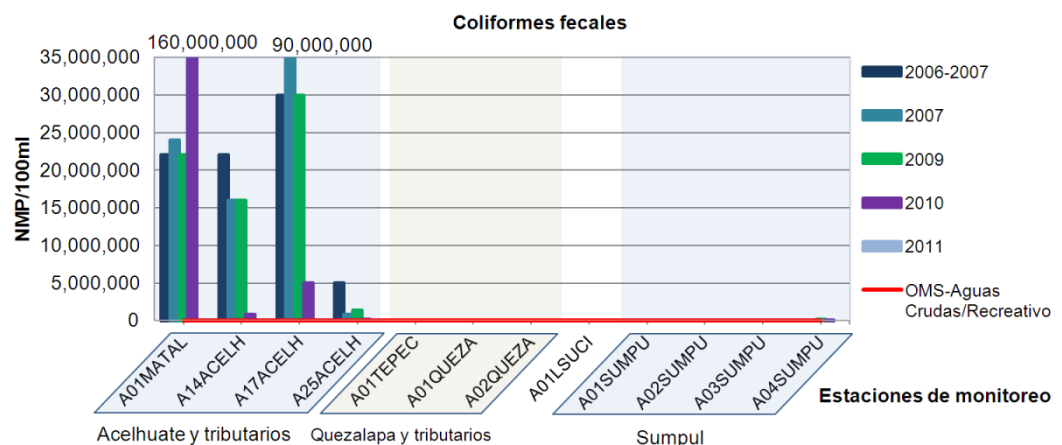


Figura 14. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de coliformes fecales en los aportes a Cerrón Grande por el sureste, y aportes al embalse 5 de Noviembre, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

- o Al igual que en el caso de la contaminación orgánica y microbiológica, las concentraciones de nitratos y fosfatos son superiores a lo largo del río Acelhuate y en su tributario, el río Matalapa, aunque en este caso las diferencias son menos acusadas con respecto a los ríos Quezalapa, Tepechapa y Sucio (en Cuscatlán); también son inferiores en promedio a las observadas en los ríos Sucio y Suquiapa. En este caso, las mayores concentraciones de nitrato registradas se han observado en el año 2009 a lo largo de todo el Acelhuate y en el Matalapa, no bajando de 12 mg N-NO₃/l, aunque en el resto de muestreos en estas estaciones las concentraciones son muy inferiores, por debajo de 2 mg/l. En el caso del fosfato, sólo se dispone de datos del 2011; los máximos se registran en la estación A-01-MATAL, con casi 2 mg P-PO₄/l. En los ríos Quezalapa, Tepechapa y Sucio (en Cuscatlán) las

concentraciones son muy inferiores a las anteriormente comentadas, siendo los máximos de nitratos los registrados en A-01-QUEZA en 2009 (2.64 mg N-NO₃/l) y los máximos de fosfatos los observados en A-02-QUEZA en 2011 (0.72 mg P-PO₄/l). En la Figura 15 se muestra la dinámica espacio-temporal del nitrato.

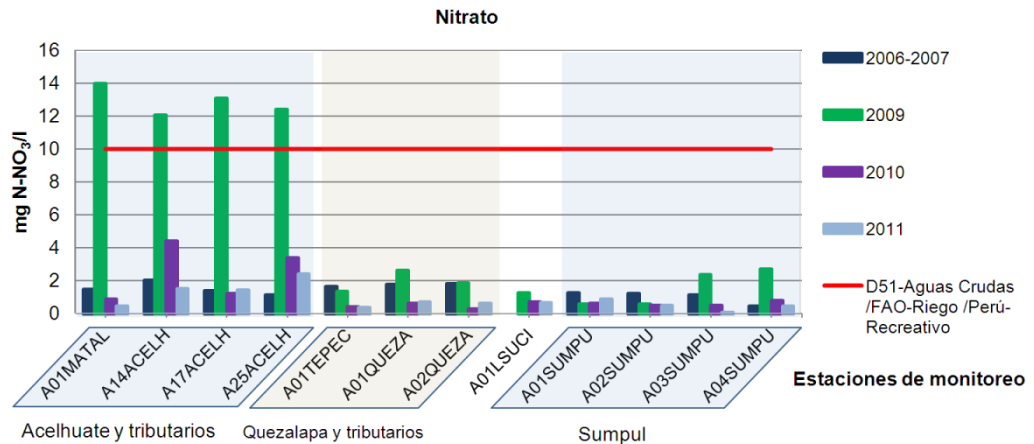


Figura 15. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de coliformes fecales en los aportes a Cerrón Grande por el sureste, y aportes al embalse 5 de Noviembre, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

A pesar de las diferencias, en todas las estaciones los valores de fosfatos son muy elevados superando los límites máximos propuestos por EPA a partir de los cuales pueden hacerse patentes efectos negativos en ríos y lagos.

Además de estas diferencias, el nitrógeno amoniacal cuantificado en 2007 es muy elevado en los ríos Acelhuate y Matalapa, oscilando entre 28.3 mg N-NH₃/l en Matalapa y 17.1 mg N-NH₃/l a lo largo del Acelhuate. Estas concentraciones contrastan con las del resto de estaciones de la zona, inferiores a 2 mg N-NH₃/l. Son de hecho las más elevadas de la Zona Hidrográfica I –Río Lempa, y muy superiores al estándar de calidad ambiental para aguas que puedan ser potabilizadas con tratamiento convencional.

- o Por lo general, el pH se mantiene entre 8.3 y 8.5 unidades, salvo excepciones de gran relevancia, como es el caso del registrado en 2007 en A-17-ACELH, de 2.6 unidades, un pH de gran acidez y de gran impacto sobre el medio receptor y el ecosistema que sustenta. Obviando este mínimo observado, el pH es sensiblemente más neutro en el río Acelhuate que en los otros ríos analizados en este tramo ya que se aproxima más al pH 7 que el resto. La excepción se observa en 2011, año en que los pH son inferiores en los ríos Quezalapa, Tepechapa y Sucio (en Cuscatlán).

La temperatura del agua presenta una desviación destacable con respecto a la ambiental en los muestreos realizados en 2007 en el ámbito del río Acelhuate, y en menor medida en el Tepechapa, de modo que la diferencia de temperaturas asciende a 7°C en Matalapa y a 6.2 en A-14-ACELH, a 3.9 en A-17-ACELH y a 3.7 en A-01-TEPEC.

- o La concentración de TDS, turbiedad y color es superior por lo general en el río Acelhuate. De este modo, los valores promedio de estos tres parámetros asciende para todo el periodo a 475 mg/l, 163 NTU y 850 unidades Co-Pt, respectivamente. Estos promedios conllevan la existencia de monitoreos con valores que superan el umbral recomendado por FAO a partir del cual deben tomarse algunas restricciones de uso en los casos de riego a manta (TDS superiores a 450 mg/l), el marcado por EPA para las aguas crudas que sean potabilizadas por tratamiento convencional (TDS superior a 500 mg/l), y los marcados por el Decreto 51 para dicho uso en lo que se refiere a la turbiedad y el color. En la Figura 16 se adjunta la dinámica de los TDS:

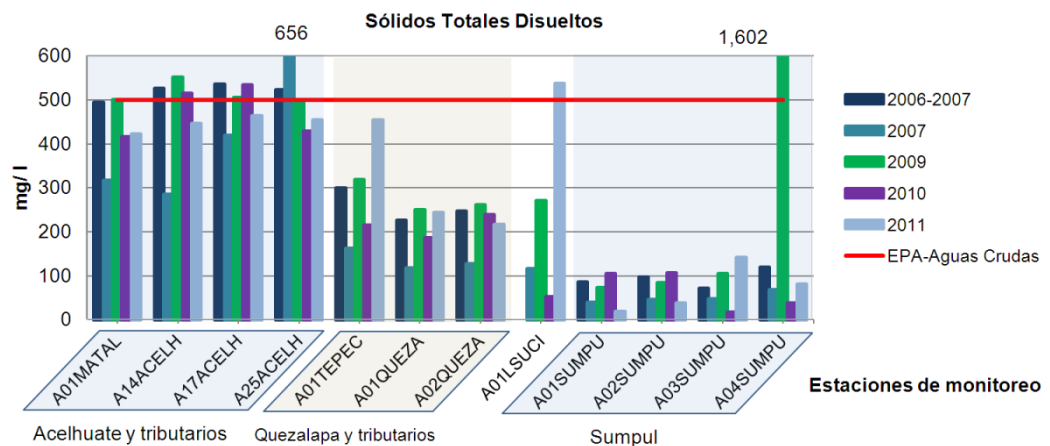


Figura 16. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de TDS en los aportes a Cerrón Grande por el sureste, y aportes al embalse 5 de Noviembre, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

Esto contrasta con los valores promedio observados en los ríos Quezalapa y Tepechapa, más bajos, que ascienden respectivamente a 238 mg/l, 37.5 NTU y 117 unidades Co-Pt, por lo que en su mayoría estarían por debajo de los umbrales anteriormente comentados. El río Sucio (en Cuscatlán) presenta unas características intermedias, ya que los promedio son, respectivamente, de 250 mg/l, 71 NTU y 480 unidades, aunque de nuevo, salvo el color, los parámetros se sitúan en un rango que se puede considerar adecuado.

- o En materia de conductividad y sales, las concentraciones son superiores en el río Acelhuate. En el caso de la conductividad, los valores se mantienen entre 810 y 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que se mantienen por encima de la norma de calidad deseable para la propagación piscícola, aunque dentro del rango deseable para el riego. En el caso del sodio, el promedio ronda los 51 meq/l, por lo que sería adecuado para el riego, aunque en 2010 todos los valores superan el límite máximo establecido por el Decreto 51 para el riego, así como el establecido por FAO como habitual para este uso. En los ríos Quezalapa, Tepechapa y Sucio (en Cuscatlán), ambos parámetros son inferiores, rondando los promedios los 256 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los 22 meq Na/l.

Por otra parte, en todos los ríos las concentraciones de cloruros son bajas, por debajo de la norma de calidad deseable para el riego, aunque los valores son mayores en el Acelhuate

con respecto a los otros ríos (40 mg/l frente a 5 mg/l, respectivamente); aun así en todos los casos no sería necesaria la restricción de uso en función de este parámetro. Además, en **todos los casos el RAS es bajo y adecuado para el riego sin restricciones**, aunque de nuevo algo mayor en el Acelhuate (2 frente a 0.7, respectivamente). En todos los casos, las concentraciones de boro no son cuantificables por lo que se sitúan muy por debajo del LMP inferior para el riego (Decreto 51). Por último, los sulfatos se mantienen en el rango adecuado para el riego, a excepción de en el caso del río Tepechapa, donde se registran 8.1 meq/l (a pesar de ello, según FAO estas concentraciones siguen siendo adecuadas para el riego).

- o Se dispone de datos de concentración de **cobre** en los ríos Acelhuate, Matalapa, Quezalapa, Tepechapa y Sucio (en Cuscatlán), siendo los **máximos los registrados en Matalapa, de 0.18 mg/l en 2006-2007**. Además, se dispone de dato de mercurio para la estación A-01-LSUCI, y de plomo para A-01-TEPEC, A-01-QUEZA y A-01-LSUCI; en todos los casos están por debajo del LMP a partir del cual puede detectarse efectos agudos sobre la vida piscícola, o no han podido ser cuantificados; esto sucede en el caso del cromo, zinc y arsénico, que o bien no han sido cuantificados por sus bajas concentraciones, o bien se dispone de dato pero son concentraciones muy bajas. De hecho, tanto el arsénico como el cromo se mantienen por debajo de 0.1 mg/l, límite establecido para ambos para el riego (FAO, 1985).

Además de datos de concentración de los principales metales en las aguas, **se dispone de datos de carga en sedimentos de arsénico, cromo, mercurio y plomo** en las estaciones del río Acelhuate para el año 2007. Aunque en ningún caso las cargas superan los ERM (Long, Field, & MacDonald, 1998) y los valores de intervención para los metales estudiados (EDSAT, 2009), por lo que puede considerarse que los niveles existentes no supondrían un peligro para las propiedades funcionales de la vida en el sedimento, sí **se presentan cargas que superan ampliamente los ERL en el caso del mercurio en las tres estaciones del Acelhuate (máximo en A-14-ACELH, con 0.42 mg Hg/kg), y en el caso del plomo en las dos estaciones superiores (máximo en A-14-ACELH, con 103.04 mg Pb/kg)**. En el caso de los valores objetivos, se superan ligeramente tanto para el mercurio como para el plomo en las dos estaciones superiores, siendo como se ha comentado superiores las cargas en A-14-ACELH, por lo que en global pueden considerarse concentraciones moderadas que no supondrán una afección sobre los organismos del sedimento, o en caso de producirse, será un fenómeno poco frecuente.

- o Por último, se dispone de información de los **fenoles en el agua, elevados y relativamente variables entre campañas y estaciones, y cuyo valor promedio asciende a 2.2 mg/l**. Este valor promedio es muy superior a la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinados a potabilización tras someterse a un tratamiento convencional (Decreto 51), aunque sin embargo es inferior al límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l. Las mayores concentraciones se registran en 2011 en casi todas las estaciones, superando este último umbral; el máximo se registra en el río Sucio, con 5 mg/l, seguido de cerca por el río Quezalapa, con 4.35 mg/l (en A-02-QUEZA) y por el río Acelhuate, en el que se registran 3.65 mg/l (en A-17-ACELH).



- Cerrando la valoración del estado de las aguas de esta parte de la Zona Hidrográfica I, a través del índice de calidad del agua general, ICA, se obtiene una **valoración de calidad “pésima” en Acelhuate y Matalapa, y entre “mala” y “regular” en el resto. Con ello, en todos los casos habrá restricciones para el desarrollo de la vida piscícola, más acusadas en el Acelhuate-Matalapa, presentando menores biodiversidades y mayor afluencia de desarrollos algales excesivos; también deben tomarse restricciones de uso, más exhaustivas en el Acelhuate-Matalapa.**

- Aportes al embalse 5 de Noviembre: los principales aportes al embalse 5 de Noviembre proceden del embalse Cerrón Grande, situado aguas arriba, aunque no se dispone de ninguna estación próxima situada aguas arriba de 5 de noviembre, ni en el río ni en el propio embalse; y a través del río Sumpul, cuya calidad se analiza a continuación, a través de los resultados analíticos de las 4 estaciones que el MARN ha dispuesto en el mismo (A-01-SUMPU a A-04-SUMPU):
 - El río Sumpul se caracteriza por bajas concentraciones de DBO_5 pero altas concentraciones de coliformes fecales, lo que va acompañado por una ausencia de problemas de oxigenación. Los valores promedio en el río para estos tres parámetros ascienden a 1.7 mg/l, 15,600 NMP/100 ml y 6.9 mg/l, respectivamente. Aun así, es destacable algunos máximos observados, sobre todo en materia de coliformes fecales, como es el caso de los 160,000 NMP/100 ml registrados en 2009 en A-04-SUMPU.
 - En materia de las formas del nitrógeno y del fósforo, éstos presentan concentraciones altas, ascendiendo los promedios para el río a 0.9 mg N-NO_3 /l, 0.24 mg N-NH_3 /l y 0.03 mg P-PO_4 /l. Es destacable que las concentraciones se mantienen relativamente constantes a lo largo de las estaciones y los muestreos, de modo que en cuanto al nitrógeno, las mayores concentraciones se registran en A-04-SUMPU, ascendiendo el promedio para esta estación a 1.10 mg N-NO_3 /l y 0.32 mg N-NH_3 /l. En cuanto al fosfato, se destaca que el promedio es algo superior al límite máximo a partir del cual pueden hacerse palpables afecciones sobre los sistemas lénticos, pero en comparación con otros aportes analizados aguas arriba, en Cerrón Grande, son muy moderados.
 - El pH se mantiene entre 6.7 y 8.1 unidades, a excepción de la muestra tomada en A-01-SUMPU en 2007, que alcanza las 10 unidades. Sin embargo, la temperatura del agua presenta cierta desviación con respecto a la ambiental, siendo algo superior a los 3°C especificados por el Decreto 51 como aceptados para la propagación de la vida piscícola. Esta desviación se observa en todas las estaciones, aunque es más evidente en A-03-SUMPU, con 4.5°C.
 - La concentración de SDT es baja a lo largo del río, manteniéndose por debajo de 105 mg/l, a excepción de en 2009 en la estación A-04-SUMPU, que presentó una concentración muy elevada, de 1,602 mg/l. Esto se corresponde con los niveles de turbiedad observados, relativamente altos a lo largo del río (promedio de 140 NTU), a excepción del muestreo anteriormente comentado, en el que se alcanzan 1,040 NTU. En cuanto al color, se observan valores variables a lo largo de las estaciones y monitoreos, siendo mayores en los años 2009

y 2010, en los que se registran valores muy altos en A-03-SUMPU y A-04-SUMPU, por encima de 1,500 unidades Co-Pt.

De este modo, con excepción del máximo registrado en 2009, y del color en 2009 y 2010, las aguas han sido adecuadas para el riego y como aguas crudas que tras tratamiento convencional sean aprovechadas para el consumo, aunque no han sido aptas para el uso recreativo por contacto directo, debido a que la turbiedad es bastante superior a 10 NTU (OMS).

- o La conductividad y las concentraciones de sales son bajas a lo largo del río, salvo excepciones, como es el caso de la estación A-03-SUMPU, que en 2010 presentó un máximo de sodio de casi 75 meq Na/l, y uno de RAS de 4. Obviando estos dos máximos, los valores de todos los parámetros son bajos, siendo el promedio para el río y todos los monitoreos de 84 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad, 2.8 mg/l de cloruros, 25 meq Na/l y 0.7 de RAS. Las concentraciones de boro son no detectables, y las de sulfatos se mantienen dentro del rango de la norma deseable para el riego, tanto por el Decreto 51 como por FAO. Con ello, las aguas son adecuadas para el riego, sin necesidad de aplicar restricciones.
 - o En lo que respecta a la concentración de metales, se dispone de algunas concentraciones significativas, es decir, por encima del límite de detección de la técnica analítica, que en el caso del mercurio y plomo son bajas, por debajo del LMP, pero que en el caso del cobre se sitúan por encima del LMP correspondiente. A pesar de ello los valores máximos no exceden de 0.01 mg/l, por lo que son más moderados que máximos observados aguas arriba en el Lempa y tributarios. No se han cuantificado niveles significativos de zinc, arsénico y cromo, por lo que se descartan posibles afecciones sobre los peces y el riego.
 - o Por último, el promedio de concentración de fenoles es similar a los observados anteriormente, ascendiendo a 2.2 mg/l, con lo que son elevados. Se observan máximos que superan el límite establecido por la EPA para las aguas crudas que sean destinadas al consumo tras tratamiento convencional; es el caso de A-01-SUMPU en 2006-2007 (3.90 mg/l) y A-03-SUMPU en 2011 (4.45 mg/l).
 - o Para finalizar la valoración general de la calidad de las aguas, el ICA indica que las aguas del Sumpul oscilan entre los estados “malo” y “regular”, aunque en 2011 en el tramo bajo del Sumpul se ha producido una mejoría, a “buena calidad”, por lo que de mantenerse esta buena valoración en futuras campañas, podría aumentar la diversidad de organismos acuáticos y reducirse la necesidad de restricciones para el contacto humano con respecto a años pasados, y con respecto al tramo alto, que en 2011 sigue presentando un estado entre “malo” y “regular”.
- Aportes al embalse 15 de Septiembre: los aportes principales al embalse 15 de Septiembre se producen a través de los ríos Titihuapa por el Oeste, del que se dispone de tres estaciones de monitoreo (A-01-RTITI a A-03-RTITI); del río Lempa por el Norte, del que no se dispone de estaciones aguas arriba del embalse, aunque sí se dispone de información de un tributario del Lempa en dicho tramo, el río Torola (A-01-TOROL y A-02-TOROL; y de uno de sus tributarios, el río Sapo – A-01—RSAPO, aunque está

situado bastante aguas arriba de la confluencia con el río Lempa); y del río Tamarindo por el Este (A-01-RTAMA y A-02-RTAMA), que dispone además de datos de un tributario, el río Sesor (A-01-SESOR).

Análisis de los aportes al embalse 15 de Septiembre por el Oeste (Río Titihuapa):

En cuanto a la contaminación orgánica, las aguas presentan **baja concentración de DBO₅**, manteniéndose por debajo de 4 mg/l. Es por ello por lo que **las aguas están bien oxigenadas, con valores por encima de 6 mg/l, a excepción de en el año 2011**, en el que por lo general las aguas se han mantenido bastante desoxigenadas, entre 4.4 y 3.6 mg/l, lo que también se ha observado en otras estaciones de la Zona Hidrográfica. Además, **en el tramo bajo del río, sobre todo en la estación A-03-RTITI, se observa cierta sobresaturación en 2009**, y en menor medida en 2007. **Por otra parte, hay baja contaminación por coliformes fecales**, siendo el valor máximo el registrado en la estación A-03-RTITI de 1,700 NMP/100 ml en 2010 (Figura 17).

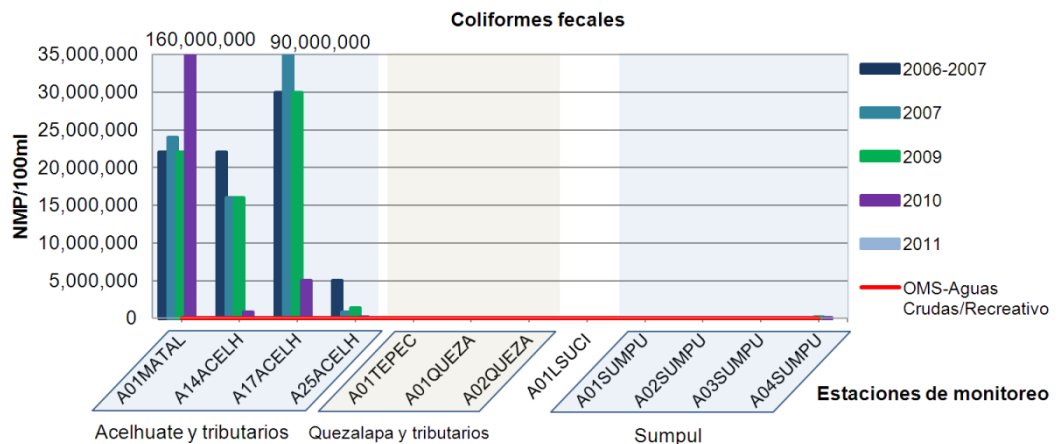


Figura 17. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de coliformes fecales en los aportes al embalse 15 de Septiembre, y tramo bajo del Lempa, Zona Hidrográfica I – Río Lempa, periodo 2006-2011.

En materia de nutrientes, las concentraciones son relativamente moderadas (en cuanto al nitrógeno) y sensiblemente superiores en la estación A-01-RTITI, en las que se registran 2.3 mg N-NO₃/l en 2006-2007, y 0.3 mg P-PO₄/l en 2011. Por el contrario, los máximos de nitrógeno amoniacal se registran en A-03-RTITI, con casi 0.4 mg N-NH₃/l, aunque siguen siendo valores adecuados para el consumo de las aguas crudas tras pasar por un tratamiento convencional (República del Perú, 2008). Las concentraciones unitarias de fosfatos son bastante superiores al límite máximo a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en ríos y en lagos (EPA, 1986).

- o El pH se mantiene entre 8.4 y 6.5 unidades, por lo que se mantiene en rangos adecuados para los distintos usos. Además, la temperatura del río se mantiene muy similar a la ambiental, por lo que se descarta que sea motivo de alteraciones en la propagación piscícola.
- o La concentración de TDS se mantiene por debajo de 236 mg/l, y el color aparente por debajo de 158 unidades Co-Pt, por lo que **ambos están dentro del rango establecido por la**

EPA y por el Decreto 51 para las aguas crudas (los TDS tampoco suponen una limitación para su uso en los regadíos). Es también el caso de la turbiedad, aunque se desvía puntualmente en la estación A-01-RTITI en 2011, momento en que se alcanzan los 400 NTU; aun así en el resto de monitoreos y estaciones se mantienen por debajo de 100 NTU.

- o La conductividad es baja y bastante homogénea a lo largo del río y entre monitoreos, manteniéndose en un promedio de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En cuanto a las concentraciones de sales, destacan los **bajos valores de cloruros y sodio**, en su mayor parte por debajo del rango inferior marcado por el Decreto 51 para aguas crudas (4 mg/l de promedio para el caso de los cloruros) y para riego (20 meq/l de promedio para el caso del sodio y muy inferior a 5.5 meq/l en el caso de los cloruros). El RAS también es bajo, próximo a 0.5, por lo que no supone ninguna restricción para el riego, al igual que el boro (que presenta niveles no cuantificables), y los sulfatos (que se mantienen por debajo de 0.7 meq/l).
- o En lo que respecta a la concentración de los metales objeto de estudio (cobre, mercurio, plomo, zinc, arsénico y cromo), en todos los casos los niveles son bajos y/o no cuantificables, de modo que **se mantienen por debajo de los LMP a partir de los cuales pueden producirse efectos agudos en los peces, y de los límites recomendados por FAO para el riego.**

Además de datos de concentración de los principales metales en las aguas, **se dispone de información referente a las cargas en sedimentos de arsénico, cromo, mercurio y plomo** en la estación A-03-RTITI para el año 2007. A la vista de los resultados, **las cargas de arsénico y cromo son inferiores a los límites por encima de los cuales pueden esperarse efectos a largo (ERL) y por tanto también a medio plazo (EMR) sobre los sistemas biológicos asociados al sedimento** (Long, Field, & MacDonald, 1998). También son inferiores a los valores objetivo y por tanto también de intervención, establecidos en la norma holandesa (Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Netherland, 2000), y su actualización (EDSAT, 2009).

La carga de mercurio sin embargo es algo superior al ERM (0.81 mg Hg/kg de materia seca) aunque no al valor de intervención, que es muy superior al anterior (establecido en 10 mg/kg). La de plomo, sin embargo, es superior al ERL (76.1 mg Pb/kg), pero no al ERM, ni al valor objetivo. Con ello se puede concluir que, aunque las concentraciones de mercurio son algo superiores a las esperables en un sedimento de tipo natural, no se esperan afecciones sobre la vida que se sustenta en dicha matriz o, si se producen, serían poco frecuentes.

- o En este río la **concentración promedio de fenoles en el agua es algo superior a las observadas en otras partes de la zona hidrográfica, llegando a 2.6 mg/l**, por lo que vuelve a estar por encima de la norma deseable para las aguas crudas establecido por el Decreto 51 pero inferior al límite recomendado por EPA. Sólo en 2006-2007 se ha superado esta recomendación, con 4.4 mg/l en A-02-RTITI y 3.7 mg/l en A-03-RTITI.
- o Por último, el índice de calidad general del agua, ICA, **facilita una valoración de la calidad del agua principalmente “regular”**, aunque en A-02-RTITI se han registrado valoraciones de “buena calidad” en 2010 y 2011. Con ello, el río podría presentar ciertas restricciones para los organismos acuáticos, pudiendo suponer un descenso en la biodiversidad y facilitarse



ciertas explosiones algales; también sería necesario tomar algunas restricciones al contacto directo.

Análisis de los aportes al embalse 15 de Septiembre por el Norte (Río Torola y tributario):

- o En cuanto a la contaminación orgánica, las aguas presentan **baja concentración de DBO₅**, siendo sensiblemente superior que en el río Titihuapa, y manteniéndose por debajo de 6 mg/l. **Las aguas están bien oxigenadas, con valores promedio en torno a 7 mg/l**, y un rango de oscilación entre 4.5 (mínimo registrado en 2011) y 8.1 mg/l. A pesar de estas condiciones favorables, **sí se registran concentraciones significativas de coliformes fecales**; los máximos se registran en 2007 a lo largo del río, pero son especialmente elevados en la estación A-02-TOROL, en la que se alcanzan 160,000 NMP/100 ml.
- o En materia de nutrientes, las concentraciones son relativamente elevadas, similares en los ríos Torola y Sapo, y a las observadas en el río Titihuapa. Los valores promedio ascienden a 0.91 mg N-NO₃/l, 0.21 mg N-NH₃/l y 0.12 mg P-PO₄/l.
- o El pH es ligeramente superior en el río Sapo que en el río Torola, pero en general se mantiene entre 8.3 y 7.1 unidades, por lo que presenta un rango de variación más pequeño, sobre todo en los valores bajos, si se compara con los ríos comentados hasta el momento.
- o La concentración de SDT se mantiene por debajo de 155 mg/l, siendo los más bajos de todas las entradas al embalse 15 de Septiembre. El color aparente, sin embargo, es de los más elevados de dichas entradas, sobre todo en la estación A-01-RSAPO, que en 2009 alcanzó las 1,225 unidades Co-Pt (en otros muestreos y estaciones no superan los 457 unidades). La turbiedad en 2009 en dicha estación alcanza los 250 NTU, aunque en otras estaciones y muestreos se mantienen por debajo de 100 NTU.
- o La conductividad y la concentración de sales son bajas y homogéneas entre estaciones y monitoreos, algo inferiores a las observadas en el río Titihuapa, con la excepción que se observa en el caso del sodio en 2011, que es algo superior. Los promedios de conductividad, cloruros, sodio y RAS son respectivamente las que se enumeran a continuación: 66.5 μ S/cm, 3.4 mg/l, 16 meq/l y 0.26. El boro y los sulfatos se presentan en concentraciones bajas y también adecuadas para el riego, al igual que la conductividad y las sales comentadas.
- o Las concentraciones de cobre obtenidas en 2006-2007 superan el LMP a partir del cual pueden producirse efectos agudos en la vida piscícola, aunque no superan los 0.01 mg/l; en el resto de muestras las concentraciones son bajas y no cuantificables. Las concentraciones de mercurio, plomo, zinc y arsénico se mantienen por debajo de los LMP respectivos; en el del cromo (y del arsénico también), por debajo del límite establecido para el riego.
- o Por último, la concentración promedio de fenoles en el río Torola es algo superior al que ha presentado el río, ascendiendo en global a 2 mg/l. Observando los valores puntuales, en todos los casos se supera ampliamente la norma deseable para las aguas crudas establecido por el Decreto 51, y sólo puntualmente el límite recomendado por EPA, en A-01-TOROL en 2006-2007 (4.3 mg/l).

- o Para cerrar esta valoración, el ICA facilita una valoración en la que la calidad del agua es **“regular”**; el río podría presentar ciertas restricciones para los organismos acuáticos, pudiendo suponer un descenso en la biodiversidad y facilitarse ciertas explosiones algales; también sería necesario tomar algunas restricciones al contacto directo.

Análisis de los aportes al embalse 15 de Septiembre por el Este (Río Tamarindo y tributario):

- o Al igual que en los otros aportes analizados al embalse 15 de Septiembre, la **concentración de DBO₅** es baja en los ríos Tamarindo y Sesori, manteniéndose por debajo de 3 mg/l. **Las aguas están bien oxigenadas, con valores promedio en torno a 7 mg/l**, y un rango de oscilación entre 5 (mínimo registrado en 2011) y 8.4 mg/l. A pesar de estas condiciones favorables, y al igual que sucediera en el río Torola, **se registran concentraciones significativas de coliformes fecales**; los máximos se registran en 2007 en A-01-RTAMA, con 240,000 NMP/100 ml, y en 2009 en A-01-SESOR, con 160,000 NMP/100 ml.
- o En materia de nitrógeno y fósforo, las concentraciones son de nuevo moderadas en lo que respecta al nitrógeno, similares en ambos ríos, y a las observadas en otros aportes al embalse anteriormente analizados. Los valores promedio ascienden a 0.86 mg N-NO₃/l y a 0.17 mg N-NH₃/l. En lo que respecta al fósforo, el valor promedio es próximo a 0.31 mg P-PO₄/l, lo que está muy por encima del límite máximo especificado por EPA a partir del cual pueden hacerse patentes problemas de eutrofización en ríos y lagos.
- o El pH es similar en ambos ríos, en ambos casos más bajo en 2011 que en el resto de años. Los valores se mantienen entre 8.3 y 7.0 unidades. La temperatura del agua no presenta desviaciones destacables con respecto a la ambiental.
- o La concentración de TDS se mantiene por debajo de 238 mg/l, con un valor promedio de 180 mg/l, siendo sus concentraciones apropiadas para el uso de las aguas en el riego y para consumo tras pasar por un tratamiento convencional. El color aparente se mantiene por debajo de 300 unidades Co-Pt salvo en la estación A-01-SESOR, que en 2009 alcanzó las 1,080 unidades; en este año las aguas no son apropiadas para consumo solo con un tratamiento convencional, aunque sí en el resto de campañas. La turbiedad en 2009 en dicha estación alcanza los 285 NTU, aunque en otras estaciones y muestreos se mantienen por debajo de 70 NTU, siendo por tanto apropiada para este uso.
- o La conductividad y la concentración de sales son de nuevo bajas y bastante homogéneas entre estaciones y monitoreos. En todos los casos las concentraciones de sodio y cloruros son bajas y por debajo de los rangos inferiores definidos por el Decreto 51 para el agua cruda y el riego (valores promedio ascienden a 2.7 mg/l y 13.4 meq/l, respectivamente). También es el caso del boro, cuyos niveles no son cuantificables, y los sulfatos que se presentan en concentraciones bajas y también adecuadas para el riego. El RAS de nuevo es bajo, próximo a 0.35, y la conductividad promedio alcanza los 140 μ S/cm.
- o Las concentraciones de cobre obtenidas son elevadas tanto en A-02-RTAMA en 2009 como en A-01-SESOR en 2011, muy por encima del LMP a partir del cual pueden producirse efectos agudos en la vida piscícola, con 0.03 y 0.04 mg/l, respectivamente; en el resto de estaciones y monitoreos no se ha detectado la presencia de este metal. Lo mismo sucede con

- el mercurio, el zinc, el arsénico, el cromo y el plomo, que presentan concentraciones por lo general por debajo del límite de detección, o que han podido ser cuantificados pero **están muy por debajo del LMP para la vida piscícola y también por tanto del límite recomendado para el riego**, en los casos en que éste aplique.
- Por último, la **concentración de fenoles en ambos ríos son relativamente parecidos, y en ambos casos los máximos se registran en el año 2006-2007, momento en que en todas las estaciones se supera el límite recomendado por EPA para el consumo de aguas crudas que sean objeto de un tratamiento convencional.** En este año el máximo se registra en A-02-RTAMA, con 5 mg/l. En el resto de campañas y estaciones las concentraciones son bastante inferiores, por debajo del límite de la EPA, pero muy por encima del establecido en el Decreto 51, como en el resto de estaciones estudiadas en esta y otras zonas hidrográficas.
 - Por último, el ICA **facilita una valoración de la calidad del agua principalmente “regular”,** de modo que podrían haber algunas restricciones para los organismos acuáticos, inferior biodiversidad y mayor frecuencia de desarrollo de explosiones algales; también sería recomendable aplicar ciertas restricciones al contacto directo.
- Tramo bajo de la cuenca del río Lempa: se entiende por tramo bajo a los efectos del presente estudio, el tramo de río Lempa situado aguas abajo del embalse 15 de Septiembre (que dispone de una estación: A-20-LEMPA), y los tributarios al anterior, los ríos San Simón (A-01-SANSI) y Acahuapa (A-01-ACAHU a A-04-ACAHU).
 - **Aguas abajo del embalse, en la estación A-20-LEMPA, se registran bajos niveles de DBO₅** (por debajo de 5 mg/l), **buena oxigenación** (por encima 5.5 mg/l, excepto en 2011, año especialmente desoxigenado a lo largo de toda la cuenca del Lempa) **y bajas concentraciones de coliformes fecales** (por debajo de 1,100 NMP/100 ml). Estas condiciones se mantienen relativamente similares aguas abajo, en el río San Simón (A-01-SANSI), aunque aporta ciertas concentraciones de coliformes fecales, en promedio 7,100 NMP/100 ml. Aguas abajo de estas estaciones, se produce la confluencia del río Acahuapa, que en términos generales, presenta concentraciones de DBO₅ ligeramente más altas y variables entre estaciones y años, peor oxigenación, y mayores concentraciones de coliformes fecales. En promedio, estos tres parámetros ascienden a 2.2 mg/l de DBO₅ (máximo de 6 mg/l); 6 mg/l de oxígeno disuelto (mínimos de 0.6 mg/l en 2010 en A-02-ACAHU, y de 3.5 mg/l en 2011 en A-01-ACAHU); y 7,300 NMP/100 ml (máximos de 28,000 NMP/100 ml en A-01-ACAHU en 2006-2007).
 - **Las menores concentraciones de nitratos y fosfatos aguas abajo del embalse 15 de Septiembre se registran en la estación A-20-LEMPA** (con un promedio para los nitratos de 0.53 mg N-NO₃/l y para los fosfatos de 0.003 mg P-PO₄/l), **siendo ligeramente superiores en el río San Simón** (promedio de 1.26 mg N-NO₃/l y 0.14 mg P-PO₄/l), **y algo superiores a su vez en buena parte del río Acahuapa** (promedio de 1.27 mg N-NO₃/l y 0.18 mg P-PO₄/l). Por el contrario, es en A-20-LEMPA donde se registran mayores concentraciones de nitrógeno amoniacal, siendo éstas de 0.44 mg N-NH₃/l (dato de 2007).

En todos los casos las concentraciones de nitrógeno son aptas para los distintos usos: aguas crudas destinadas a potabilización a través de tratamiento convencional, irrigación y recreativo por contacto directo. Sin embargo, a excepción de la estación A-20-LEMPA, en la que los fosfatos se mantienen por debajo del límite establecido por EPA a partir del cual pueden haber problemas de eutrofización en sistemas lénticos, en el resto de estaciones están por encima del límite máximo especificado por EPA a partir del cual pueden hacerse patentes problemas de eutrofización en ríos.

- o El pH oscila en esta zona de estudio entre 6.5 y 8.5 unidades. Presenta un aumento considerable entre las estaciones A-20-LEMPA y A-01-SANSI, desde un valor medio de 7.4 a 8.4 unidades. Además, la variabilidad interanual es superior en el río Lempa en esta estación, que en el río San Simón. En el río Acahuapa también hay variabilidad, siendo el pH inferior en la estación A-01-ACAHU (promedio de 7.2 unidades) con respecto al resto (en torno a 8 unidades).

Por otra parte, la temperatura del agua registrada en 2007 presenta ciertas desviaciones con respecto a la temperatura ambiental, siendo considerada como posible alteración para la propagación piscícola (Decreto 51) en el caso del río San Simón (6.2°C de diferencia entre temperatura atmosférica y del agua) y Acahuapa (A-02-ACAHU: 5°C).

- o En la estación A-20-LEMPA la concentración de TDS es la más baja y la menos variable entre años de entre todas las estaciones analizadas en el tramo bajo del Lempa; lo mismo sucede en el caso de la turbiedad y del color. Sin embargo en los ríos San Simón y Acahuapa los valores son superiores, sobre todo en materia de TDS y turbiedad. Los valores promedio en A-20-LEMPA son igual a 145 mg/l de TDS, 3.95 NTU de turbidez y 29.4 unidades Co-Pt, que en A-01-SANSI ascienden a 324 mg/l, 10 NTU y 35 unidades, respectivamente, y que en promedio para el río Acahuapa son igual a 304 mg/l, 55 NTU y 85.6 unidades.

Los valores observados se mantienen en todos los casos dentro del rango adecuado según las distintas normas aplicables, para el consumo de aguas crudas que van a ser objeto de tratamiento convencional (la excepción se observa en 2011 en el tramo bajo del Acahuapa), y el riego en el caso de los TDS.

- o En materia de sales, se observa también cierto aumento en las distintas concentraciones, aunque es poco perceptible; en el caso de la conductividad, presenta mayores diferencias entre los ríos analizados en este tramo bajo, siendo los valores más altos en el río Acahuapa. Sólo en el 2011 se registran valores por encima de la norma de calidad deseable para los peces, al ser ligeramente superior a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A pesar de estas diferencias, de nuevo se presentan bajas concentraciones de cloruros, sodio, boro, sulfatos y RAS, que no suponen ningún tipo de restricción para su aprovechamiento en el riego.
- o En lo que respecta a la concentración de metales, las mayores concentraciones de cobre, por encima del LMP correspondiente para efectos agudos, se registra en la estación A-02-ACAHU en 2011, con 0.02 mg/l. Sin embargo, en el resto de muestras, las concentraciones registradas de cobre, mercurio, arsénico, zinc y plomo se mantienen por debajo del LMP, y en muchos casos en niveles no detectables; arsénico y cromo se muestran por tanto por debajo de 0.1 mg/l, límite recomendado por FAO para el riego.

- o Por último, la **concentración promedio de fenoles en los tres ríos son relativamente parecidos, aunque algo inferior en el Acahuapa** (el promedio global asciende a 2.4 mg/l), y en todos los muestreos muy superior a la norma deseable para aguas crudas que sean destinadas a consumo tras un tratamiento convencional. De hecho, incluso se supera con cierta frecuencia el máximo recomendado por EPA para dicho uso, como es el caso de los años 2006-2007, donde se supera en casi todas las estaciones (máximo de 5 mg/l en A-20-LEMPA), y puntualmente en A-01-SANSI en 2009 y 2011.
- o Para cerrar la valoración de la calidad del agua en este tramo bajo del río Lempa, se indica que el índice de calidad general del agua, ICA, **facilita una valoración de la calidad del agua principalmente “regular”, aunque también hay estaciones con “mala” y con “buena calidad”.** La mejor valoración se obtiene en la estación A-20-LEMPA, aguas abajo del embalse, probablemente debido al efecto de tanque de retención de materia y nutrientes que supone el embalse, y a una menor recepción de vertidos en el tramo entre éste y la estación. El río San Simón presenta una calidad **“regular”** en todas las campañas, mientras que el río Acahuapa oscila entre **“regular” y “mala”**, dado que recibe mayor cantidad de aportes de tipo antropogénico.

4.2.2. Análisis de los resultados de otros específicos de la calidad de las aguas superficiales

4.2.2.1. Otros estudios específicos del MARN

4.2.2.1.1 Estudios específicos en los ríos Acelhuate, Sucio, Suquiapa y Cuaya

Se dispone de datos adicionales para el año 2002 en los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa (MARN, 2002), aunque son anteriores a los monitoreos del MARN en el periodo 2009-2011, descritos con anterioridad en el presente documento. En concreto, se dispone de las valoraciones facilitadas por el Índice de Calidad General, ICA, que son similares a las obtenidas por MARN en el citado periodo 2009-2011, y ante las que se establecen una serie de recomendaciones que se resumen a continuación:

- Las valoraciones obtenidas a partir del muestreo en 4 puntos en el canal principal del río Acelhuate, califica la calidad del agua como **“pésima”**, acorde con las valoraciones posteriores en el periodo 2009-2011. A este respecto, **en el informe se pone de manifiesto que es necesario aplicar un tratamiento que permita el 90% de depuración de la DBO₅ a diez de los ríos tributarios, y principalmente a los ríos Tomayate, Las Cañas y Arenal Monserrat**, que en conjunto presentan un 86% de la carga contaminante total observada, y que transportan aguas negras y vertidos industriales. Se recomienda buscar inicialmente una solución a la depuración de las fuentes puntuales (domésticos, industriales) de cada uno de los ríos o instalar un sistema de tratamiento en la desembocadura de cada río y establecer un canon de vertido al río.

Además se especifica que **la descarga de desechos sólidos a lo largo del río vuelve más complicado si cabe el manejo de la carga contaminante detectada, lo que agrava la situación y facilita condiciones anaerobias** en algunos tramos. Por ello se indica que es necesario buscar una solución a los botaderos de basura en las riberas del río Acelhuate, ya que esto es una práctica normal en la población residente en sus alrededores pero complica el manejo del problema de la contaminación de sus aguas.

- En el caso del río Sucio, en el que también se dispone de 4 estaciones, se destaca que el ICA desciende conforme se avanza de aguas arriba a aguas abajo. Aunque antes de la desembocadura se observa cierto proceso de autodepuración, a pesar de ello, no supone una mejoría más allá de **“pésima” a “mala”** calidad. Esta clasificación es similar a la observada en 2009-2011, en la que oscila entre ambas calidades, y de nuevo se observa cierta mejoría en el tramo bajo, en el que en algunos años la calidad se clasifica como **“regular”**. A la vista de los resultados obtenidos, en el informe se indica la necesidad que existen en la subcuenca del Río Sucio de **aplicar un tratamiento del 75% de depuración de DBO₅ a los ríos Canal Belén y Río Colón**. Además indica la necesidad de **restringir a la empresa inventariada como 14 DESCA**, localizada a 58 km de la desembocadura (no se dispone de mayor información respecto a la misma), **las descargas** a no más de 1,142 Kg por día, o la cantidad de aguas de desecho equivalente a 22,859 personas, ya que en el momento de la edición del informe (año 2002), se estaba descargando diariamente la carga equivalente a 57,148 personas o un tercio de la población de la Ciudad de Santa Tecla (MARN, 2002).

A este respecto se recomienda en el citado informe el **realizar una revisión de los Planes de Adecuación de las industrias que vierten a los ríos Canal Flor Amarilla-Canal Belén y Río Colón, y la citada empresa**, con la finalidad de verificar las cargas propuestas a verter por las empresas a los ríos mencionados y evaluar si los planes son adecuados o es necesario adaptarlos para mejorar la calidad del río en forma más integral

- Por último, en el caso del Suquiapa, **varía de “pésima”** en su nacimiento (se cree, según se indica en el informe, por la descarga de aguas negras y vertidos agroindustriales sin tratamiento alguno que aguas abajo sufre un proceso de estabilización de la materia orgánica) **a “mala”** en la desembocadura del Lempa, de nuevo coincidente con lo observado en el periodo reciente. A la vista de estos resultados, se indica que es necesario **aplicar un tratamiento del 75% de depuración de DBO₅ a los tributarios más contaminados de su nacimiento: Río Sucio, Apanteos y El Molino**. Además, indican que es importante realizar un monitoreo y control de aquellos Beneficios que descargan sus vertidos a las quebradas o ríos de la naciente del Suquiapa.

Además de estos datos, en el Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial (MARN, MOP, VMVDU, 2004), se facilita información adicional para los ríos Chaguite y Cuaya:

- Para el río Chaguite, se sabe que presentan altas concentraciones de coliformes fecales. Según se indica en el informe, el 100% de las muestras reportó concentraciones de plomo por debajo de 0.1 mg/l, del mismo modo que el cromo se mantuvo por debajo de 0.05 mg/l, con lo que se entiende que son bajas concentraciones, aunque no es el caso del zinc, que en el 60% de las muestras excede el límite permisible (MARN, MOP, VMVDU, 2004).
- Para el río Cuya, se observa una significativa carga contaminante que según se indica en el informe procede del Hospital Santiago Texacuangos. Es por ello por lo que en la bocatoma de la planta de tratamiento que presenta este río se observan altas concentraciones de coliformes fecales (máximo de 460,000 NMP/100 ml). Además, la existencia de un botadero en la calle Asino afecta a la calidad del río Guluchapa, así como el botadero de Santo Tomás, ubicado en una quebrada afluente.
- En lo que respecta al río Acelhuate, vuelve a indicarse que hay altas concentraciones de coliformes fecales (varios millones de NMP/100 ml). También se destaca que el botadero de Mariona está afectando a la quebrada Mano de León y a afluentes del Río Tomayate.

- En el río Sucio también se observa una importante afección debido a la presencia de botaderos, como es el caso del botadero ubicado en la colonia Quezaltepec que contamina el río Colón.

4.2.2.1.2 Estudios específicos en el Lago de Güija y sus afluentes, y Laguna de Metapán

El MARN ha ejecutado recientemente un trabajo de monitoreo del Lago de Güija y sus principales afluentes (MARN, 2012f), los ríos Angue, Ostúa y Cusmapa; así como en la Laguna de Metapán (MARN-DGOA, 2011b) (MARN, 2012g), con la finalidad de establecer una línea base de información de los niveles de elementos tóxicos en dicho ámbito. En la Figura 18 se muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo:

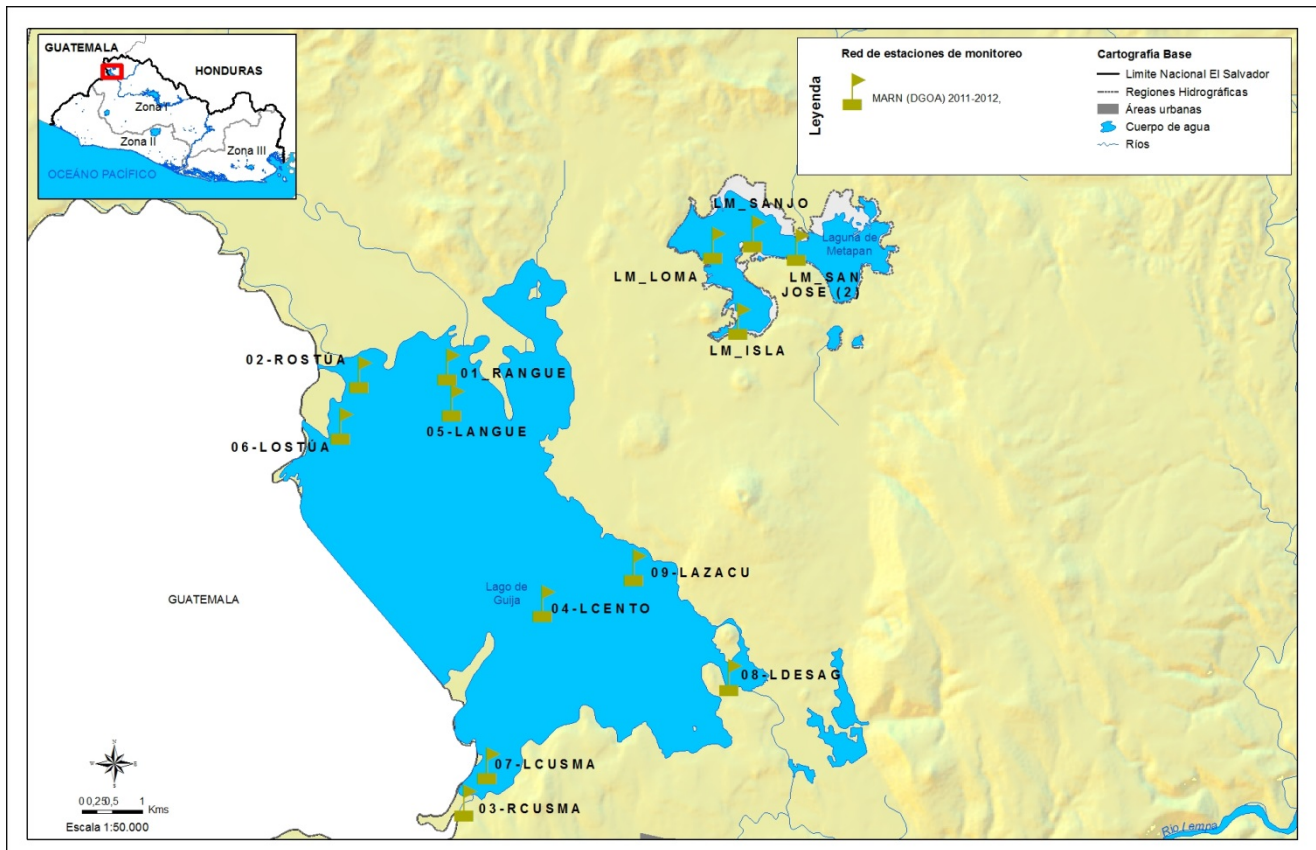


Figura 18. Sitios de muestreo de MARN en el lago de Güija y en la Laguna de Metapán. (MARN-DGOA, 2011b) (MARN, 2012g) (MARN, 2012f).

En el caso del Lago de Güija y afluentes, se han estudiado las concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cianuro, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc, en las matrices agua y sedimentos (en sedimentos se ha estudiado las cargas de cromo en lugar de las del cianuro), tanto de los principales afluentes como en el lago. Los principales resultados obtenidos son los siguientes:

- En todas las estaciones se ha podido medir ciertas concentraciones de **aluminio** en el agua, que son mucho más elevadas en la campaña de junio de 2012 que en el resto de campañas, tanto en las

entradas como en el propio lago, que **según se indica en el informe, superan los criterios establecidos en las guías de protección de la vida acuática del Canadian Council of Ministers of the Environment (1999)**; a pesar de ello no se supera el valor máximo recomendado para el riego (FAO, 1985). Las mayores entradas se producen por el río Angue, con un valor promedio de aporte al lago de 0.72 mg Al/l. También se ha cuantificado cierta carga en los sedimentos a lo largo de las distintas estaciones, que en el lago son superiores en la zona de influencia del río Angue, con 126 mg Al/kg de sedimento seco.

- Se han tomado muestras de **arsénico** en el norte del lago (en las desembocaduras del Angue y el Ostúa), siendo el resultado en todos los casos positivo. En este caso los mayores aportes se registran de nuevo por el río Angue, con un valor promedio de aportes de 0.0092 mg As/l, aunque no hay grandes diferencias con respecto al río Ostúa, que aportan en promedio 0.0077 mg As/l. Es de destacar que en ningún caso se han superado los límites establecidos por FAO y EPA para el agua de riego y para la vida piscícola (límite máximo a partir del cual pueden producirse efectos agudos).

Sin embargo, **los valores promedio de arsénico en los sedimentos** son muy similares entre ríos, siendo el promedio global de 88 mg As/kg, con lo que **en algunas campañas se está superando el valor de intervención en sedimentos**, establecido en 76 mg/kg (EDSAT, 2009), así como el ERM establecido a partir del cual se podrían producir afecciones sobre la vida bentónica con relativa frecuencia, de 70 mg/kg (Long, Field, & MacDonald, 1998).

- En el caso del **mercurio** también se dispone de muestras sólo en las entradas por el norte, en las que se dispone de algunos valores que se han podido cuantificar en el agua (promedio similar entre Ostúa y Angue, en 0.002 mg Hg/l), aunque en todos los casos se mantiene por debajo del límite máximo para que aparezcan efectos agudos establecido por la EPA. Esta situación cuadra con los datos observados por MARN en 2007, en el que los niveles eran inferiores al límite de cuantificación de la técnica analítica. Por otro lado, las muestras de sedimentos de mayo en ambas desembocaduras presentan **cargas ligeramente superiores al ERL, aunque son inferiores al valor objetivo establecido por la normativa holandesa**. A pesar de ello, en el informe se indica que se está superando los límites establecidos por el Canadian Council of Ministers of the Environment (1999), que a efectos del presente documento diagnóstico, y en el caso específico de los sedimentos, se estima que está menos actualizado que los criterios empleados, establecidos en el documento “Soil Remediation Circular 2009”, de EDSAT (2009).
- No se han detectado concentraciones de **cadmio** por encima del límite de cuantificación para las muestras de agua y de sedimento tomadas en los distintos aportes y en las distintas zonas del lago.
- **Apenas se ha podido cuantificar algunas concentraciones significativas de cobre en agua en los distintos aportes y el lago**, que se muestran por debajo de los límites establecidos para el agua potable (CONACYT NSO 13.07.01:08) y para el riego (FAO, 1985), **pero que sin embargo sí superan los límites máximos para que aparezcan efectos agudos y crónicos en la vida piscícola** (EPA, 1986), al igual que ya se detectara por el MARN en el periodo 2009-2010. El valor promedio de las entradas asciende a 0.15 mg Cu/l por el río Ostúa, 0.08 mg Cu/l por Angue y 0.03 mg Cu/l por Cusmapa, aunque sólo en el lago cerca de Cusmapa se detectan concentraciones medibles de este metal. En los sedimentos de las desembocaduras y del propio lago hay niveles no cuantificables o cuantificables pero muy bajos, incluso por debajo de los valores objetivo establecidos por la normativa holandesa.



- Los niveles de **níquel y zinc** también son no cuantificables con elevada frecuencia, y en los casos en los que se han podido cuantificar, las concentraciones son inferiores a los límites establecidos por FAO y EPA para el riego y la vida piscícola; en el caso del zinc también son apropiados para el consumo. A pesar de los bajos niveles medidos en agua, se dispone de cargas cuantificables para ambos metales en los sedimentos del lago y de los ríos analizados, muy inferiores a los valores objetivo establecidos por la normativa holandesa.
- El **plomo** ha sido cuantificado en los aportes al lago y en el propio lago, siendo los mayores aportes los que se registran a través del río Angue que ascienden a 0.0053 mg Pb/l, y que por tanto, no superan los límites establecidos por FAO y EPA para el riego y la vida piscícola. Las cargas en sedimentos son mayores en la zona de influencia del río Angue, ya que en el lago se registra en esta zona una carga promedio de 1.9 mg Pb/kg, seguido de cerca de la carga en la zona de influencia del río Ostúa, que asciende a 1.6 mg/kg, y muy lejanas de las medidas en el resto del lago. Aun así, son cargas muy inferiores a las establecidas por el valor objetivo y por el ERL para este parámetro.
- En cuanto a los **cianuros** en agua, se dispone de algunos valores que han podido ser cuantificados. En la campaña de octubre, en la desembocadura del Ostúa, se ha superado el límite máximo para que aparezcan efectos agudos según EPA establecido en 0.022 mg/l.
- Por último, se ha muestreado el **romo** en los sedimentos del lago y de los principales aportes, siendo el resultado negativo, es decir, no detectado, por lo que las cargas son inferiores al límite de cuantificación de la técnica analítica.

Según información adicional facilitada en el marco del Plan Trifinio (CTPT, s/f), destaca la presencia de metales en algunos casos en concentraciones muy elevadas en las aguas de estos tributarios; se dispone de datos de mercurio, cobre, níquel, plomo, cromo y zinc, que por lo general no superan los límites recomendados por instituciones como FAO para riego y por EPA para la vida piscícola. No es el caso de los cianuros, que sí superan el límite de EPA en el río Angue; del arsénico, que en el Ostúa supera los límites marcados por EPA para la vida piscícola; del aluminio, hierro y en menor medida manganeso, que superan los límites de FAO en algunos momentos en el Ostúa, y de los que se han llegado a cuantificar concentraciones máximas de 22 mg/l y 70 mg/l en 2008, respectivamente, aguas arriba de la ciudad de Asunción Mita, lo que suponen niveles muy elevados; también se cuantifican niveles muy elevados de hierro y en menor medida de manganeso, en el río Angue.

Por otra parte, y como se ha indicado con anterioridad, se dispone de datos analíticos en varias zonas de la **Laguna de Metapán** para los periodos septiembre-noviembre de 2010 y junio-julio de 2012:

- o Las aguas en septiembre-noviembre de 2010 se mantienen relativamente bien oxigenadas pero no en **junio-julio de 2012**, que **presentan concentraciones inferiores a 5 mg/l** (promedio en 4.2 mg/l), con lo que no es apropiada para la propagación piscícola (Decreto 51). Esta desoxigenación puede deberse en parte a los aportes desoxigenados desde el río San José y a concentraciones relativamente elevadas de DBO_5 , tal y como se ha podido conocer a partir de los monitoreos ejecutados por MARN en 2009-2011. **A pesar de estas entradas de DBO_5 , en el lago las concentraciones no son elevadas**, al menos en los dos periodos analizados (promedio de 3 mg/l para todos los muestreos).

En cuanto a la contaminación microbiológica, en 2010 no es elevada, ascendiendo a un promedio de 705 NMP/100 ml, **aunque por zonas la de mayor concentración es la zona**

de influencia del río San José, donde sí se superan los 1,000 NMP/100 ml recomendados por OMS como máximo (1,670 NMP/100 ml). **En 2012 sí hay una contaminación más generalizada**, ascendiendo en promedio para el lago a 6,500 NMP/100 ml, y en la zona de influencia del San José, a 8,250 NMP/100 ml.

- o En materia de nutrientes, las concentraciones de nitratos y fosfatos se mantienen por debajo de 1.24 mg N-NO₃/l y 0.18 mg P-PO₄/l respectivamente. Con estas concentraciones, los nitratos resultan adecuados para los distintos usos que se le pueda dar al agua (potabilización por tratamiento convencional, riego y recreativo por contacto directo). En cuanto a **los fosfatos**, los niveles son adecuados para la irrigación, ya que se sitúan en todo momento en el rango de valores recomendados por FAO para la irrigación (FAO, 1985), aunque en promedio, **se supera el límite máximo establecido por EPA (EPA, 1986) a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en lagos.**
- o El pH se mantiene por lo general entre 8.6 y 6.5 unidades, dentro de los rangos adecuados para la vida piscícola, el riego y las aguas crudas según las distintas normativas empleadas como referencia. Sin embargo, **la temperatura del agua** (medida en 2010) **presenta una desviación con respecto a la ambiental superior a 3°C** en buena parte del lago, con lo que es importante observarla en relación a la vida piscícola (Decreto 51). El máximo de desviación asciende a 5.2°C.
- o Los sólidos totales disueltos se mantienen por debajo del umbral establecido como máximo para las aguas crudas (y que no hacen necesario ninguna restricción en el riego (FAO, 1985), y la turbiedad suele mantenerse por debajo de 10 NTU, por lo que resultaría adecuada para el uso recreativo.
- o La conductividad promedio (en 2010) asciende a 195 μ S/cm, lo que puede considerarse algo bajo según el Decreto 51 para el riego, pero adecuada en todo caso para la propagación de la vida piscícola. Las concentraciones de sales (2010) también son bajas por lo que no se esperan incompatibilidades para el regadío. Los cloruros, sulfatos y el RAS se mantienen dentro del rango deseable para el riego, mientras las concentraciones de sodio, carbonato sódico residual (CRS) y boro pueden considerarse incluso relativamente bajas.
- o Por otra parte, se dispone de datos de concentración en agua y en sedimento para el año 2012 de los siguientes elementos metálicos: aluminio, cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc. Las concentraciones en agua son no detectables para níquel, plomo y zinc, por lo que se descartan posibles afecciones sobre el riego y la propagación piscícola. Sin embargo, sí se dispone de datos analíticos por encima de los límites de la técnica analítica para aluminio, cadmio, cobre, que en el caso del aluminio y el cadmio se mantienen dentro de los rangos recomendados por FAO para el riego y para el caso del cadmio para la vida piscícola (EPA); **en el caso del cobre, las muestras superan el límite máximo permisible a partir del cual pueden producirse efectos agudos sobre los peces (EPA, 1986), con un valor promedio de 0.5 mg Cu/l, y en algunas zonas también las recomendaciones para el riego.**

Las cargas de cadmio, níquel, plomo y zinc en sedimento son bajas, inferiores al valor objetivo especificado por la normativa holandesa, así como al ERL; en el caso del cobre, cuyas cargas son superiores al valor objetivo, pero muy inferior al valor de intervención (valor



promedio medido: 29 mg/kg). Con ello **se descarta, al menos a la vista de estos resultados, problemas de contaminación en los sedimentos por estos metales.** En el caso del aluminio, las cargas promedio ascienden a 273 mg/kg, pero no se dispone de norma de comparación para protección de vida acuática, por lo que no se puede emitir una conclusión al respecto.

- o **Los ICA obtenidos facilitan una valoración mayoritariamente “regular”,** por lo que la laguna puede presentar ciertas restricciones para la vida acuática y el contacto humano, y pueden presentar menos diversidad de organismos acuáticos así como mayor probabilidad de desarrollos algales de carácter explosivo.

4.2.2.2. Estudios específicos de CEL

4.2.2.2.1 Calidad en la cuenca del río Lempa en el periodo 2003-2008

CEL ha realizado una serie de monitoreos en la cuenca del río Lempa, en el periodo 2003-2008 (CEL, 2010), que incluye los siguientes lagos, embalses y ríos (ver Figura 19 y Figura 20):

- Tramo alto de la cuenca del río Lempa, de aguas arriba a aguas abajo: río Lempa en Citalá; ríos Sapuapa y Agua Fría, quebrada Las Pavas, aguas termales en Agua Caliente, y zanjón de Bartolo (5 afluentes del río Lempa en Presa Cimarrón); río Lempa en el puente Masahuat; Lago de Güija (en la zona media, en la bocatoma Guajoyo y a la salida del agua turbinada en el puente de la central de Guajoyo); y río Lempa aguas abajo del río Desagüe.
- Aportes al embalse Cerrón Grande: los principales aportes al embalse de Cerrón Grande se producen:
 - o Por el Oeste, a través del río Lempa en San Isidro y aguas abajo del río Sucio. De Sucio se dispone de información recabada por parte del MARN en el periodo 2006-2011.
 - o Por el Sureste, a través del río Acelhuate, del que también se dispone de información del MARN (2006-2011).
- Cerrón Grande: en los puntos denominados Puente Colima, Reubicación, San Francisco Lempa, frente al dique Cerrón Grande y aguas abajo del mismo.

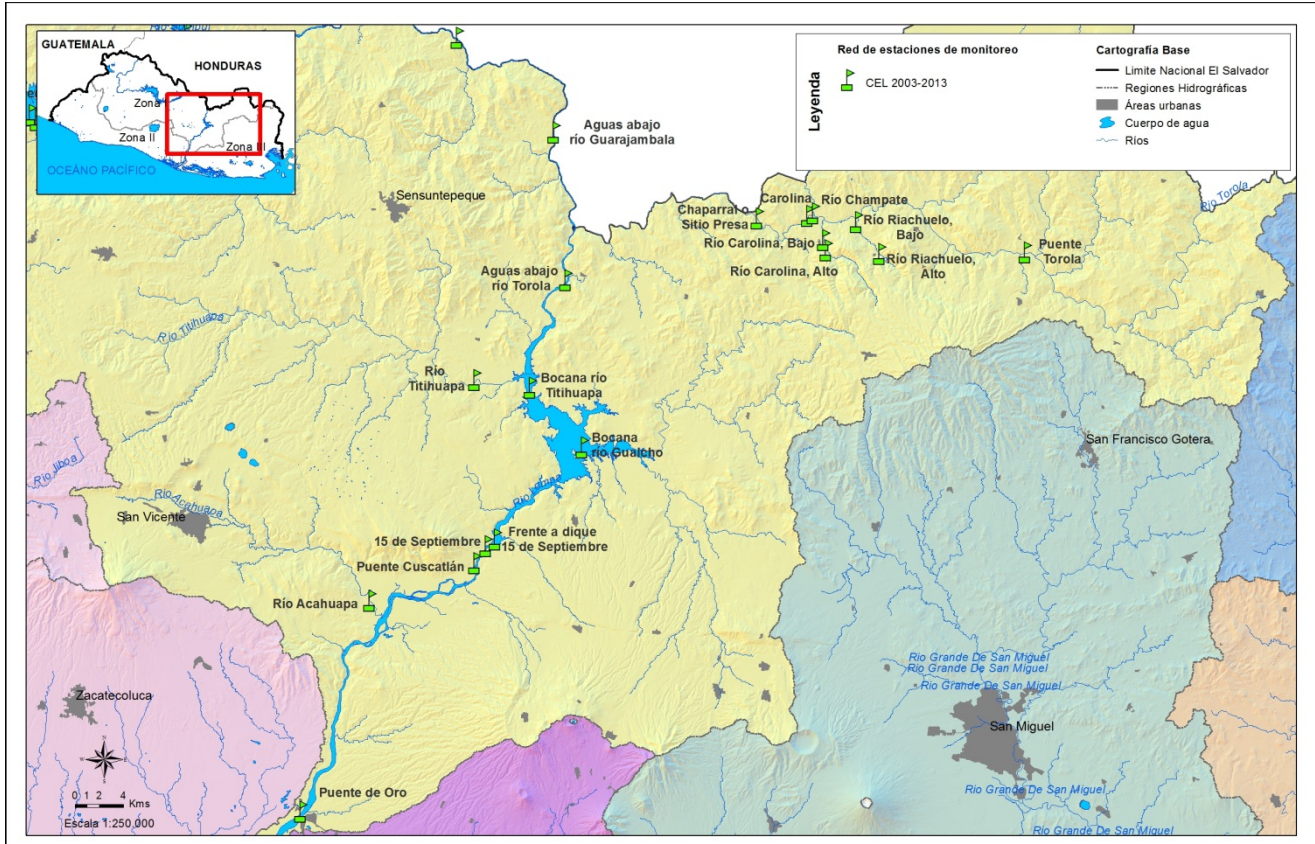


Figura 20. Sitios de muestreo de CEL en el tramo bajo de la Zona Hidrográfica I-Río Lempa, en el periodo 2003-2008 (CEL, 2010).

Los parámetros analizados son aquellos indicadores de la físico-química básica, la contaminación orgánica y microbiológica, los sólidos, las sales, los principales metales y algunos plaguicidas. A continuación se presentan los principales resultados por zonas, conforme se ha presentado en el apartado específico del MARN:

■ Tramo alto de la cuenca del río Lempa:

- o Las aguas se mantienen relativamente bien oxigenadas en las distintas estaciones del río analizadas en este tramo de estudio, con concentraciones por lo general por encima de 6.5 mg/l. Sin embargo, en el lago de Güija se observa en los datos históricos importantes desoxigenaciones en una parte importante de la columna del agua, sobre todo en la zona intermedia de la vertical, y estando mejor oxigenada en la parte más superficial y profunda del lago; también están bien oxigenadas las aguas turbinadas. Las mayores desoxigenaciones, próximas a la anoxia, se registran entre 6 y 20 metros de profundidad en el centro del lago en agosto de 2003, julio de 2005, enero y junio de 2006, agosto de 2007. En abril de 2007 las menores concentraciones se registran a mayor profundidad, a partir del metro 12 hasta el fondo. También se observan fuertes desoxigenaciones en la Bocatoma Guajoyo y en el Puente Guajoyo a lo largo de la vertical (son zonas menos profundas que el centro del lago). Esta situación, que parece ser habitual en el lago, puede

suponer un importante impacto sobre la vida piscícola, ya que una gran parte de la columna de agua no dispone de oxígeno disuelto en algunos momentos del año. También es poco recomendable las actividades recreativas que impliquen contacto directo.

Se observa una concentración moderada de DBO_5 , por debajo de 4 mg/l en todos los ríos analizados y en el lago de Güija, de modo que no se detecta una importante contaminación orgánica, excepto en el río Las Pavas, afluente del Lempa, que presenta una concentración promedio de 46.5 mg/l.

Sin embargo, en el río Lempa (en las tres estaciones) sí se detecta contaminación microbiológica, a la vista de las concentraciones de coliformes totales y fecales; no sucede así en los ríos tributarios analizados, en los que las concentraciones se mantienen por debajo de 5,000 y 1,000 NMP/100 ml, respectivamente; en el lago de Güija las coliformes totales superan sensiblemente la norma de calidad deseable para las coliformes totales en ocasiones muy puntuales.

También se han observado ciertas concentraciones de **detergentes (SAAM) en el río Agua Fría** (promedio para los muestreos de 13 mg/l), aunque no de aceites y grasas, siendo éste el único río en el que se ha muestreado ambos parámetros.

- o En materia de nutrientes, las concentraciones de nitratos se mantienen muy por debajo de 10 mg N-NO_3 /l (Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, FAO para riego y uso recreativo según D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú), aunque el **nitrógeno total supera en ocasiones en las estaciones del río Lempa y en el lago de Güija el estándar de calidad ambiental establecido por el Ministerio de Medio Ambiente de Japón, para uso industrial, agrícola y la pesca.**

En cuanto al fósforo, en casi todas las estaciones estudiadas, **se supera ampliamente los 0.025 mg P-PO_4 /l establecidos como límite máximo a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en lagos, y también el de ríos (0.05 mg/l).** En el lago Güija el valor promedio para todas las estaciones y campañas asciende a 0.34 mg P-PO_4 /l, mientras los promedios de nitratos y nitrógeno total, alcanzan los 0.32 mg N-NO_3 /l y 0.5 mg N/l, respectivamente.

- o El pH en los ríos estudiados se mantiene entre 6.5 y 8.4 unidades, salvo excepciones puntuales, en los que los valores se desvían ligeramente hacia valores más básicos, de modo que el pH permanece por lo general dentro de los rangos adecuados para la vida piscícola, el riego y las aguas crudas según las distintas normativas empleadas como de referencia. En el caso específico del **lago de Güija, coincidiendo con las bajas oxigenaciones, se desvía en algunos muestreos algo por debajo de 6.5 unidades**, aunque por lo general no bajan de los 6.3 unidades; en noviembre de 2005 se registra un rango de profundidades con valores de pH en torno a 5.2 unidades en Puente Guajoyo. Además, **en el resto de la columna hay cierta tendencia a la basicidad, desviándose los valores algo por encima de 8.4 unidades** (límite habitual superior para las aguas de riego), aunque siempre por debajo de 9 unidades. Estas variaciones de pH en la vertical, junto con la desoxigenación y el exceso de nutrientes, está indicando que **el lago de Güija presenta eutrofización.**



La temperatura del agua se desvía con frecuencia en los distintos ríos estudiados por debajo de 25°C en ambas estaciones (no suele bajar de 23°C), aunque nunca superan los 30°C. Lo mismo sucede en el lago de Güija, en el que no baja de 23.5°C, y que sólo en ocasiones muy puntuales, asciende a 32.9°C. Es por ello por lo que no se espera que este parámetro suponga una afección sobre la fauna piscícola.

- o Se dispone de datos de TDS para los tramos de río estudiados, siendo muy inferiores a 500 mg/l excepto en el río Agua Caliente en el que en ocasiones supera ligeramente este límite; es por ello por lo que los sólidos no supondrían ninguna restricción en el riego (FAO, 1985). Se dispone de algún dato puntual de turbiedad en el río Lempa, siendo en dos de los tres casos muy superior a 10 NTU (máximo de 350 en Lempa en Citalá).

También se dispone de datos de TDS y turbiedad en el lago de Güija, en el que se mantienen muy por debajo de 500 mg/L de TDS, y por lo general por debajo de 10 NTU. La excepción se observa en la campaña de mayo de 2006 en el centro del lago, en el que se alcanza un promedio para la columna de agua de 31.5 NTU, y en noviembre de 2003 en Puente Guajoyo, que en superficie ronda los 79 NTU.

- o En materia de concentraciones de sales, **en términos generales se puede considerar que las aguas presentan una conductividad adecuada para el desarrollo de la vida piscícola y para el riego**, aunque en materia de vida piscícola es importante destacar que en algunas estaciones los valores pueden considerarse bajos (inferiores a 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y en otras algo altos (superiores a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), si se tiene en consideración la norma de calidad ambiental establecida en el Decreto 51. De hecho en el lago Güija el valor promedio asciende a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que son valores por lo general bajos. De hecho, y como ya pasara con el pH, la conductividad en la campaña de noviembre de 2005 en la parte más superficial del centro del lago y en parte de la Bocatoma Guajoyo, es especialmente baja, inferior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$

En cuanto a las **sales**, los cloruros, analizados únicamente en el lago de Güija, indican concentraciones bajas, adecuadas para el consumo tras tratamiento convencional y el riego. En el lago de Güija también se dispone de datos de bicarbonatos, boro, calcio, magnesio, sodio y sulfatos; y en el río Aguas Frías, de boro, sodio y sulfatos. En todos los casos, son **adecuados para el riego** según especificaciones de FAO (1986).

- o Por otra parte, no se dispone de datos de **metales** para las dos estaciones en el río Lempa, pero sí de analíticas de cadmio, mercurio, plomo y selenio para los afluentes Agua Fría, Sapupa, Las Pavas y Zanjón de Bartolo; adicionalmente en Agua Fría también se dispone de aluminio, cianuros, hierro, manganeso y níquel; y de datos de cadmio, cobre, cromo, manganeso, mercurio y plomo en las distintas estaciones en el lago de Güija. En todos los casos los metales se mantienen **dentro del rango habitual para las aguas de riego según FAO**, siendo en algunos casos incluso no detectado por la técnica analítica, y en otros sí cuantificables. Sin embargo, en algunos casos sí son superiores a los límites máximos para que aparezcan efectos agudos o crónicos sobre los peces, dependiendo del parámetro, según EPA; es el caso del selenio y el cadmio en el río Aguas Frías en julio de 2007, que ascienden ambos a 0.01 mg/l, y del cobre en abril de 2004 en el centro del lago (0.004 - 0.005 mg Cu/l), en la Bocatoma de Guajoyo (0.004 - 0.007mg Cu/l) y en el agua turbinada (0.005 mg/l).

- o **No se han detectado concentraciones significativas de fenoles** en las dos estaciones en el río Lempa, en el río Agua Fría, ni en el lago de Güija (en su zona central), únicos sitios en los que han sido muestreados. **Tampoco se detectan concentraciones significativas de los plaguicidas** aldrín, DDT, diazinon, dieldrín, endosulfan, heptaclor hepóxido, heptacloro, lindano, malatión y paratión, que han sido muestreados en el lago de Güija en 2004 y 2007 en la zona central, en la bocatoma y en el puente Guajoyo.

- Ámbito del embalse Cerrón Grande:

- o Las aguas se mantienen relativamente bien oxigenadas en las 2 estaciones del Lempa situadas aguas arriba del embalse Cerrón Grande. Sin embargo, **en el embalse se observa una seria situación de desoxigenación que roza la anoxia en buena parte del embalse**, sobre todo en San Francisco Lempa, en el dique y en la propia agua turbinada. De este modo, los promedios de oxígeno disuelto por zonas en el embalse ascienden a 5.2 mg/l en Puente Colima (70% de porcentaje de saturación), **3.9 mg/l en Reubicación (60%), 1.8 mg/l en San Francisco Lempa (26%), 0.6 mg/l en el Dique Cerrón Grande (8.4%) y 2.7 mg/l en el agua turbinada (38%)**. Esta situación, habitual a la vista de los datos recabados, supone un **importante impacto sobre la vida piscícola**, ya que una gran parte de la columna de agua no dispone de oxígeno disuelto. También es poco recomendable las actividades recreativas que impliquen contacto directo.

La concentración de DBO_5 es moderada en una parte importante de las muestras, siendo los promedios del río y del embalse similares entre sí, e inferiores a 4 mg/l. El valor máximo se registra en el río Lempa aguas abajo del río Sucio, con 17.42 mg/l en septiembre de 2005.

Sin embargo, **en el río Lempa** (en las 2 estaciones) sí **se detecta contaminación microbiológica**, a la vista de las concentraciones de coliformes totales y fecales, que superan con frecuencia los 5,000 y 1,000 NMP/100 ml, respectivamente. **En el embalse se registran altas concentraciones de ambos parámetros en Puente Colima**, estación más próxima a los aportes desde el Lempa; sin embargo, en las estaciones aguas abajo la frecuencia de incumplimientos de ambos límites se reduce significativamente, observándose altos valores sólo en muestras puntuales, y a concentraciones mucho más moderadas; a pesar de ello, en las aguas turbinadas la concentración aumenta para ambos parámetros, lo que estaría indicando que hay aportes en las proximidades con contaminación microbiológica. El caso más evidente es el registrado en abril de 2006, en el que se recuentan 540,000 NMP/100 ml de coliformes totales y 9,200 NMP/100 ml de fecales.

En este ámbito de la Zona Hidrográfica no se dispone de muestreos de **detergentes**.

- o En materia de nutrientes, las concentraciones de nitratos siguen manteniéndose muy por debajo de 10 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$ (Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, FAO para riego y uso recreativo según D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú), aunque de nuevo **el nitrógeno total supera en ocasiones el estándar de calidad ambiental establecido por el Ministerio de Medio Ambiente de Japón**, para uso industrial, agrícola y la pesca. Los promedios de nitratos y nitrógeno total en el embalse Cerrón Grande, alcanzan los 0.78 mg

N-NO₃/l y 0.8 mg N/l, respectivamente, superiores a los observados aguas arriba en el lago de Güija.

En cuanto al fósforo, en casi todas las estaciones estudiadas, **se supera ampliamente** los 0.025 mg P-PO₄/l establecidos como **límite máximo a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en lagos, y también el de ríos** (0.05 mg/l). En el tramo de río Lempa aguas arriba del embalse, el promedio asciende a 1.3 mg P-PO₄/l, con lo que supone unos aportes muy elevados; en el embalse, los niveles en Puente Colima ascienden a 1.7 mg P-PO₄/l, aunque en el resto del embalse los niveles promedios se mantiene por debajo de 0.45 mg P-PO₄/l, que aunque menores, siguen siendo muy elevados para un sistema léntico; en el dique de Cerrón Grande y en el agua turbinada, se mantiene en 0.44 mg P-PO₄/l.

- o El pH en las dos estaciones del Lempa se mantiene entre 6.5 y 8.6 unidades, de modo que es adecuado para la vida piscícola, el riego y las aguas crudas según las distintas normativas empleadas como de referencia. En el embalse Cerrón Grande, y al igual que ya se observara aguas arriba en el lago de Güija, **coincidiendo con las zonas más oxigenadas, se registran los pH más bajos, ligeramente inferiores a 6.5 unidades, aunque por encima de 6 unidades; en materia de máximos, se registran algunos valores muy básicos, próximos a 9.5 unidades, o incluso algo superiores, sobre todo en superficie.** Con ello, podrían producirse ciertas afecciones sobre la vida piscícola y el riego en determinados momentos.

La temperatura del agua se desvía puntualmente en el Lempa por debajo de 25°C en ambas estaciones, aunque no se superan los 30°C. En el embalse hay escasas muestras con temperatura superior a 30°C (máximo en 32.9°C), y apenas se registran valores por debajo de 25°C. Es por ello por lo que no se espera que este parámetro suponga una afección sobre la fauna piscícola.

- o Se dispone de algunos datos de TDS y de turbiedad para las dos estaciones en el río Lempa, siendo los valores en el primer caso bajos, inferiores a 500 mg TDS/l, y moderados en el segundo; es por ello por lo que los sólidos no supondrían ninguna restricción en el riego (FAO, 1985).

También se dispone de datos de TDS y turbiedad en el embalse Cerrón Grande, en el que se mantienen muy por debajo de 500 mg/l de TDS, aunque con frecuencia por encima de 10 NTU (promedio para todas las estaciones estudiadas asciende a 43 NTU).

- o **La conductividad presenta algunos valores muy bajos en algunos muestreos en el río Lempa,** tanto en San Isidro como aguas abajo del río Sucio, por debajo de 100 μS/cm, aunque en todos los casos se mantiene por debajo de 500 μS/cm, límite superior de la norma de calidad ambiental establecida en el Decreto 51. En cuanto al embalse, las aguas se mantienen por lo general entre 150 y 500 μS/cm, y en los casos en que se desvían de esta norma, las desviaciones son pequeñas, por lo que presentan una conductividad adecuada para el desarrollo de la vida piscícola y para el riego.

En cuanto a las **sales**, los cloruros, analizados únicamente en el embalse Cerrón Grande, indican concentraciones bajas, adecuadas para el consumo tras tratamiento convencional y el riego. En el embalse también se dispone de datos de bicarbonatos, boro, calcio, magnesio,

sodio y sulfatos, que en todos los casos son **adecuados para el riego** según especificaciones de FAO (1986).

- o Por otra parte, no se dispone de datos de **metales** para las dos estaciones en el río Lempa, pero sí de analíticas de arsénico, cadmio, cobre, cromo, manganeso, mercurio y plomo en las distintas estaciones en el embalse Cerrón Grande. En todos los casos los metales se mantienen **dentro del rango habitual para las aguas de riego según FAO**, siendo en algunos casos incluso no detectado por la técnica analítica. Sin embargo, en algunos casos sí son superiores a los límites máximos para que aparezcan efectos agudos o crónicos sobre los peces, dependiendo del parámetro, según EPA; es el caso del cadmio y del cobre en algunas de las muestras tomadas en las 4 estaciones del embalse (promedios en 0.003-0.005 mg Cd/l y 0.004-0.014 mg Cu/l).
- o **No se han detectado concentraciones significativas de fenoles** en las dos estaciones en el río Lempa, ni en las 5 estaciones del embalse Cerrón Grande. **Tampoco se detectan concentraciones significativas de los plaguicidas** aldrín, DDT, diazinon, dieldrín, endosulfan, heptaclor hepóxido, heptacloro, lindano, malatión y paratión, que han sido muestreados en abril de 2008 en 4 de las 5 estaciones del embalse Cerrón Grande.

■ Embalse 5 de Noviembre:

- o Las aguas del embalse se muestran **fuertemente desoxigenadas en una parte importante de las muestras analizadas**, sobre todo en la bocana Los Guillén, en la que el valor promedio asciende a 1.5 mg/l (lo que equivale a un porcentaje de saturación del 19.7%); en la Bocana del río Sumpul y frente al Dique 5 de Noviembre la oxigenación es algo mayor, aunque los valores promedio siguen manteniéndose bajos para la vida piscícola, en 4.1 y 2.3 mg/l, respectivamente (y que equivalen a unos porcentajes de saturación de 57.3% y 34%). El agua turbinada presenta un valor intermedio en torno a 3.3 mg/l (42%), lo que una vez más es bajo para la propagación y mantenimiento de la vida piscícola. También es poco recomendable las actividades recreativas que impliquen contacto directo.

La concentración de DBO_5 es moderada, en su mayor parte inferiores a 4 mg/l. Esta situación, junto con la baja oxigenación, parece estar indicando que **la carga orgánica fácilmente biodegradable está siendo rápidamente consumida en el embalse, lo que supone un importante consumo de oxígeno.**

Por otra parte, **se detecta cierta contaminación microbiológica**, de modo que en algunas muestras las concentraciones de coliformes fecales y totales superan los rangos adecuados. En promedio, **los niveles más elevados de coliformes fecales se registran aguas abajo del dique 5 de Noviembre**, con casi 3,000 NMP/100 ml, que a su vez presenta el máximo de coliformes totales, en 156,500 NMP/100 ml. En el embalse, los máximos en promedio de coliformes fecales y totales se registran en la Bocana Los Guillén, con 1,550 y 4,580 NMP/100 ml, respectivamente, mientras el mínimo se registra frente al dique, con 480 y 3,130 NMP/100 ml.

No se dispone de muestreos de **detergentes**.

- o En materia de nutrientes, las concentraciones de nitratos siguen manteniéndose muy por debajo de 10 mg $N-NO_3/l$ (Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08,



FAO para riego, uso recreativo según D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú), aunque en los muestreos de abril de 2006, septiembre y diciembre de 2007 y abril de 2008, las concentraciones de **nitrógeno total supera el estándar de calidad ambiental establecido por el Ministerio de Medio Ambiente de Japón**, para uso industrial, agrícola y la pesca. Los promedios de nitratos y nitrógeno total en el embalse alcanzan los 0.62 mg N-NO₃/l y 0.54 mg N/l, respectivamente.

En cuanto al fósforo, en todas las muestras estudiadas **se supera ampliamente** los 0.025 mg P-PO₄/l establecidos como **límite máximo a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en lagos**. Los niveles promedios son similares entre las distintas zonas del embalse estudiadas, oscilando entre 0.42 y 0.52 mg P-PO₄/l.

- o El pH en el embalse **se desvía en ocasiones por debajo de 6.5 unidades, siendo el valor más bajo igual a 6 unidades**; en materia de máximos, es raro observar valores por encima de 8.6 unidades, siendo el máximo próximo a 9.2 unidades (Bocana Río Sumpul en julio de 2005 en superficie). Con ello, por lo general no se esperarían afecciones sobre la vida piscícola y el riego.

La temperatura del agua se desvía muy puntualmente, muy sensiblemente y a cierta profundidad por debajo de 25°C, mientras que se desvía con mayor frecuencia y mayor amplitud en los estratos más superficiales por encima de 30°C. Dado que son pocas las grandes desviaciones, se entiende que son valores adecuados para la vida piscícola.

- o La concentración de TDS se mantiene por debajo de 500 mg/l, de modo que serían aptas para el riego y la vida piscícola; sin embargo, la turbiedad se sitúa con frecuencia por encima de 10 NTU, siendo el promedio para el embalse próximo a 82 NTU, con lo que no serían aptas para el uso recreativo.
- o La conductividad es por lo general inferior a 250 μS/cm, por lo que según la norma de calidad deseable para el riego especificada en el Decreto 51, sería quizá algo baja, aunque según FAO es un valor habitual hasta 3,000 μS/cm. Los valores más bajos se observan en la bocana del río Sumpul, que en promedio asciende a 131 μS/cm, pero que presenta algunos valores inferiores a 100 μS/cm, lo que es baja incluso para la propagación piscícola, según de nuevo el Decreto 51. Valores inferiores a 100 μS/cm también se observan frente al dique 5 de Noviembre. En promedio, la conductividad asciende a 150 μS/cm.

En cuanto a las **sales**, los cloruros se presentan a concentraciones bajas, adecuadas para el consumo tras tratamiento convencional y el riego. En el embalse también se dispone de datos de bicarbonatos, boro, calcio, magnesio, sodio y sulfatos, que en todos los casos son **adecuados para el riego** según especificaciones de FAO (1986).

- o Por otra parte, se dispone de datos de arsénico, cadmio, cobre, cromo, manganeso, mercurio y plomo en las distintas estaciones en el embalse 5 de Noviembre. En todos los casos los metales se mantienen **dentro del rango habitual para las aguas de riego según FAO**, siendo en algunos casos incluso no detectado por la técnica analítica. Sólo en el caso del manganeso cuantificado en la estación de la bocana El Guillén en noviembre de 2004 superan el rango de valores habitual para el riego, ascendiendo a 0.7 mg/l. En cuanto a **los límites máximos para que aparezcan efectos agudos y crónicos sobre los peces, según EPA**,

sólo se superan en el caso del cobre en marzo de 2004, que ronda los 0.005 mg/l en las distintas estaciones estudiadas en el embalse.

- o No se han detectado concentraciones significativas de fenoles (frente al dique 5 de Noviembre en superficie, única muestra tomada de estos compuestos) ni de los plaguicidas aldrín, DDT, diazinon, dieldrín, hetaclor hepóxido, heptacloro, lindano, malatión y paratión, que han sido muestreados en 5 campañas repartidas 4 de ellas en el año 2004 y otra en el año 2007, en las 4 estaciones el embalse 5 de Noviembre. En el caso del endosulfán, dos muestras han dado resultado positivo, concretamente en las Bocanas Los Guillén y río Sumpul a media profundidad, y en, ambos en septiembre de 2004, aunque al igual que en el resto de plaguicidas, las concentraciones son muy inferiores al límite máximo para que aparezcan efectos agudos (EPA, 1986).

■ Ámbito del embalse 15 de Septiembre y tramo bajo de la cuenca del río Lempa:

- o Las aguas se mantienen relativamente bien oxigenadas en algunos de los muestreos realizados en las estaciones de río aguas arriba del embalse, aunque en otras campañas las oxigenaciones bajan del 50%; a pesar de ello, el promedio de oxígeno disuelto para las estaciones en el Lempa aguas arriba de 15 de Septiembre oscila entre los 5.5 y los 7 mg/l. El río Torola presenta peor oxigenación, que en promedio asciende a 5.2 mg/l; no se dispone de datos de oxigenación para los tributarios del Torola.

Por otra parte, **en el embalse 15 de Septiembre se observa importantes desoxigenaciones en la columna del agua**, que en promedio para todos los datos y estaciones asciende a 3.1 mg/l, lo que equivale a un porcentaje de saturación que apenas alcanza el 42%. En la bocana del río Titihuapa se obtiene un valor promedio de 5.5 (71% de saturación), pero en la bocana del río Gualcho desciende a 3.5 mg/l (50%), y frente al dique desciende a 2.4 mg/l (33%); las aguas turbinadas presentan una oxigenación promedio similares a las que presenta el dique, con 2.81 mg/l. Estos valores **pueden suponer un importante impacto sobre la vida piscícola** y las hacen poco recomendables para la recreación.

A pesar de los problemas de oxigenación en el embalse, aguas abajo en el río Lempa a la altura del puente de Oro, las aguas están relativamente bien oxigenadas con un porcentaje medio del 84%, que equivale a una concentración de casi 6 mg/l.

Por otra parte, se observa una concentración baja de DBO_5 , por debajo de 4 mg/l en todas las estaciones analizadas. Sin embargo, **se detecta contaminación microbiológica**: en los tributarios al Torola (ríos Riachuelo, Champate y Carolina), son especialmente elevados en los ríos Carolina y Champate, en los que entre octubre y diciembre de 2007 las coliformes fecales alcanzan los 49,000 y 160,000 NMP/100 ml, respectivamente; además, en el propio río Torola se observan los máximos en este ámbito de estudio, presentando puntualmente máximos de 3.4 millones de NMP/100 ml en cuanto a las coliformes fecales y 160 millones de NMP/100 ml para las coliformes totales. En el embalse los niveles son muy inferiores, alcanzando los promedios para ambos parámetros los 583 y 7,600 NMP/100 ml, respectivamente para fecales y totales. Aguas abajo el nivel de contaminación es superior al del embalse, con un promedio de 2,500 y 30,600 NMP/100 ml, respectivamente.

No se dispone de muestreos de **detergentes**.



- o En materia de nutrientes, las concentraciones de nitratos se mantienen muy por debajo de 10 mg N-NO₃/l (Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, FAO para riego y uso recreativo según D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú), aunque **el nitrógeno total supera en ocasiones en las estaciones del río Lempa, Mocal y Guarajambala, y en el embalse el estándar de calidad ambiental establecido por el Ministerio de Medio Ambiente de Japón**, para uso industrial, agrícola y la pesca.

En cuanto al **fósforo**, en casi todas las estaciones estudiadas **se supera en algún momento los límites máximos a partir de los cuales pueden aparecer efectos perceptibles en ríos y en lagos**; en el caso de las estaciones del Lempa, sucede sobre todo en las muestras del periodo 2003-2005, y en el caso particular de los afluentes del Torola, en la campaña de junio de 2007 (no se dispone de datos anteriores, pero sí posteriores), siendo muy inferiores en el resto. En el embalse 15 de Septiembre los límites se superan en casi todas las campañas, de modo que el valor promedio para todas las estaciones y campañas asciende a 0.63 mg P-PO₄/l, mientras los promedios de nitratos y nitrógeno total, alcanzan los 0.60 mg N-NO₃/l y 0.42 mg N/l, respectivamente.

- o El pH en las estaciones de río estudiadas y en el embalse, se mantiene entre 6.5 y 8.4 unidades, salvo excepciones puntuales, en los que los valores se desvían hacia valores más básicos como es el caso del río Torola aguas abajo del Carolina, en el que se llegan a alcanzar 9.5 unidades, valor máximo registrado en este tramo bajo del Lempa. De este modo el pH permanece por lo general dentro de los rangos adecuados para la vida piscícola, el riego y las aguas crudas según las distintas normativas empleadas como de referencia.

La temperatura del agua en los distintos ríos analizados, así como en el embalse, se desvía en pocas ocasiones y en baja magnitud con respecto a la norma de calidad deseable para la propagación piscícola (Decreto 51).

- o Se dispone de datos de TDS y de turbiedad para las estaciones del río Lempa y Torola (aunque no para sus tributarios), así como para el embalse. En todos los casos los TDS son muy inferiores a 500 mg/l por lo que los sólidos no supondrían ninguna restricción en el riego (FAO, 1985).

En el caso de la turbiedad, hay ciertas diferencias entre muestreos dentro de cada río, con lo que algunos muestreos se sitúan por debajo de 10 NTU y en otros bastante por encima, siendo los máximos próximos a 250 NTU. En el embalse hay una distribución diferenciada: en la Bocana del río Gualcho ha sido especialmente elevada en algún momento, habiendo alcanzado un valor promedio máximo en la vertical de 337 NTU, aunque el valor promedio para todos los registros disponibles en esta estación son muy inferiores, próximos a 94 NTU, que a pesar de ser bastante inferiores, siguen siendo elevados en comparación con el resto de zonas, como con la Bocana del río Titihuapa, en el que el promedio asciende a 19 NTU, o frente al dique, donde ascienden a 15 NTU. Aguas abajo del embalse el único dato disponible de es igual a 9 NTU, por lo que es baja.

- o **La conductividad es relativamente baja, y por tanto adecuada para el desarrollo de la vida piscícola y para el riego.** El valor promedio en las estaciones del río Lempa aguas arriba del embalse 15 de Septiembre asciende a 155 µS/cm, siendo algo inferior aguas abajo del río

Torola, debido a los aportes de baja conductividad procedentes de dicho río, que en promedio ascienden a $79 \mu\text{S}/\text{cm}$ (no se dispone de registros para los afluentes al Torola: Riachuelo, Champate y Carolina, pero vistos los valores en Torola, se estima que son bajos). En el embalse, el valor promedio para todos los muestreos asciende a $135 \mu\text{S}/\text{cm}$ con lo que en materia de vida piscícola, con frecuencia los valores pueden considerarse muy bajos (inferiores a $150 \mu\text{S}/\text{cm}$ según Decreto 51) y en ningún caso se superan los $500 \mu\text{S}/\text{cm}$. De nuevo por tanto son aguas adecuadas para el riego y para la vida piscícola. Aguas abajo es similar, en torno a $146 \mu\text{S}/\text{cm}$.

En cuanto a las concentraciones de las principales **sales** analizadas, los cloruros, analizados únicamente en embalse 15 de Septiembre, indican concentraciones bajas, adecuadas para el consumo tras tratamiento convencional y el riego. En el embalse también se dispone de datos de bicarbonatos, boro, calcio, magnesio, sodio y sulfatos; y en los ríos Riachuelo, Champate y Carolina, sulfatos. En todos los casos, son **adecuados para el riego** según especificaciones de FAO (1986).

- o Por otra parte, no se dispone de datos de **metales** para las estaciones en el río Lempa, pero sí de analíticas de arsénico, cadmio, cromo hexavalente, mercurio y plomo para los afluentes Riachuelo (tramo alto), Champate y Carolina (tramos alto y bajo); en el embalse 15 de Septiembre se dispone, además de los metales anteriormente enumerados para los afluentes, de datos para el cobre y el manganeso. En todos los casos los metales se mantienen **dentro del rango habitual para las aguas de riego según FAO**, siendo en algunos casos incluso no detectado por la técnica analítica. Sucede **lo mismo respecto a los límites máximos a partir de los cuales pueden hacerse perceptibles efectos agudos o crónicos sobre los peces, establecidos por EPA**, manteniéndose en todos los casos por debajo de éstos, **con la excepción de algunas muestras en las que cobre supera los límites**. Es el caso de Bocana Río Titihuapa, que entre noviembre de 2003 y marzo de 2004 asciende a un valor promedio de $0.0075 \text{ mg Cu}/\text{l}$; Bocana río Gualcho, que entre noviembre de 2003 y marzo de 2004 asciende a un valor promedio de $0.006 \text{ mg Cu}/\text{l}$; frente al dique y en el agua turbinada, con $0.007 \text{ mg Cu}/\text{l}$.
- o **No se han detectado concentraciones significativas de fenoles** en las estaciones del río Lempa aguas abajo de los ríos Mocal, Guajarambala y Torola, en el embalse 15 de Septiembre frente al Dique, ni aguas abajo en el río Lempa en el Puente de Oro, únicos sitios en los que han sido muestreados. **Tampoco se detectan concentraciones significativas de los plaguicidas** aldrín, DDT, diazinon, dieldrín, endosulfan, hetaclor hepóxido, heptacloro, lindano, malatién y paratién, que han sido muestreados en el embalse 15 de Septiembre en varias campañas ejecutadas en los años 2003, 2004 y 2007 en las bocanas de los ríos Titihuapa y Gualcho, frente al dique y aguas abajo.

4.2.2.2.2 Calidad de Lago Güija y los embalses Cerrón Grande, 5 de Noviembre y 15 de Septiembre, en el periodo 2009-2013

Además de los datos analizados en el apartado anterior, se dispone de monitoreos más recientes (para el periodo 2009-2013) en el Lago de Güija y en los embalses Cerrón Grande, 5 de Noviembre y 15 de Septiembre. A continuación se resumen los resultados más destacables:

▪ Lago de Güija:

- Con respecto a lo observado en el periodo anterior (2003-2008), los muestreos realizados podrían estar indicando una mejor oxigenación; sin embargo, **se desconoce la profundidad a la que se han tomado las muestras**, aunque a la vista de los resultados, y dado que sólo hay una muestra por campaña, es esperable que sea a nivel superficial, por lo que **es más que probable que persistan los problemas de oxigenación a mayores profundidades**.

Se dispone de unas pocas muestras de DBO_5 , algunas de las cuales (enero y octubre de 2009), superan los 4 mg/l, aunque posteriormente (marzo y junio de 2010) son muy inferiores a este límite; son muy pocos datos para establecer si ha habido un mantenimiento de la calidad a este respecto en este periodo, aunque se dispone adicionalmente de algunas muestras de DQO, que indican niveles moderados, por debajo del estándar de calidad ambiental para las aguas crudas que vayan a ser objeto de tratamiento convencional (D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú).

También se han observado concentraciones de **aceites y grasas por encima del estándar de calidad ambiental para las aguas crudas que vayan a ser objeto de tratamiento convencional** (D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú). No se dispone de información relativa a la contaminación microbiológica.

- En materia de nutrientes, las escasas concentraciones de nitratos que se tienen disponibles se siguen manteniendo muy por debajo de 10 mg $N-NO_3/l$ (Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, FAO para riego y uso recreativo según D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú). Se dispone de algún dato de amoníaco (de julio a octubre de 2011, y octubre de 2012), manteniéndose muy por debajo de la norma deseable para la propagación piscícola, en 1.5 mg NH_3/l . No se dispone de datos para el fósforo.
- El pH vuelve a desviarse en **algunos muestreos algo por encima de 8.4 unidades**, aunque por lo general no se superan las 9 unidades; tampoco baja de 6.5 unidades, como se detectara entonces, aunque en los presentes muestreos no se observa la desoxigenación de entonces, momento en el que se registraron los mínimos de pH.

La temperatura del agua se desvía muy puntualmente por debajo de 25°C o por encima de 30°C, siendo los valores extremos iguales a 23.6°C y 32.0°C, muy similares a los históricos. Es por ello por lo que no se espera que este parámetro suponga una afección sobre la fauna piscícola.

- Los TDS se mantienen de nuevo muy por debajo de 500 mg/L, y el valor promedio de turbiedad se mantienen en unos 12.8 NTU.
- En materia de concentraciones de sales, **en términos generales se puede considerar que las aguas presentan una conductividad adecuada para el desarrollo de la vida piscícola y para el riego**, siendo el valor promedio próximo a 227 $\mu S/cm$, similar al observado en los datos históricos. En ningún caso se supera el máximo establecido para la vida piscícola, y por tanto tampoco para el riego.

Los cloruros indican de nuevo concentraciones bajas, adecuadas para el consumo tras tratamiento convencional y el riego. También vuelve a disponerse de datos de bicarbonatos, boro, calcio, magnesio, sodio y sulfatos, y como novedad de carbonatos y potasio. En todos

los casos los valores son adecuados para el riego según FAO, salvo el **potasio, que es elevado en la mayor parte de los muestreos** (el valor promedio asciende a 4.4 mg/l).

- o Por último, sólo se dispone de algunos datos de concentración para el hierro y el manganeso, que se mantienen **dentro del rango habitual para las aguas de riego según FAO**, y por debajo de los límites máximos para que aparezcan efectos crónicos sobre los peces para el caso del hierro, según EPA.

■ Cerrón Grande:

- o Con respecto a lo observado en el periodo anterior (2003-2008), y tal y como se haya observado también en el lago de Güija, los muestreos realizados aparentemente podrían estar indicando una mejor oxigenación, ya que son muy pocos los muestreos con concentraciones inferiores a 4 mg/l; sin embargo, si asumimos que las muestras se han tomado a nivel superficial, que es con frecuencia el estrato más oxigenado de la columna de agua al estar en contacto con la atmósfera, **es esperable una fuerte desoxigenación aguas abajo en la vertical**, lo que concuerda con las observaciones obtenidas por CEL en el periodo anterior.

De nuevo se dispone de unas pocas muestras de DBO_5 , algunas de las cuales (septiembre de 2009, diciembre de 2010), superan los 10 mg/l; son muy pocos datos para establecer si ha habido un mantenimiento de la calidad a este respecto en este periodo, aunque se dispone adicionalmente de algunas muestras de DQO, que indican niveles moderados, en alguna campaña por encima del estándar de calidad ambiental para las aguas crudas que vayan a ser objeto de tratamiento convencional según el D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú (septiembre de 2009).

También se han observado concentraciones de **aceites y grasas por encima del estándar de calidad ambiental para las aguas crudas que vayan a ser objeto de tratamiento convencional** (D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú). No se dispone de información relativa a la contaminación microbiológica.

- o En materia de nutrientes, las escasas concentraciones de nitratos analizadas entre los meses de julio y diciembre de 2011, se siguen manteniendo muy por debajo de 10 mg $N-NO_3/l$, salvo en julio de 2011, cuando se alcanzan 11.8 mg $N-NO_3/l$. Se dispone de dato de **amoníaco** para el mismo periodo, manteniéndose en este caso **por encima de la norma deseable para la propagación piscícola en los meses de julio y agosto de 2011**, en 3.4 mg NH_3/l . No se dispone de datos para el fósforo.
- o El pH se mantiene entre 6.5 y 8.8 unidades, por lo que se entiende que es apropiado para los distintos usos. Esto difiere con lo observado en los monitoreos históricos de CEL, en los que en ocasiones bajaba hasta 6 unidades o subía por encima de 9. A este respecto, es importante tener en consideración que en los datos recientes se dispone de datos puntuales, se cree que en superficie, y no de un perfil vertical.

La temperatura del agua se desvía con frecuencia por encima de 30°C, siendo el máximo registrado igual a 34.9°C en septiembre de 2009; todo ello de nuevo parece indicar que se trata de un dato superficial, influenciado por la radiación solar.



- o Los TDS analizados se siguen manteniendo muy por debajo de 500 mg/L (en promedio en torno a 176 mg/l), y el valor promedio de turbiedad se mantienen en unos 9 NTU, superando con frecuencia los 10 NTU.
- o **Las aguas presentan una conductividad adecuada para el desarrollo de la vida piscícola y para el riego**, siendo el valor promedio próximo a 243 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En ningún caso se supera el máximo establecido para la vida piscícola, y por tanto tampoco para el riego, como ya se observara con los datos históricos.

Los pocos datos disponibles de sales, sólo se analizan los cloruros, indican de nuevo concentraciones bajas, adecuadas para el consumo tras tratamiento convencional y el riego.

- o No se dispone de datos de recientes de los principales metales.

■ Embalse 5 de Noviembre:

- o Se dispone de datos de oxigenación a partir de la campaña de julio de 2011; se observa variedad de resultados, con máximos en torno a 8 mg/l (campaña de enero de 2012), y mínimos en torno a 2.8 mg/l. Esta variabilidad indica una clara afección sobre la oxigenación de las aguas, al igual que ya se viera a la vista de los estudios de CEL, que ponen de manifiesto **una destacable desoxigenación en las aguas**.

Se dispone de unas pocas muestras de DBO_5 , pero en su mayoría superan los 4 mg/l; adicionalmente, las concentraciones de DQO, también obtenidas a partir de un número muy limitado de muestras, indican niveles moderados en promedio, por encima del estándar de calidad ambiental para las aguas crudas que vayan a ser objeto de tratamiento convencional (D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú), por lo que **se confirma que hay cierta contaminación orgánica**.

También se han observado concentraciones de **aceites y grasas**, en todos los casos por encima del estándar de calidad ambiental para las aguas crudas que vayan a ser objeto de **tratamiento convencional** (D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú). No se dispone de información relativa a la contaminación microbiológica.

- o En materia de nutrientes, las escasas concentraciones de nitratos disponibles, de julio a diciembre de 2011, son muy divergentes entre sí, estando por encima de 10 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$ (Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, FAO para riego y uso recreativo según D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú), en julio y agosto, e inferiores a 1 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$ en septiembre, octubre y diciembre de 2011. Se dispone además de algún dato de amoníaco para el mismo periodo, manteniéndose muy por debajo de la norma deseable para la propagación piscícola, en 1.5 mg NH_3/l . No se dispone de datos para el fósforo.

- o El pH, a diferencia de lo observado por parte de CEL, no se desvía del rango de valores entre 6.5 y 8.4 unidades, por lo que son valores adecuados para los distintos usos.

La temperatura del agua se desvía muy puntualmente por debajo de 25°C o por encima de 30°C, siendo los valores extremos iguales a 23.6°C y 32.0°C, muy similares a los históricos.

Es por ello por lo que no se espera que este parámetro suponga una afección sobre la fauna piscícola.

- o Los TDS (disponibles datos desde julio de 2011) se mantienen de nuevo muy por debajo de 500 mg/L, y el valor promedio de turbiedad se mantienen en unos 6.5 NTU, con lo que en términos promedios, serían aptas para el uso recreativo.
- o La **conductividad es adecuada para el desarrollo de la vida piscícola y para el riego**, siendo el valor promedio próximo a 237 $\mu\text{S}/\text{cm}$, algo superior al observado por CEL. En ningún caso se supera el máximo establecido para la vida piscícola, y por tanto tampoco para el riego.

Los cloruros, única sal de la que se dispone de datos, indican de nuevo concentraciones bajas adecuadas para el consumo tras tratamiento convencional y el riego.

- o No se dispone de datos de recientes de los principales metales.

■ Embalse 15 de Septiembre:

- o Se dispone de datos de oxigenación a partir de la campaña de julio de 2011; las aguas están relativamente bien oxigenadas, aunque se observa cierta variedad de resultados, con máximos en torno a 7.2 mg/l (campañas de febrero y marzo de 2013), y mínimos en torno a 5 mg/l (mayo de 2012); sin embargo, como se ha comentado en los embalses anteriores, se cree que la toma de datos se ha realizado en el estrato más superficial, y por tanto en el más oxigenado, por lo que se esperan concentraciones inferiores a mayores profundidades, tal y como se ha observado en los estudios realizados por CEL.

Se dispone de unos pocos datos dispares de DBO_5 , que en promedio ascienden a 7.1 mg/l, bastante similar al obtenido a partir de los datos de CEL; adicionalmente, se tiene constancia de concentraciones promedio moderadas de DQO, que ascienden a 24.9 mg/l, y que por tanto superan el estándar de calidad ambiental para las aguas crudas que vayan a ser objeto de tratamiento convencional (D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú), por lo que **se confirma que hay cierta contaminación orgánica**.

También se han observado concentraciones de **aceites y grasas, en todos los casos por encima del estándar de calidad ambiental para las aguas crudas que vayan a ser objeto de tratamiento convencional** (D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú). No se dispone de información relativa a la contaminación microbiológica.

- o En materia de nutrientes, las escasas concentraciones de nitratos disponibles, de julio y agosto de 2011, y de mayo de 2012, ascendiendo a 1.2 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$ en 2011 y a 31.4 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$ en 2012, y por tanto muy superior a 10 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$ en esta última fecha (Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, FAO para riego y uso recreativo según D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú). Este comportamiento está indicando aportes alóctonos de compuestos nitrogenados. Se dispone además de algunas concentraciones de amoníaco para las mismas fechas, manteniéndose muy por debajo de la norma deseable para la propagación piscícola, en 1.5 mg NH_3/l . No se dispone de datos para el fósforo.

- o El pH promedio ronda las 7.6 unidades, y se mantiene bastante conservativo de una campaña a la siguiente, tal y como se observara analizando los datos de CEL, aunque en este caso la variabilidad era mayor al presentar datos tomados a distintas profundidades.
La temperatura del agua se desvía por encima de 30°C en algunos muestreos, siendo los valores máximos igual a 33.3°C en abril de 2010 y 33.5°C en febrero de 2012.
- o Los TDS (disponibles datos desde julio de 2011) se mantienen de nuevo muy por debajo de 500 mg/L, ascendiendo en promedio a 145 mg/l. El valor promedio de turbiedad se mantiene en 17.5 NTU, y muestra a muestra se observan ciertas variaciones, de valores próximos a 2 NTU a máximos que rondan los 150 NTU.
- o La **conductividad es adecuada para el desarrollo de la vida piscícola y para el riego**, siendo el valor promedio próximo a 207 $\mu\text{S}/\text{cm}$, algo superior al obtenido a partir de los datos de CEL. En ningún caso se supera el máximo establecido para la vida piscícola, y por tanto tampoco para el riego.
Los cloruros, única sal de la que se dispone de datos, indican de nuevo concentraciones bajas, adecuadas para el consumo tras tratamiento convencional y el riego.
- o No se dispone de datos de recientes de los principales metales.

4.2.2.2.3 Otros estudios específicos del Lago de Güija en 2013

Se dispone de resultados de tres campañas de monitoreo de fitoplancton y zooplancton ejecutados los días 26 de abril, y 2 y 7 de mayo de 2013, que se plasman en el documento de “Caracterización del fitoplancton y zooplancton del lago de Güija” (CEL, 2013). Estas campañas fueron ejecutadas por CEL vistos una serie de antecedentes:

- Diciembre 2006: se realizó un inventario del plancton en la Bocatoma y el dique de vertedero. Se detectaron **3 géneros de cianobacterias** (Microcystis, Anabaena y Oscillatoria), 2 microalgas (Melosira, Pediastrum) y 1 dinoflagelado (Ceratiium). De éstas, las cianobacterias presentaron un **floreCIMIENTO que generó olor a “gamezán”**, coloración verde del agua superficial, reducción de la penetración de la luz solar en el agua, estratificación del oxígeno, lo que indica una calidad del agua para la vida acuática (peces y moluscos) regular por un **proceso de eutrofización temporal**.
- Marzo 2012: un segundo inventario se llevó a cabo en la bocana del río Ostúa y Angue, centro del lago y puente del ferrocarril, en los que se determinó 3 géneros de cianobacterias (Microcystis, Anabaena y Oscillatoria), 4 microalgas (Oocistis, Staurastrum, Pediastrum y ChrysoSphaerella), 2 diatomeas (Cyclotella y Melosira), 2 Rotífera (Filinia, keratella), 2 Pyrrophytas o dinoflagelados (Ceratiium y Gonyaulax), 1 braquípodo (Bosmina) y 1 copópodo (calanoidea). **No se reportó un “bloom” de cianobacterias**, y por la cantidad de zooplancton existente (cladóceros y copópodos) indicaron una calidad del agua para vida acuática de regular a buena.

Como principales conclusiones de este estudio se obtiene:

- **Los organismos predominantes fueron las Cianobacterias y Chlorophytas**. 3 géneros de Cyanobacterias (Microcystis, Anabaena y Oscillatoria), 10 Chlorophytas (Chlorogonium, Pediastrum, Asterococcus, Oocystis, Closteriopsis, Spirogyra, Botryococcus, Staurastrum, Closterium), 2 dinoflagelados (Ceratiium y Gonyaulax), 11

Diatomeas (Cyclotella, Synedra, Gyrosigma, Rhopalodia, Stauroneis, Cymbella, Melosira, Gomphoneis, Aulacoseira, Surirella, Navicula), 4 Rotíferas (Keratella, Lecane, Filinia y Brachionus), 1 Ciliophora (Campanella), 2 Cladóceros (Bosmina y Daphnia), 1 Copépodo (Cyclopoida), y 1 Gastrotrichia (Chaetonotus).

- El lago de Güija **presentó un ecosistema relacionado a una buena calidad del agua, debido a la presencia de diatomeas y zooplancton; sin embargo, debido a la presencia de cianobacterias, indica que existe un proceso de eutrofización.**

Además de estos datos, se dispone de datos físico-químicos en el agua, cuyas principales conclusiones se presentan a continuación (campana de marzo de 2013):

- Se dispone de datos de físico-química in situ en tres zonas del lago, a varias profundidades. **El pH presenta tendencia hacia la basicidad**, ascendiendo el valor promedio a 8.4 unidades, y **superando en ocasiones el límite superior establecido como recomendable para el riego** (FAO, 1985), principalmente en la mitad superior de la columna de agua. También se supera en algunos casos el límite superior de la norma de calidad deseable para la vida piscícola (Decreto 51). La temperatura del agua se mantiene mayoritariamente dentro del rango establecido por la Comisión Guatemalteca de Normas para la vida piscícola. Por último, la conductividad eléctrica es baja, incluso algo baja para el riego, al presentarse algo por debajo del límite inferior de la norma de calidad deseable según el Decreto 51, aunque en todo caso resulta adecuada según especificaciones de FAO (valor promedio asciende a 225 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Además, se dispone de información referente a nutrientes, sólidos y sales en la zona central del lago, en superficie. En materia de nutrientes, la concentración de fosfato asciende a 2.38 mg P- PO_4/l , lo que se sitúa sensiblemente por encima del rango de valores habituales para el riego según FAO, y muy por encima **el límite máximo establecido por EPA** (EPA, 1986) **a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en lagos**. En cuanto al nitrógeno, **el nitrógeno total supera ampliamente el estándar de calidad ambiental establecido por el Ministerio de Medio Ambiente de Japón, para uso industrial, agrícola y pesca** (6.4 mg N/l).
- Los sólidos totales disueltos se mantienen por debajo del umbral establecido como máximo para las aguas crudas (y que no hacen necesario ninguna restricción en el riego (FAO, 1985).
- Las concentraciones de algunas sales son las habituales para un agua de riego según FAO, como es el caso del sodio, magnesio, calcio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Sin embargo, **las concentraciones de potasio** (18.6 mg/l) **y carbonatos** (0.47 meq/l) **son elevadas para el riego, sobre todo en el caso del potasio.**

4.2.2.3. Otros estudios específicos en Cerrón Grande

Adicionalmente a los estudios anteriormente comentados de CEL, se dispone de datos analíticos para el embalse Cerrón Grande, que ha sido estudiado en un total de 15 estaciones repartidas a lo largo del mismo, algunas de ellas frente a los principales tributarios (Figura 21), durante el periodo comprendido entre diciembre de 2008 y octubre 2012.

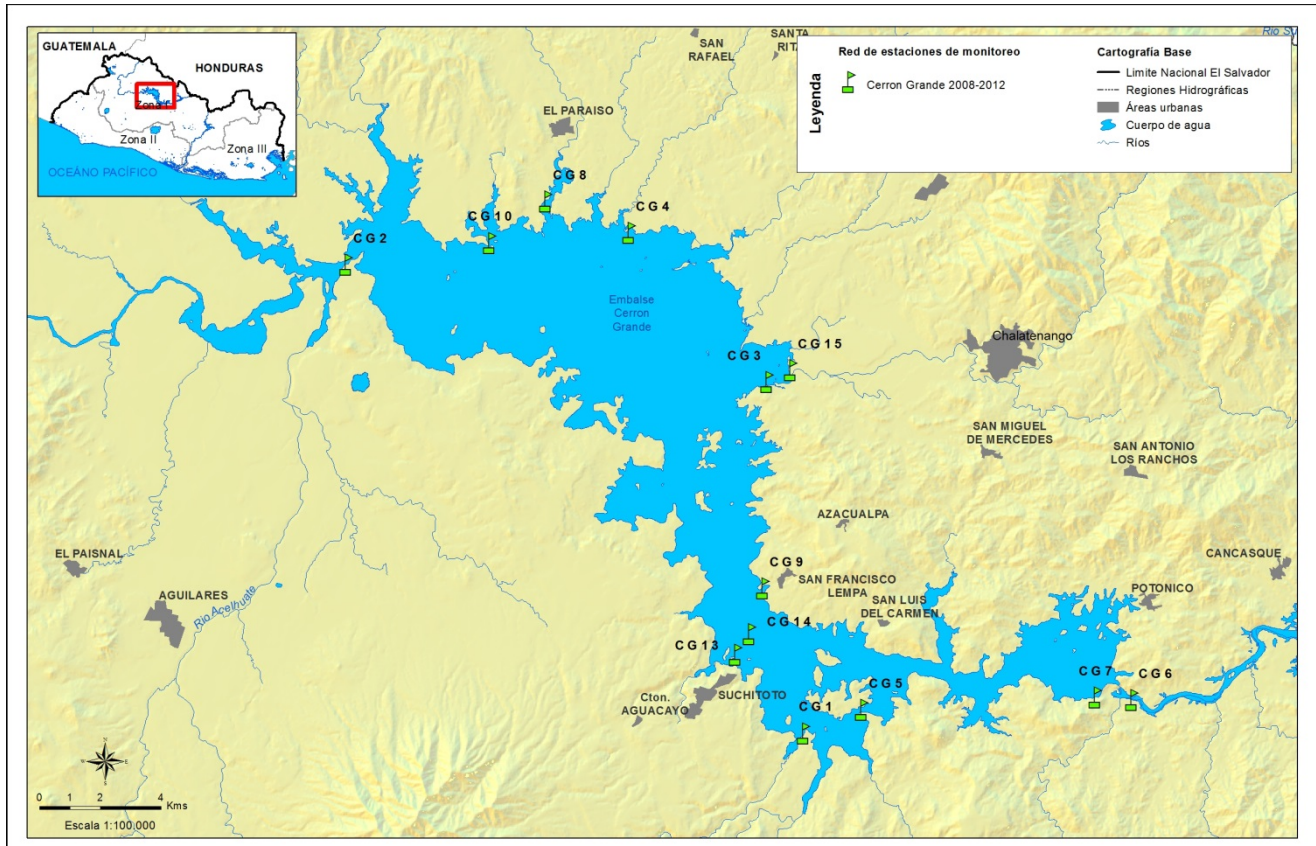


Figura 21. Sitios de muestreo de CEL en el embalse Cerrón Grande, en el periodo 2008-2012 (MARN, 2013).

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos:

- El embalse presenta una **oxigenación promedio para todo el embalse y estaciones que asciende a 5.5 mg/l**, lo que supone aproximadamente un porcentaje de saturación del **75%**, con lo que las aguas están, en términos generales parcialmente desoxigenadas. De nuevo es muy probable que se trate de muestreos superficiales, por lo que en estratos más profundos, y a la vista de los resultados de perfiles de CEL, cabría esperar que las aguas están más desoxigenadas. A la vista de los valores promedio por estación, en las zonas de influencia de los ríos Tamulasco y Agua Caliente, y en la zona de San Francisco Lempa se han obtenido las mayores oxigenaciones, entre 7 y 8 mg/l de valor promedio, mientras **las menos oxigenadas, por debajo de 4.6 mg/l**, son las de la propia presa (4.6 mg/l) y aguas abajo de la misma (3.7 mg/l), y en las zonas de Suchitlán, San Pablo, La Campana y sobre todo Potonico, donde se

alcanzan 1.9 mg/l en promedio. Esto no significa que realmente sean las más desoxigenadas, sino que disponen de datos a varias profundidades en la vertical, obteniéndose **mayores oxigenaciones en el estrato superficial, y menores en profundidad**. Con ello, se confirmaría la teoría de que efectivamente **el embalse estaría más desoxigenado de lo que aparenta a la vista de los resultados del estrato superficial**. De hecho en ocasiones se ha detectado **olor a azufre**, lo que puede estar indicando un metabolismo anaerobio destacable en el agua, al menos en determinados momentos.

Observando los datos por estación y campaña, se observan algunas muestras especialmente desoxigenadas, sobre todo en la zona de Colima (3 muestras de 12 por debajo de 4 mg/l), Chalate Country Club (4 de 11 muestras), en la presa (4 de 12) y aguas abajo (2 de 4), así como en las muestras profundas de Suchitlán (a 10 metros la oxigenación baja muy por debajo de 4 mg/l en 8 de las 11 muestras), San Pablo, Potonico y La Campana.

- El pH promedio para todas las estaciones y campañas asciende a 7.6 unidades, observándose los mayores valores promedio en Santa Bárbara, Tamulasco, San Francisco Lempa, Suchitoto y Copapayo (entre 7.8 y 8 unidades), y los menores en Río Grande y aguas debajo de la presa (entre 7.1 y 7.2 unidades). Observando las muestras individuales, en superficie no se observan pH inferiores a 6.5, aunque sí en las muestras tomadas en profundidad, lo que concuerda con los estudios realizados por CEL (mínimo de 6.2 ud.). De nuevo vuelven a observarse algunas muestras con pH superiores a 8.4 unidades, por lo que **en ocasiones pueden ser algo elevados para su uso en el regadío**; en algunas ocasiones puntuales se observan valores superiores a 9 unidades.

La temperatura del agua se desvía con frecuencia por encima de 30°C, como ya se haya observado en los muestreos de CEL, siendo el máximo registrado próximo a 34°C en septiembre de 2009; de nuevo raro es el momento en que los valores descienden de 25°C. El valor promedio por zonas es inferior en la zona de influencia del río Tamulasco (27.5°C).

- La conductividad a lo largo del embalse presenta ciertas diferencias, siendo inferiores en las áreas de influencia de los ríos Grande y Tamulasco, y en La Campana y San Pablo (entre 186 y 193 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en promedio), y los mayores valores en Colima con 385 $\mu\text{S}/\text{cm}$. **El valor promedio para el embalse asciende a 225 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con lo que es adecuada para el desarrollo de la vida piscícola y para el riego**. En ningún caso salvo en algunos muestreos en Colima se supera el máximo establecido para la vida piscícola, y por tanto tampoco para el riego, como ya se observara con los datos de CEL.
- La concentración de TDS es relativamente conservativa a lo largo del embalse, ya que no hay grandes diferencias entre zonas; la excepción se observa en la zona de Colima, en el área de influencia de los ríos Lempa, Metayate y Acelhuate, y que en promedio para las distintas campañas asciende a 191 mg/l; el valor promedio para el embalse asciende a 111 mg/l, por lo que **los sólidos no supondrían ninguna restricción en el riego** (FAO, 1985). Esto ya fue observado de nuevo en los datos recabados por CEL.

En lo que respecta a la turbiedad, este parámetro sí presenta mayores variaciones, aunque en promedio para el embalse ascienden a 75 NTU, claramente superior a las recomendaciones para el agua de baño por parte de la OMS. Los mayores promedios se observan una vez más en Colima, con 227 NTU, lo que contrasta con los promedios mínimos observados en San Francisco Lempa y Suchitlán.

- Por último, se dispone de algunos datos de concentración de nitratos, nitritos y fosfatos, concretamente en Colima, Santa Bárbara, San Francisco Lempa y Suchitlán, para la campaña de diciembre de 2008. En lo que respecta a los nitratos, y tal y como se pudo observar en los datos recabados por CEL, son muy



inferiores a 10 mg N-NO₃/l (Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, FAO para riego y uso recreativo según D. Supremo 002-2008-MINAM de Perú), estando incluso por debajo de 1 mg/l (promedio en 0.5 mg N-NO₃/l); mientras los nitritos se mantienen en torno a 0.03 mg N-NO₂/l, muy por debajo del estándar de calidad ambiental para las aguas crudas que van a ser objeto de tratamiento convencional previo al consumo (D. Supremo 002-2008-MINAM Perú).

En cuanto al fósforo, hay importantes diferencias entre zonas del embalse, registrándose el máximo de concentración de fosfatos en Colima, con 2 mg P-PO₄/l, muy similar al observado por CEL, aunque seguido de cerca por las registradas en Suchitlán, de 1.6 mg P-PO₄/l, y muy de lejos por San Francisco y Santa Bárbara, con 0.07 y 0.04 mg P-PO₄/l. Son por tanto importantes diferencias, que en todos los casos, superan **ampliamente** los 0.025 mg P-PO₄/l establecidos como **límite máximo a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en lagos por parte de EPA**.

- Ante estas concentraciones de fósforo, no es de extrañar que se hayan producido **episodios de crecimiento masivo de Jacinto de agua y/o de fitoplancton**, que se han podido observar en algunos de los muestreos sobre todo **entre mayo y agosto de los años 2011 y 2012**, como por ejemplo en mayo de 2011 en Santa Bárbara, mayo y junio de 2011 y 2012 en el embarcadero de Suchitoto, mayo y agosto de 2011 en San Francisco Lempa, junio de 2011 en Agua Caliente, mayo, junio y agosto de 2011 en Copapayo, agosto de 2011 en la presa.

4.2.2.4. Otros estudios específicos en los ríos Tomayate y Las Cañas

En el marco del Programa Nacional de Reducción de Riesgo el MARN elaboró un estudio de las “Medidas de Control de la Contaminación de los Ríos Tomayate y Las Cañas” (Biotec, 2010), en el que se realizó un exhaustivo estudio de los principales parámetros de calidad del agua en los ríos Tomayate (14 estaciones de monitoreo, estudiadas entre finales de abril y finales de junio de 2011) y Las Cañas (17 estaciones entre mediados de abril y finales de junio de 2011), y que incluyó la toma de sedimentos para la determinación de las cargas de los principales metales (Figura 22).

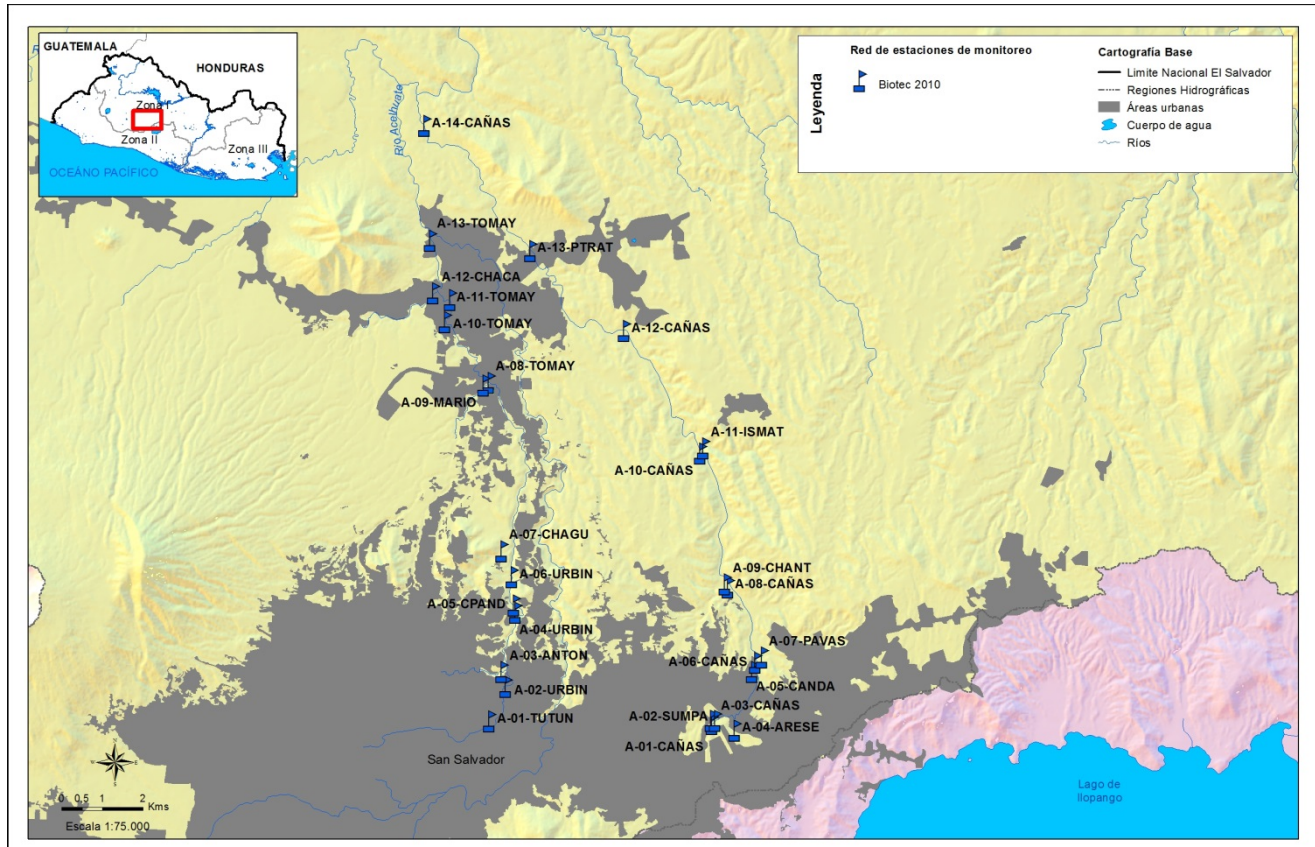


Figura 22. Sitios de muestreo en los ríos Tomayate y Las Cañas, en la Zona Hidrográfica I-Río Lempa (Biotec, 2010).

A continuación se presentan los principales resultados:

- En el río Tomayate:
 - Las concentraciones de DBO₅ y de DQO son elevadas (el promedio para todos los muestreos y estaciones ascienden a 59 y 134 mg/l, respectivamente), lo que indica una contaminación orgánica. Además, se observa alta contaminación por coliformes fecales a lo largo de las distintas estaciones, ascendiendo el valor promedio para todos los datos a casi 10 millones de NMP/100 ml. Todo ello supone una **afección para todos los usos**: consumo, riego, recreativo con contacto directo y propagación de la vida piscícola.

Esta situación va acompañada de bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, inferiores a 5 mg/l en buena parte de los muestreos y estaciones, y en ocasiones muy próximos a la anoxia, por lo que pueden generarse impactos negativos sobre la vida piscícola, además de no ser adecuadas para su uso recreativo según criterio de la OMS.

- o También se ha podido registrar **altas concentraciones de aceites y grasas en la mayor parte de las muestras, y en algunos casos también de detergentes (SAAM)** (superan los estándares de calidad ambiental para ambos parámetros para el consumo tras tratamiento convencional según la normativa peruana), lo que es de origen típicamente doméstico-urbano.
- o Al igual que en el caso de la contaminación orgánica y microbiológica, las distintas formas del nitrógeno y del fósforo estudiadas presentan por lo general altas concentraciones. **Los nitratos se mantienen muy elevados**, en promedio próximo a 17 mg N-NO₃/l, lo que supera los límites establecidos para el consumo tras tratamiento convencional de las aguas crudas, la irrigación y el uso recreativo. **También hay muy altas concentraciones de nitrógeno amoniacal** (promedio en 18.6 mg N-NH₃/l), lo que concuerda con la alta concentración de coliformes y DBO₅, típico de aguas residuales de tipo doméstico sin depurar, por lo que **se desaconseja el riego y el consumo sin tratamiento adecuado previo, así como el uso recreativo**. Con estas concentraciones son esperables afecciones sobre la vida piscícola.

En cuanto a los **fosfatos**, el valor promedio para el río Las Cañas asciende a 2.0 mg P-PO₄/l, de modo que en algunas campañas **algunas estaciones presentan niveles elevados para el riego (FAO)**, y todas ellas están muy por encima de los límites máximos establecidos por EPA a partir de los que **pueden hacerse palpables problemas en los ríos y lagos**.

- o **El pH se mantiene por debajo de 8.4 unidades**, ascendiendo en promedio a 7.5 unidades, de modo que sería compatible con los 4 usos principales. La temperatura del agua se sitúa por lo general entre los 25 y los 30°C, y presenta una desviación pequeña con respecto a la ambiental, por lo que no son esperables afecciones sobre la ictiofauna en esta materia.
- o La concentración de TDS supera con frecuencia los 500 mg/l, pero no son valores que pueda suponer una afección para el regadío ni la vida piscícola. La turbiedad es moderada; el color también lo es, a excepción de las campañas de abril a mayo, en el que es elevado.
- o La conductividad presenta importantes variaciones de una campaña a la siguiente en algunas estaciones, y **supera con frecuencia los 750 μS/cm establecidos como norma de calidad deseable para el riego** en el Decreto 51, y por tanto también la de la vida piscícola, aunque se estima como valores habituales en aguas de riego según FAO (hasta 3,000 μS/cm); el valor promedio para todos los datos asciende a 753 μS/cm, y los valores extremos a 240-2,000 μS/cm. En cuanto a los cloruros, los niveles son adecuados para el riego.
- o En lo que respecta a los metales en el agua, se dispone de información relativa a aluminio, arsénico, cadmio, cromo, plomo y zinc. De ellos, sólo el cadmio ha presentado concentraciones que podrían ser algo superiores al rango habitual especificado por FAO para el uso agrícola; esto se debe a que realmente los niveles están por debajo del límite de la técnica analítica, por lo que hay incertidumbre en el valor real, y por tanto, no puede establecerse si está por encima o por debajo del mismo.

Además, se dispone de datos de carga de estos metales en el sedimento. Sólo en algunos casos muy puntuales se superan los valores objetivo establecidos por la normativa holandesa. De estos muestreos puntuales, sólo en el caso del **plomo se supera el valor de intervención, en las muestras tomadas en A-06-URBIN (650 mg Pb/kg) y A-08-TOMAY en (773 mg/kg), ambos en junio de 2011, indicando contaminación por plomo en estos sedimentos.**

Observando los EMR y ERL, la situación cambia, ya que **en el caso del arsénico se superas con frecuencia el ERL**, con lo que podrían producirse afecciones sobre la vida que se desarrolla en los sedimentos con cierta frecuencia. Aun así, no se supera los EMR correspondientes, con la excepción anteriormente comentada del plomo.

- o Por último, se dispone de información de los **fenoles en el agua, relativamente variables a lo largo del río y entre campañas, y cuyo valor promedio asciende a 3.6 mg/l**. Este valor promedio es muy superior a la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinados a potabilización tras someterse a un tratamiento convencional (Decreto 51), aunque sin embargo es próximo al límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l. También hay **altas concentraciones de sulfuros** a lo largo del río, en ocasiones muy superiores a los recomendables por la OMS para el uso recreativo.
- o El índice de calidad del agua general, ICA, presenta una **valoración de calidad “pésima”**, al igual que se observara por parte del MARN en el periodo 2006-2011 en el río Acelhuate. Con ello, en todos los casos habrán restricciones para el desarrollo de la vida piscícola; también deben tomarse restricciones de uso, conforme a lo comentado en ítems anteriores.

■ En el río Las Cañas:

- o **Las concentraciones de DBO₅ y de DQO son incluso superiores a las cuantificadas en el río Tomayate** (el promedio para todos los muestreos y estaciones asciende a 243 y 557 mg/l, respectivamente), **lo que indica una muy alta contaminación orgánica. A su vez, se observa una muy alta contaminación por coliformes fecales** a lo largo del río, ascendiendo el valor promedio para todos los datos a 82 millones de NMP/100 ml. En esta ocasión, la afección aún es más destacable, desaconsejándose en todo momento el consumo de las aguas y su uso para el riego sin un tratamiento previo adecuado; también se desaconseja cualquier actividad recreativa. Es esperable afección sobre las comunidades piscícolas, sobre todo debido a la **fuerte desoxigenación de todo el tramo de estudio**, con frecuentes niveles muy por debajo de 5 mg/l (promedio de valores de 2.8 mg/l), **en ocasiones muy próximos a la anoxia.**
- o Además de esta contaminación típicamente doméstica, se observan **altas concentraciones de aceites y grasas en la mayor parte de las muestras, y en algunos casos también de detergentes (SAAM)**, lo que es de nuevo propio de una fuente doméstica-urbana, con lo que se desaconseja una vez más el consumo, ya que superan los estándares de calidad ambiental para el consumo tras tratamiento convencional según la normativa peruana.
- o Al igual que en el caso de la contaminación orgánica y microbiológica, las distintas formas del nitrógeno y del fósforo estudiadas presentan por lo general elevadas concentraciones. **Los nitratos son muy elevados en promedio**, ya que se aproximan a 60 mg N-NO₃/l, lo que está

muy por encima de las recomendaciones para el consumo, la irrigación y el uso recreativo. **También hay muy altas concentraciones de nitrógeno amoniacal** (promedio en 18.3 mg N-NH₃/l), con lo que es esperable una afección por exceso de nitrógeno en el medio acuático (fauna).

En cuanto a los **fosfatos**, el valor promedio para el río Las Cañas asciende a 2.5 mg P-PO₄/l, de modo que en algunas campañas **algunas estaciones presentan niveles que se salen del rango habitual de concentración de este parámetro en las aguas que se destinan al riego** (FAO), aunque lo más destacable es que en todos los casos son niveles **muy superiores a los recomendados por EPA por encima de los cuales pueden hacerse palpables problemas en los ríos y lagos**, con lo que **hay un evidente exceso de este compuesto en el agua**.

- o El pH **no presenta valores extremos y es próximo a la neutralidad en valor promedio** (7.6 unidades), de modo que sería compatible con los 4 usos principales. La temperatura del agua se sitúa por lo general entre los 25 y los 30°C, y presenta una desviación pequeña con respecto a la ambiental, por lo que no son esperables afecciones sobre la ictiofauna en esta materia.
- o La concentración de TDS supera con frecuencia los 500 mg/l, siendo los valores por lo general superiores a los observados en el río Tomayate, aunque de nuevo no son valores que pueda suponer una afección para el regadío ni la vida piscícola. **La turbiedad en este río es elevada**, siendo el promedio para todos los monitoreos próximo a 140 NTU, por lo que es altamente desaconsejable una vez más actividades como el baño. El color es por lo general elevado, manteniéndose por encima de 150 unidades Co-Pt en muchas de las muestras analizadas.
- o La conductividad también presenta importantes variaciones de una campaña a la siguiente en algunas estaciones, y se **supera con frecuencia los 750 µS/cm establecidos como norma de calidad deseable para el riego** en el Decreto 51, **y por tanto también la de la vida piscícola**, aunque son valores habituales para el riego según FAO; el valor promedio para todos los datos asciende a 925 µS/cm, y los valores mínimo y máximo a 350 y 1,800 µS/cm, respectivamente. En cuanto a los cloruros, de nuevo los niveles son adecuados para el riego.
- o En lo que respecta a los metales en el agua, se dispone de información relativa a aluminio, arsénico, cadmio, cromo, níquel, plomo y zinc. De ellos, **en ocasiones puntuales se observan concentraciones algo superiores al rango habitual especificado por FAO para el uso agrícola, para los parámetros aluminio y cromo, y con mayor frecuencia para el cadmio**; en el caso del níquel y del cadmio puntualmente habría incertidumbre, ya que en ocasiones los niveles están por debajo del límite de la técnica analítica, por lo que hay incertidumbre en el valor real, y por tanto, no puede establecerse si está por encima o por debajo del mismo.

Además, se dispone de datos de carga de arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc en el sedimento. Sólo en algunos casos muy puntuales se superan los valores objetivo establecidos por la normativa holandesa, siendo más frecuente en el caso del arsénico. De estos muestreos puntuales, sólo en el caso del **arsénico se supera el valor de intervención, en la muestra tomada en A-04-CAÑAS (397 mg Pb/kg) en junio de 2011, indicando contaminación por arsénico en dicha muestra**.

- Observando los EMR y ERL, el arsénico se supera con mayor frecuencia el ERL, con lo que podrían producirse afecciones sobre la vida que se desarrolla en los sedimentos con cierta frecuencia. Aun así, no se supera los EMR correspondientes, con la excepción del plomo en A-00-CAÑAS en abril de 2011 (235 mg Pb/kg) y la del arsénico anteriormente indicada.
- o Por último, se dispone de información de los fenoles en el agua, relativamente variables a lo largo del río y entre campañas, y cuyo valor promedio asciende a 3.4 mg/l. Este valor promedio es muy superior a la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinados a potabilización tras someterse a un tratamiento convencional (Decreto 51), aunque sin embargo es próximo al límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l. También hay altas concentraciones de sulfuros a lo largo del río, en ocasiones muy superiores a los recomendables por la OMS para el uso recreativo.
 - o El índice de calidad del agua general, ICA, presenta una valoración de calidad “pésima”, al igual que en el río Tomayate.

4.2.2.5. Otros estudios específicos en el río Sucio

Se dispone de información analítica referente a la calidad de las aguas y los sedimentos del río Sucio, para las campañas de agosto de 2010 y de febrero de 2011 (Castellanos, 2011) (Figura 23).

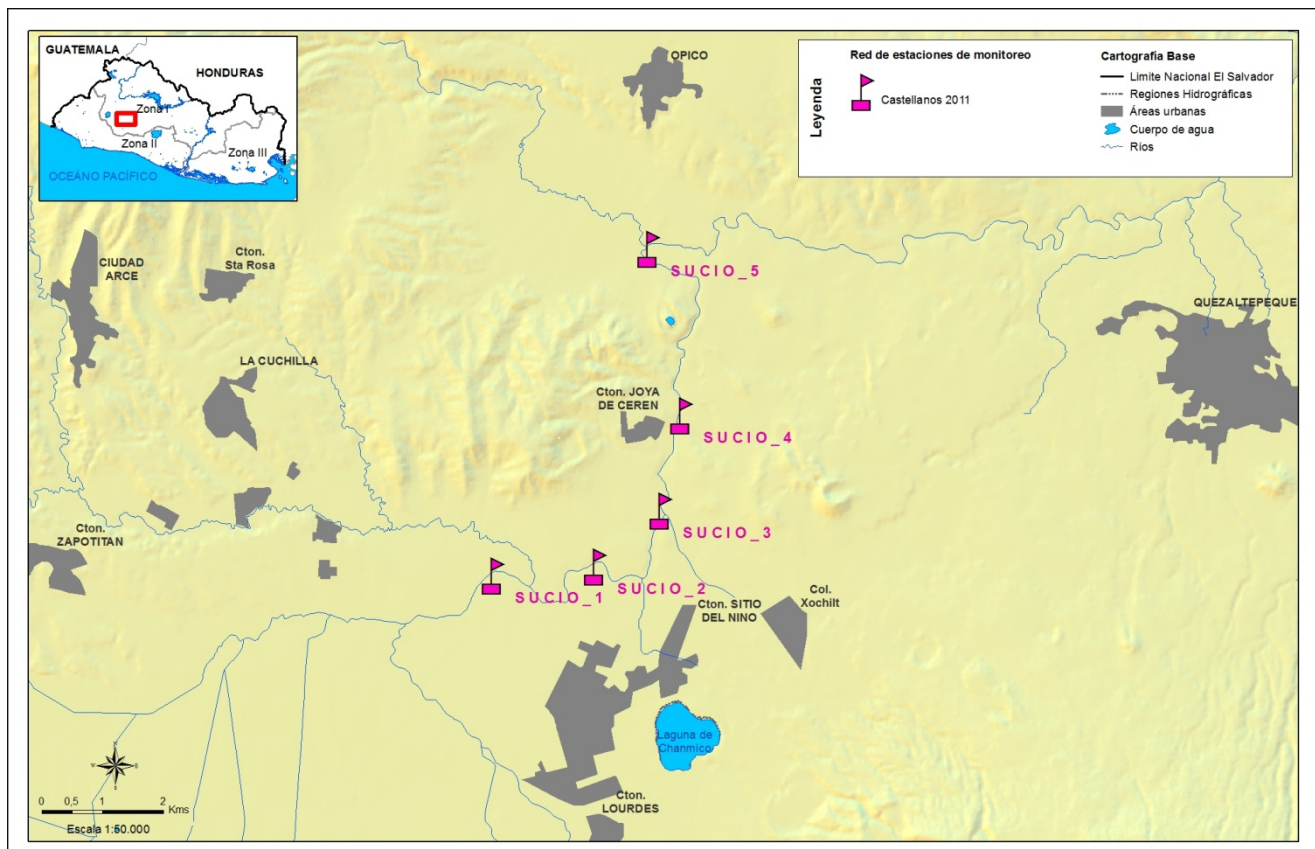


Figura 23. Sitios de muestreo en el río Sucio, para las campañas de agosto de 2010 y de febrero de 2011 (Castellanos, 2011).

- La DBO_5 y la DQO son elevadas en todas las muestras, indicando contaminación orgánica (promedio de 27.7 y 66.7 mg/l, respectivamente), a lo que se le suma una destacable contaminación microbiológica que puede confirmarse a la vista de las concentraciones de coliformes totales, fecales y de *Escherichia coli*, que en promedio ascienden a 700,000, 550,000 y 125,000 NMP/100 ml, respectivamente. Todo ello supondrá un impacto sobre todos los usos, haciendo desaconsejable su uso para el consumo y el riego, así como para el aprovechamiento recreativo.
- Sin embargo, las concentraciones de nitratos y nitritos no son elevadas (promedios en 0.97 mg N- NO_3 /l y 0.27 mg N- NO_2 /l), no siendo incompatibles con los distintos usos, al igual que el pH, que se mantiene en torno a 7.6 unidades.
- Los sólidos totales disueltos se mantienen por debajo del umbral establecido como máximo para las aguas crudas (y que no hacen necesario ninguna restricción en el riego (FAO, 1985), salvo alguna excepción de carácter muy puntual; por lo general superan el criterio para consumo, aunque la contaminación orgánica y microbiológica ya lo desaconseja.
- No se dispone de datos de conductividad, pero sí de gran cantidad de sales, cuyas concentraciones son adecuadas para el riego, según los criterios de FAO: carbonatos y bicarbonatos, calcio, magnesio, sodio, cloruros y sulfatos; la excepción se observa en el caso del **potasio**, que es relativamente elevado, con un valor promedio de 14 mg/l, **muy por encima del rango habitual especificado por FAO para el riego**, entre 0 y 2 mg/l. Con ello será **importante vigilar este parámetro, ante la posibilidad de que se pudieran producir ciertos problemas de salinización**.
- Por otra parte, se dispone de datos de concentración de arsénico, cadmio, cromo, hierro, manganeso y plomo. Las concentraciones de arsénico, cadmio, cromo, y plomo son inferiores a los límites máximos recomendados por EPA para la vida piscícola, y se mantienen dentro de los rangos establecidos por FAO como habituales en las aguas de riego. Se observan algunas excepciones en el caso del **manganeso, que en algunas muestras superan el rango habitual establecido por FAO** (máximo en 0.7 mg/l), y del **cromo, que superan sensiblemente en algunas muestras el límite máximo para que aparezcan efectos agudos en los peces**. El hierro supera en la mayor parte de las muestras el límite máximo para que aparezcan efectos crónicos, alcanzándose un valor máximo de 4.1 mg/l.

.... se ha podido comprobar que el estado de limpieza de los cauces es deplorable, lo que también influye directamente en la imposibilidad de tener aguas con un buen índice de calidad.”

4.3. PRINCIPALES CAUSAS Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA HIDROGRÁFICA I – RÍO LEMPA

Para poder definir unas líneas con estrategias de actuación que ayuden a conservar y/o recuperar el entorno, es decir, que permitan identificar las medidas correctoras adecuadas con la priorización correspondiente, es fundamental partir de una correcta definición de las presiones asociadas a las masas de aguas.

Las presiones se establecerán desde el punto de vista cualitativo, es decir presiones relacionadas la calidad del agua (contaminación puntual y difusa).

En los siguientes apartados se realiza una identificación de las presiones relacionadas con la contaminación de las aguas superficiales.

4.3.1. Metodología

En el análisis de presiones a las que están sometidas las masas de agua superficiales, se ha tratado por un lado de identificar las presiones existentes a partir de las fuentes de información disponible, y por otro determinar las presiones que son significativas, es decir, aquellas que pueden causar el incumplimiento de los objetivos medioambientales. Este efecto negativo depende simultáneamente tanto de la presión en sí misma como de la susceptibilidad de la masa de agua afectada (MMA, 2005).

Para la determinación de presiones significativas es necesario disponer de criterios y valores umbral que permitan valorar *a priori* si una presión es o no significativa; esto requiere en algunos casos de estudios específicos para dicha determinación, no siendo suficientes los estudios realizados para el diagnóstico general de la calidad de las aguas.

Asimismo se requiere información del tipo de presión y su magnitud. Por *tipo* se entiende el origen de la presión (fuentes puntuales, fuentes difusas, usos del suelo, y otras incidencias antropogénicas, fundamentalmente) y por *magnitud* el alcance de la presión. La magnitud se valora a través del umbral y del parámetro específico. El *umbral* es el valor o criterio cualitativo a partir del cual una presión es significativa. El *parámetro* son las unidades que permiten cuantificar la presión (MMA, 2004).

Cabe mencionar que no todas las aguas sometidas a una presión significativa están necesariamente en riesgo, es importante también valorar la susceptibilidad del propio cuerpo de agua. La susceptibilidad de un cuerpo de agua depende del caudal circulante, de su estado original y de alguna manera de los objetivos medioambientales que debe cumplir, por ejemplo los usos a los que está destinada (MMA, 2004).

Con todas estas premisas, es importante tener en consideración que a la vista de la información disponible, se ha podido realizar una identificación de las principales presiones que afectan a las masas de aguas superficiales en El Salvador, pero no se dispone de suficiente información para determinar la magnitud de la misma; es decir, no se dispone de suficiente información para la definición de los parámetros específicos y de los valores a partir de los cuales la presión puede considerarse significativa. Así por ejemplo, para el caso de los vertidos urbanos, sería recomendable disponer en todos los casos de los datos de caudal vertido, así como una estimación de los habitantes equivalentes; y en el caso de las piscifactorías, el caudal de explotación y las sustancias peligrosas autorizadas.

En los siguientes acápite se presenta la información sobre el tipo de las presiones antropogénicas relacionados con la contaminación de las aguas superficiales, en especial:

- Estimación e identificación de la contaminación de fuente puntual, producida por sustancias procedentes de instalaciones y actividades urbanas, industriales, agrarias y de otro tipo. Para ello se ha partida de información bibliográfica y de los trabajos de Inventario de Vertidos en Zonas Prioritarias.
- Estimación e identificación de la contaminación de fuente difusa, producida especialmente por sustancias procedentes de instalaciones y actividades urbanas, industriales, agrarias y de otro tipo.

A pesar de estas limitaciones en la determinación de la magnitud de las presiones, sí se ha podido observar un efecto negativo probado de las presiones identificadas sobre las masas de agua superficiales, debido al deterioro generalizado observado en los principales parámetros de calidad, tal y como se muestra en el acápite de verificación.

4.3.2. Contaminación originada por fuentes puntuales

Se ha observado una serie de problemas comunes a lo largo del territorio salvadoreño, que en gran medida se debe al bajo índice de cobertura de alcantarillado sanitario en el país (que se concentra en un alto porcentaje en San Salvador), y al prácticamente inexistente tratamiento de las aguas residuales urbanas e industriales antes de su vertido a las aguas superficiales y al terreno, lo que acaba contaminando seriamente las aguas superficiales y subterráneas. De hecho aún en el caso de disponer de sistema de alcantarillado, las aguas acaban siendo vertidas sin una depuración previa, por lo que los problemas de salubridad y calidad del agua no son eliminados sino que se trasladan a otros puntos de la red de drenaje. Esta situación se hace especialmente peligrosa en aquellas zonas receptoras en las que se usan las aguas de los ríos para atender necesidades domésticas, como lavar la ropa, aseo personal o incluso el consumo directo de las mismas, con el consecuente impacto sobre la salud, sobre todo en época seca, cuando hay una menor dilución de los vertidos que se producen aguas arriba, y por lo tanto llega una mayor carga contaminante por unidad de volumen consumido.

En las zonas rurales además se suma el problema de la letrización, que es muy baja en el país, a pesar de algunos proyectos ejecutados en el pasado, y que en las condiciones actuales suponen un foco de contaminación de las aguas subterráneas, y un foco de afecciones a la salud de la población.

Además de las presiones por vertidos directos a cauce de aguas residuales domésticas e industriales, otra presión de tipo puntual sobre las aguas superficiales puede ser la actividad acuícola. Debe tenerse en consideración que de forma general puede producir la descarga de plaguicidas (por ejemplo, tributilestano) y altos niveles de nutrientes en el agua superficial (y subterránea) a través de los piensos y las heces, lo que en caso de producirse podría dar lugar a fenómenos graves de eutrofización.

Como ya se ha comentado en el apartado referente a la metodología (4.3.1. para la determinación de presiones significativas es necesario disponer de parámetros y valores umbral que permitan valorar *a priori* si la presión es significativa. Para ello además de conocer el origen de la presión, sería necesario determinar su magnitud, a través de umbrales y parámetros. Entre los parámetros correspondientes a vertidos ordinarios y especiales, cabe mencionar el caudal ($m^3/año$, m^3/mes y $m^3/día$), habitantes equivalentes (vertidos ordinarios) y contaminantes autorizados (mg/l y $g/año$), para el caso de existencia de autorizaciones de vertido, entre otros. En el caso de la presión acuícola, además del caudal ($m^3/año$, m^3/mes , $m^3/día$) sería necesario conocer la concentración y carga de nutrientes y biocidas (mg/l y $g/año$).

La información disponible para la realización del diagnóstico de calidad, no es suficiente para cuantificar estas presiones.

A continuación se identifican las principales presiones de tipo puntual comentadas.

4.3.2.1. Vertidos ordinarios y especiales

De acuerdo a la información disponible y a la recopilada en campo durante la fase de “Actualización del Inventario de vertidos” se han identificado un total de 212 vertidos cuyo destino se produce a cauce, ya que son los que pueden producir un deterioro de las aguas superficiales. Asimismo se han incluido en este apartado aquellos vertidos de los que no se conoce su destino (74 vertidos).

Por otro lado, se cuenta con un listado de rastros aportado por el MARN, los cuales forman parte de este tipo de contaminación puntual, generando vertidos de carácter especial. De éstos únicamente se conoce el municipio al que pertenecen, pero no se dispone de ningún dato de localización y del cauce al que producen el vertido.

De acuerdo a la Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental (MARN, 2013d), *en el año 2010, en El Salvador se encuentran 87 rastros municipales, de los cuales 52 están en funcionamiento, en ellos se realizan un aproximado de 12,235 sacrificios de ganado bovino y 6,783 sacrificios de ganado porcino por mes, siendo la mayor matanza en el municipio de San Salvador con un porcentaje del 52%.*

...

El importante volumen de aguas residuales que se genera en los rastros es vertido (el volumen) directamente a cuerpos de agua (51%), al alcantarillado sanitario (20%) o a otros receptores como el suelo, o evacuados del sitio hacia instalaciones de tratamiento (29%) y solamente el 18% de los rastros cuentan con algún sistema de tratamiento, pero que tampoco arrojan resultados buenos de remoción de contaminantes, pues la mayoría son sistemas antiguos que no han recibido ningún mantenimiento durante su vida útil. La existencia de matanza clandestina a nivel nacional agrava la situación mencionada, ya que no existe ningún control sobre ello.

En los Planos del Anexo II (Apéndice II.1), que se adjuntan al presente documento se visualiza la distribución de los vertidos ordinarios y especiales en el ámbito de estudio, respectivamente; incluyendo los rastros. Adicionalmente se adjuntan en el Apéndice III.3 tablas detalladas con información de interés de los mismos.

El informe de la “Actualización del Inventario de Vertidos”, se incluye en el Anexo IV, donde se puede ver con más detalle la información relativa a los vertidos inventariados.

En la **Zona Hidrográfica Hempa**, la cual corresponde en su totalidad a la **Región Hidrográfica A-Lempa** se ha identificado un total de 286 vertidos, de los cuales 153 son de carácter ordinario y 133 tienen carácter especial.

En lo que respecta a los vertidos de tipo ordinario, la mayor parte de ellos se concentra en los departamentos de San Salvador (sobre todo en los municipios de Mejicanos y Tonacatepeque, aunque también en Apopa, Ayutuxtepeque, Ciudad Delgado, Ilopango, San Salvador, Soyapango y Nejapa) y La Libertad (sobre todo en Colón, San Juan Opico y Santa Tecla). 61 vertidos disponen de algún tipo de tratamiento previo, y 66 se tiene constancia de que carecen del él. Del resto de ellos no se tienen datos, dado que las fuentes de partida consultadas no facilitan dicha información o no pudo determinarse en campo. Es importante tener en consideración que se desconoce el destino final de aproximadamente la mitad de estos vertidos de carácter ordinario.

Por otra parte, la mayor parte de los vertidos de carácter especial se concentran en los departamentos de San Salvador (principalmente en el término de San Salvador), Santa Ana (predominando en el municipio de Santa Ana) y La Libertad (fundamentalmente en los términos municipales de San Juan Opico y Colón, y en menor medida en Ciudad Arce). En cuanto a si disponen o no de tratamiento, 36 de ellos sí disponen de algún tipo de tratamiento previo al vertido, mientras otros 36 no (del resto no se dispone de información hasta la fecha).

Los informes de “Levantamiento de fuentes contaminantes del recurso hídrico. Informe final. Levantamiento mediante trabajo de campo del inventario de las principales fuentes contaminantes del recurso hídrico identificadas tanto subterráneas como superficiales” (Ventura, 2005), y “Análisis del marco técnico y jurídico de las aguas residuales (manejo, reuso de aguas, con caracterización y disposición de lodos; y propuesta de normas técnicas)” (MARN-AMBIENTEC, 2008), facilitan una información de gran interés en materia de la calidad de los vertidos que se están produciendo, en los momentos de edición de los citados informes, en el ámbito de la Zona Hidrográfica I – Río Lempa. Los vertidos analizados se concentran en el ámbito de los ríos Sucio, Suquiapa y Acelhuate.

En la zona de afección al Río Sucio se han estudiado un total de 25 fuentes de contaminación, cuyos vertidos son de diversa índole, que se presentan a continuación siguiendo la nomenclatura de actividades establecidas en la **Norma Salvadoreña Obligatoria: NSO. 13.49.01:09 “Aguas. Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor”, establecida en el Acuerdo N° 249, Diario Oficial del 11 de Marzo de 2009**. La mayor parte de los vertidos se concentran en los términos municipales de San Juan Opico (15 vertidos, de los cuales 9 son especiales y 6 de tipo ordinario), y Colón (6 vertidos, 4 de ellos especiales):

- **7 de aguas de tipo ordinario:**

- o Regimiento de Caballería Sitio El Niño (Código interno V165), Comando de Ingenieros de la Fuerza Armada (Código interno V234), Brigada de Artillería (Código interno V0 y V243) y “Almacena S.A. de C.V.” (Código interno V1). Los cuatro se han identificado en el municipio de San Juan Opico (Departamento de La Libertad), y disponen de tratamiento (lagunas de oxidación o de estabilización) salvo el último, del que no se tiene datos; de ellos, en el caso del vertido de la Brigada de Artillería se tiene conocimiento que el destino del vertido es un cauce, y en el de “Almacena S.A. de C.V.” es a un área verde, desconociéndose el destino de los otros dos vertidos. Lo que sí se sabe es que tanto el vertido del Comando de Ingenieros de la Fuerza Armada como el de la Brigada de Artillería presentan **altas concentraciones de DQO y Sólidos suspendidos totales** (SST en adelante), por encima de los límites máximos permisibles establecidos por la NSO. 13.49.01:09 para las aguas residuales de tipo ordinario. En el caso de “Almacena S.A. de C.V.”, presenta elevadas concentraciones de SST.
- o PTAR de Montemar (V30), San Juan Opico (V234) y San Pablo Tacachico (V239), ubicadas en los términos municipales de Colón, San Juan Opico y San Pablo Tacachico, respectivamente. En el primer caso la PTAR atiende el área de Las Angosturas, y las aguas residuales se vierten al río Sucio a través de la Quebrada de invierno El Maniadero, tras un tratamiento mediante lodos activados (Tratamiento Preliminar, Tratamiento Primario y Tratamiento Secundario por Lodos Activados); en el segundo, se atiende a la zona Las Playitas, y los efluentes van al río Palio a través de una Canaleta de drenaje tributaria del mismo, tras un tratamiento completo en PTAR, basado en desarenador, filtro biológico y reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanquet); en el tercero se atiende la zona de San Pablo Tacachico, y las aguas efluentes van al río Copinula, tras tratamiento en un filtro biológico (Tratamiento Preliminar, Tratamiento Primario y Tratamiento Secundario por Filtro

Biológico). En cuanto a la calidad, en los tres casos los efluentes presentan una concentración de **aceites y grasas** algo superior al VMP especificado para las aguas de tipo ordinario; además, en el caso de San Pablo Tacachico también se supera el VMP específico para los SST.

- **5 vertidos procedentes de actividades relacionadas con los animales vivos y productos del reino animal (Actividad I):**
 - Dos de ellos procedentes de los productores avícolas “Sello de Oro” (Código interno V257) y “Alas Doradas S.A. de C.V.” (V150). El primero de ellos está ubicado en el municipio de Jayaque, cuyo vertido se realiza al río Talnique previo tratamiento en una laguna de estabilización. Teniendo en cuenta los valores máximos permisibles (VMP en adelante) para el uso industrial específico que le es de aplicación, el vertido analizado presenta **altas concentraciones de SST** además de muy altas concentraciones de **coliformes fecales**. Sin embargo, teniendo en cuenta que el vertido se realiza a un cauce, éste debería cumplir realmente con los VMP establecidos para las aguas ordinarias, ya que son mucho más moderados y ajustados a las necesidades de un medio receptor en el que se espera se mantengan unas condiciones mínimas de calidad; a la vista de estos VMP, el vertido presenta además altos niveles de **DBO₅ y DQO**, por lo que en conjunto la presente actividad industrial habrá estado suponiendo un impacto destacable sobre el cauce receptor.
El segundo, “Alas Doradas S.A. de C.V.”, se ubica en el municipio de San Juan Opico, y vierten los efluentes al río Flor Amarilla tras un tratamiento en una PTAR que consta de clarificador, balsas de sedimentación, filtro de bandas para deshidratación de fangos. A pesar de ello, los efluentes superan el VMP específico de la actividad para la **DQO**, así como los VMP propios de aguas de tipo ordinario para el caso de los **SST**.
 - Los tres restantes dedicados a la porcicultura: Granjas porcinas El Ternerito y El Dorado (Códigos internos V69 y V52, respectivamente), ambos vertidos al río Colón en el término municipal homónimo, previo tratamiento en una sistema de lagunaje, y Granja Porcina Los Totos (Código interno V254), en el término municipal Ciudad Arce, vertido previo tratamiento en una laguna de estabilización, aunque se desconoce su destino final. Los tres vertidos suponen una **importante carga de DQO y SST**, a la que se le suma una importante carga de **DBO₅** en el caso de la granja El Ternerito, ya que para estos tres parámetros se están superando los VMP establecidos para el tipo específico de actividad.
- **2 vertidos procedentes de actividades relacionadas con productos del reino vegetal (Actividad II):**
 - Un ingenio azucarero denominado “Ingenio Chanmico S.A.” (Código interno V32), ubicado en San Juan Opico, cuyo vertido va al río Sucio; aunque se desconoce si ha sido objeto de tratamiento previo, las **elevadas concentraciones de DQO, Sólidos Sedimentables (SS en adelante) y SST**, por encima incluso de los VMP específicos de la actividad, podrían estar indicando que carece de él.
 - Un beneficiado de café ubicado también en San Juan Opico, “Beneficio Vivagua” (Código Interno V43) cuyo vertido, que presenta **elevadas cargas de materia orgánica (DBO₅ y DQO** por encima de los VMP específicos de la actividad), se realiza a terreno (fosa séptica).
- **1 vertido procedente de industrias cuya actividad se enmarcaría en la elaboración de productos de las industrias alimentarias, bebidas, líquidos alcohólicos, tabaco y sucedáneos (Actividad IV):** “Del Tropic Foods S.A. de C.V.” (Código interno V51), que se dedica al envasado y conservación de frutas y legumbres, incluyendo elaboración de jugos; su vertido, que presenta elevadas concentraciones de SS (superiores al VMP específico de la actividad), se produce a una canaleta de una carretera (por lo que se entiende que

indirectamente llegará a un cauce), en el municipio de Colón. Se desconoce si hay tratamiento previo al vertido.

- **1 vertido procedente de una industria se dedica a los productos de las industrias químicas (Actividad VI):** “Laboratorios Ferson” (Código interno V45), que se dedica a la fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos, en San Juan de Opico, y cuyo vertido se realiza a terreno (campo de riego) aunque de nuevo se desconoce si tras un tratamiento del mismo. Con los escasos parámetros analizados (pH, temperatura y SS), el vertido no parece suponer un impacto para las zonas aledañas, aunque sí hay que tener en cuenta que si van a terreno el pH probablemente sea demasiado bajo (5.4 unidades).
- **Una empresa dedicada a la Actividad VIII. Pieles, cueros, talabartería y peletería:** “ADOC” (Código interno V394 y V395), ubicada en Socacoyo y cuyo vertido se realiza a la Quebrada El Carrizo sin tratamiento previo. Es por ello por lo que el efluente analizado presenta **alta concentración de aceites y grasas y SST** (superiores a los VMP específicos de actividad), y alto DBO₅, DQO y SS en comparación con los VMP propios de las aguas ordinarias. Además, se observan ciertos niveles de **chromo total, níquel, y sulfatos**.
- **Una empresa dedicada a la Actividad IX. Pastas de madera, papel y cartón, manufacturas y aplicaciones:** “Kimberly Clark de Centroamérica S.A. de C.V.” (Código interno V38), ubicada en San Juan de Opico y cuyo vertido se realiza al río Sucio tras ser objeto de depuración en una planta de tratamiento. Los vertidos analizados presentan **altas concentraciones de DBO₅, DQO, SS y SST**, incluso por encima de los VMP específicos de la actividad, que resultan altamente permisivos, con lo que se hace necesario modificaciones en el sistema de tratamiento implantado. En alguno de los muestreos también se detectan altos niveles de **coliformes fecales**.
- **4 empresas dedicadas a la Actividad X. Materias textiles y sus manufacturas**, todas ellas centradas en los hilados, tejidos y acabados textiles:
 - “Hilasal” (V53) y “Textiles San Andrés” (V55), en San Juan de Opico, con vertido al río Sucio tras ser depurado en sendas plantas de tratamiento. Hilasal presenta unas condiciones más moderadas que Textiles San Andrés, ya que éste último presenta **altos niveles de DBO₅, DQO y SST** (superiores a los VMP específicos de la actividad), mientras que el primero se mantiene por debajo incluso de los VMP establecidos para las aguas ordinarias, aunque puntualmente ha presentado altas concentraciones de coliformes fecales. El vertido de Hilasal está además **parcialmente desoxigenado** y presenta una **conductividad considerable**, con el consecuente impacto que esto puede suponer sobre el medio receptor.
 - “Export Salva Free Zona” (V7) y “Inversiones Buenaventure S.A. de C.V.” (V80), en Colón, con vertido en el primer caso al Zanjón El Colorado y que presenta los parámetros DBO₅ y SS por debajo del VMP para las aguas ordinarias, y en el caso del pH por debajo del VMP para aguas descargadas a un cuerpo receptor; en el segundo vertido el destino es desconocido, pero no su calidad, teniendo constancia de altos niveles de DBO₅. En ambos casos también han sido objeto de tratamiento en una planta.
- **2 empresas dedicadas a la Actividad XIII. Metales comunes y sus manufacturas**, ambas ubicadas en San Juan Opico, y de las que se desconoce si el vertido ha sido previamente depurado o no:
 - “Protecn S.A.” (También llamada Productos tecnológicos, V75), y cuyo vertido, que presenta elevadas concentraciones de SS y SST, se realiza a una canaleta de una carretera.
 - “Imfica S.A. de C.V.” (V37), dedicada a la transformación del acero y que realiza su vertido al subsuelo. En este caso los niveles de DBO₅, DQO y SST son superiores a los VMP específicos de la actividad.



En la Tabla 8 se muestra un resumen de los vertidos descritos, presentándose las características principales

Tabla 8: Vertidos identificadas en la Zona Hidrográfica I – Río Lempa, en el ámbito del río Sucio, de los que se dispone de información bibliográfica de calidad del mismo; se indica la ubicación espacial de cada uno, su tipología, tratamiento y destino final, así como la fuente de información del que procede.

Código interno	Codigo campo	Nombre	Tipo	Municipio	Cuerpo receptor	Tratamiento	Fuente
V254		Granja Los TOTOS	Especial	Ciudad Arce	Sin datos	Lagunas de estabilización	MARN-Ambientec, 2008
V52	DA 2578	GRANJA LAS MERCEDES (EL DORADO)	Especial	Colón	A cauce	Lagunas de estabilización	Ventura, 2005/MARN-Ambientec 2008
V69	DA 2075	GRANJA EL TERNERITO	Especial	Colón	Río Colon	Lagunas de estabilización	Ventura, 2005
V51	DA 716	DEL TROPIC FOODS	Especial	Colón	A canaleta de carretera	Sin datos	Ventura, 2005
V80	DA 1901	INVERSIONES BENAVENTURE S.A. DE C.V	Especial	Colón	Sin datos	Planta de tratamiento	Ventura, 2005
V7	DA 978	EXPORT SALVA FREE ZONE	Ordinaria	Colón	Zanjón El colorado	Planta de tratamiento	Ventura, 2005/MARN-Ambientec 2008
V30	DA 3288	PTAR Montemar	Ordinaria	Colón	Río Sucio	Lodos Activados	Castellanos, 2011/ANDA
V257		Granja y Rastro de Pollos (Sello de Oro)	Especial	Jayaque	Río Talnique	Lagunas de estabilización	MARN-Ambientec, 2008
V38	DA 1960	KIMBERLY CLARK	Especial	San Juan Opico	Río Sucio	Planta de tratamiento	Ventura, 2005
V53	DA 3202	HILASAL	Especial	San Juan Opico	Río Sucio	Planta de tratamiento	Ventura, 2005
V55	DA 2654	TEXTILES SAN ANDRES	Especial	San Juan Opico	Río Sucio	Planta de tratamiento	Ventura, 2005/ Castellanos, 2011
V32	DA 3588	INGENIO CHANMICO	Especial	San Juan Opico	Río Sucio	Sin datos	Ventura, 2005
V75	DA 3282	PRODUCTOS TECNOLOGICOS	Especial	San Juan Opico	A canaleta de carretera	Sin datos	Ventura, 2005
V37	DA 1454	INFICA	Especial	San Juan Opico	Al subsuelo	Sin datos	Ventura, 2005
V45	DA 533	LABORATORIOS FERSON	Especial	San Juan Opico	A campo de riego / subsuelo	Sin datos	Ventura, 2005
V43	DA 2399	BENEFICIO VIVAGUA	Especial	San Juan Opico	Fosa séptica	Sin tratamiento (Fosa séptica)	Ventura, 2005
V150		Alas Doradas SA de CV	Especial	San Juan Opico	Río Flor Amarilla	PTAR (clarificador, balsas de sedimentación, filtro de bandas para deshidratación de fangos)	Castellanos, 2011

VI	DA 5578	ALMACENA	Ordinaria	San Juan Opico	A área verde	Sin datos	Ventura, 2005
V0	DA 1283	BRIGADA DE ARTILLERIA	Ordinaria	San Juan Opico	A cauce	Laguna de oxidación	Ventura, 2005
VI65		Regimiento de Caballería	Ordinaria	San Juan Opico	Sin datos	Lagunas de estabilización	MARN-Ambientec, 2008
V243		Comandos de Ingenieros de la Fuerza Armada	Ordinaria	San Juan Opico	Sin datos	Lagunas de estabilización	MARN-Ambientec, 2008
V244		Brigada de Artillería	Ordinaria	San Juan Opico	Sin datos	Lagunas de estabilización	MARN-Ambientec, 2008
V234		Aguas negras municipales San Juan Opico	Ordinario	San Juan Opico	Río Palio	PTAR (desarenador, filtro biológico, reactor UASB)	MARN-Ambientec, 2008/ANDA
V239		PTAR San Pablo Tacachico	Ordinario	San Pablo Tacachico	Río Copinula	PTAR (Filtro biológico)	MARN-Ambientec, 2008/ANDA
V394, V395		Aguas pluviales ADOC	Especial	Sacacoyo	Qda El Carrizo	Sin tratamiento	UDP Gestión Hídrica de El Salvador

Por otra parte, en la zona de afección al Río Suquiapa se han estudiado un total de 11 fuentes de contaminación, todos ellos en el municipio de Santa Ana, y de tipo especial, y de los que en su mayoría se desconoce si dispone de tratamiento previo al vertido:

- **1 vertido relacionado con la Actividad I. Animales vivos y productos del reino animal:** “Granja Porcina el Jabali” (V92), que vierte a subsuelo y campos de riego; se desconoce si dispone de tratamiento previo. Los datos de calidad indican altos niveles de SST (superiores al VMP específico de la actividad), y de DQO (que en este caso es inferior al VMP específico del tipo, pero muy superior al de las aguas ordinarias, que es estima debería cumplir para mantener unas condiciones adecuadas en el medio receptor).
- **1 vertido procedente de un beneficiado de café (Actividad II. Productos del reino vegetal):** “Beneficio Río Zarco” (V96), que de nuevo vierte a subsuelo y campos de riego, y del que se desconoce si dispone de tratamiento previo, aunque se tiene constancia de altos niveles de DBO₅, DQO y SST, incluso por encima de los permisivos VMP establecidos para la actividad, por lo que es muy probable que no disponga de un tratamiento previo al vertido.
- **5 vertidos procedentes de industrias cuya actividad se enmarcaría en la elaboración de productos de las industrias alimentarias, bebidas, líquidos alcohólicos, tabaco y sucedáneos (Actividad IV),** todos ellos dedicados a la elaboración de productos alimenticios diversos:
 - o “Beneficio La China” (Código interno V84), que tras tratamiento con cal para corregir el pH, vierte a terreno. Presenta altas concentraciones de SS, superiores al VMP específico de la actividad, y también altos niveles de DQO y SST, muy por encima de los VMP para aguas ordinarias.
 - o “Beneficio Las Tres Puertas” (V99), que vierte a la Quebrada Santa Lucía; aunque se desconoce si cuenta con tratamiento, a la vista de las **altas cargas de DBO₅ y DQO** (superiores a los VMP específicos de la actividad), podrían estar indicando que no cuentan con tratamiento, o que éste no es adecuado.
 - o “Aguas negras COEX” (ex beneficio el trapiche, V101). Con la información actual se sabe que el beneficio ya no está en activo, y que se está produciendo un vertido de aguas de tipo ordinario

desde COEX; sin embargo, en 2005 el beneficio estaba activo y vertía sin tratamiento al río Apachancal, con una importante carga de DQO, muy superior al VMP específico de la actividad.

- o “PROSABE” (V107 y “Pan Wendy” (V85), que vierten sus aguas residuales (se desconoce si con depuración previa), al alcantarillado de ANDA. PROSABE vierte aguas cargadas de materia orgánica (DBO₅ y DQO) y SST, a niveles por encima de los específicos de la actividad, mientras Pan Wendy aporta altos niveles de SS, de nuevo por encima del VMP específico.
- **1 vertido procedente de una industria dedicada a la Actividad VIII. Pieles, cuero, talabartería y peletería:** “Tenería El Búfalo S.A de C.V” (V89), cuya actividad se circunscribe dentro de la subactividad “curtidurías y talleres de acabado”, y cuyo vertido, que presenta elevadas concentraciones de DBO₅ y DQO (muy superiores a los VMP específicos), acaba llegando a cauce sin tratamiento previo.
- **2 empresas dedicadas a la Actividad X. Materias textiles y sus manufacturas,** ambas centradas en los hilados, tejidos y acabados textiles: “Exmodica”, cuyo vertido llega al río El Sauce sin tratamiento, cargado de DQO (por encima del VMP específico), y de SST (por encima del VMP para vertidos de tipo ordinario); e “INCALSA de C.V”, del que no se dispone de información en materia de tratamiento ni destino, pero del que se tiene conocimiento de elevadas concentraciones de DBO₅ y DQO (mayor a los VMP específicos).
- **1 empresa dedicada a la Actividad XIII. Metales comunes y sus manufacturas:** “Implementos Agrícolas Centroamericanos S.A.” (V94), del que se tiene constancia que vierte elevadas cargas de DBO₅ y SST (superior a los VMP específicos de la actividad) a terrenos agrícolas, pero no de si presentan tratamiento previo.

En la Tabla 9 se muestra un resumen de los vertidos descritos, presentándose las características principales:

Tabla 9: Vertidos identificadas en la Zona Hidrográfica I – Río Lempa, en el ámbito del río Suquiapa, de los que se dispone de información bibliográfica de calidad del mismo; se indica la ubicación espacial de cada uno, su tipología, tratamiento y destino final, así como la fuente de información del que procede.

Código interno	Código bibliografía	Nombre	Tipo	Municipio	Cuerpo receptor	Tratamiento	Fuente
V84	DA 2185	Beneficio La China	Especial	Santa Ana	A terreno	Cal para corregir pH	Ventura, 2005
V99	DA 2234	Beneficio Las Tres Puertas	Especial	Santa Ana	Quebrada Santa Lucía	Sin datos	Ventura, 2005/MARN-Ambientec 2008
V96	DA 3126	Beneficio Río Zarco	Especial	Santa Ana	Subsuelo y campos de riego	Sin datos	Ventura, 2005
V92	DA 2294	Granja Porcina El Jabalí	Especial	Santa Ana	A subsuelo y campos de riego	Sin datos	Ventura, 2005
V94	DA 2227	Implementos Agrícolas Centroamericanos S.A.	Especial	Santa Ana	Terrenos agrícolas	Sin datos	Ventura, 2005
V10	DA 2653	INCALSA de C.V.	Especial	Santa Ana	Sin datos	Sin datos	Ventura, 2005
V85	DA 2169	Pan Wendy	Especial	Santa Ana	Alcantarillado ANDA	Sin datos	Ventura, 2005
V107	DA 2028	PROSABE	Especial	Santa Ana	Alcantarillado ANDA	Sin datos	Ventura, 2005
V82	DA 1921	Aguas negras Exmodica	Especial	Santa Ana	Río El Sauce	Sin tratamiento	Ventura, 2005
V89	DA 2198	Tenería El Búfalo S.A de C.V	Especial	Santa Ana	A cauce	Sin tratamiento	Ventura, 2005

VI01	DA 4384	Aguas negras COEX (ex beneficio el trapiche)	Ordinario*	Santa Ana	Río Apanchacal	Sin tratamiento	Ventura, 2005
------	---------	--	------------	-----------	----------------	-----------------	---------------

*El vertido actualmente es de tipo ordinario, pero en el momento en que se realizó el muestreo, era de naturaleza industrial.

Además, se dispone de información de un vertido en el ámbito del río Acelhuate, “Industrias La Constancia (planta Nejapa)” (V485), que se dedica a la **Actividad IV.6, Industrias de bebidas no alcohólicas y aguas gaseosas**. Esta actividad realiza el vertido de sus aguas residuales a la Quebrada Los Amates tras un tratamiento en una PTAR consistente en un reactor biológico de lodos activados. La calidad de sus efluentes es variable entre campañas, pero en términos generales, se han observado valores de materia orgánica (DBO₅ y DQO) y sólidos (SS y SST) por encima de los VMP específicos para las aguas ordinarias, aunque sólo puntualmente se ha superado el VMP específico para la actividad en el caso de los SST. A pesar de estas condiciones relativamente moderadas de estos efluentes, en comparación con otras industrias de la Zona Hidrográfica I, es destacable que presentan **altas concentraciones de coliformes totales y fecales**, y puntualmente también de plomo.

En la Tabla 10 se muestra un resumen de los vertidos descritos, presentándose las características principales:

Tabla 10: Vertidos identificadas en la Zona Hidrográfica I – Río Lempa, en el ámbito del río Acelhuate, de los que se dispone de información bibliográfica de calidad del mismo; se indica la ubicación espacial de cada uno, su tipología, tratamiento y destino final, así como la fuente de información del que procede.

Código interno	Código bibliografía	Nombre	Tipo	Municipio	Cuerpo receptor	Tratamiento	Fuente
V485		Industrias La Constancia (planta Nejapa)	Especial	Nejapa	Quebrada Los Amates	PTAR (reactor biológico de lodos activados)	UDP Gestión Hídrica de El Salvador

*El vertido actualmente es de tipo ordinario, pero en el momento en que se realizó el muestreo, era de naturaleza industrial.

4.3.2.2. Pesca y acuicultura

En la **Zona Hidrográfica I-Lempa**, englobando a la **Región Hidrográfica A-Lempa** se ha determinado el número de productores acuícolas, la producción (kg) por departamento, así como la ubicación de los principales perímetros y puntos de producción acuícola. En esta región hidrográfica, las áreas que presentan una mayor producción se encuentran en el departamento de Cuscatlán, ya que es en éste donde se ubica el embalse de Cerrón Grande, que presenta además de actividad acuícola una importante comunidad mixta de pesca y agricultura (MARN, MOP, VMVDU, 2004). El tipo de sistema empleado en la actividad acuícola presente en el embalse es principalmente intensivo organizado en jaulas, pilas y en menor medida, estanques (Magaña S. y., 2005). Las especies cultivadas son tilapia y camarón de agua dulce. Asimismo es destacar la producción en el departamento de Usulután, principalmente de camarón marino, aunque la afección a la calidad del agua que pueda producir, se genera esencialmente sobre la Bahía de Jiquilisco, ubicada en la Zona Hidrográfica III-Jiquilisco-Goascorán.

En el departamento de Cuscatlán la producción total asciende a 2,529,496 kg anuales (MINEC-MAG, 2009). En relación a este tipo de actividad, importante en este departamento, debe tenerse en consideración que de forma



general puede producir la descarga de plaguicidas (por ejemplo, tributiestaño) y altos niveles de nutrientes en el agua superficial y subterránea a través de los piensos y las heces, lo que da lugar a fenómenos graves de eutrofización (FAO, 1997). Es por ello por lo que es importante mantener un control de este tipo de actividades con la finalidad de que resulten lo menos impactantes con el medio en el que se instauran.

Además de esta explotación, hay otras zonas de demanda de agua para la producción acuícola de acuerdo al Registro de Regantes 2012-2013 del MAG, a través de la Asociación de Regantes Trinidad Sandoval (cuyo punto de demanda se localiza en el río Gualchayo). Aguas abajo del embalse 5 de noviembre, en el río Copinolapa hay una demanda adicional por parte de Felipe Alfonso Arias Martín. En el tramo bajo del Lempa, en la Quebrada El Puenteillo hay una tercera demanda para producción acuícola, cuyo titular es Olinda Mendoza Díaz. Además se tiene constancia de la existencia de otra zona de producción acuícola en base a la capa de usos del suelo del MARN, ubicado en cabecera del río El Brujo, tributario del río Guajoyo.

Por último, también se tiene conocimiento de la existencia de dos zonas de producción acuícola en los Distritos de Riego de Atiocoyo Norte (en del Departamento de Chalatenango), y Sur (en del Departamento de La Libertad (Fuente propia a través de visita de campo).

Además de la actividad acuícola hay una importante actividad pesquera tanto aguas arriba como aguas debajo de Cerrón Grande. Aguas arriba, en el Lago de Güija y en la Laguna de Metapán, donde de nuevo hay una importante presencia de comunidades mixtas de pesca y agricultura. También aguas abajo, en los embalses 5 de Noviembre y 15 de Septiembre, con la misma tipología de comunidad pesquera. Este tipo de comunidades son en general comunidades con una estructura de tipo agrícola principalmente, y con un alto índice de fecundidad. Sin embargo, la estacionalidad de las operaciones de estas actividades ocupa a la mayor parte de la población en periodos concretos del año.

En el Plano del Anexo III (Apéndice III.1), se visualiza la distribución de la producción acuícola por departamento, la ubicación de los principales puntos de producción acuícola, los perímetros acuícolas y las zonas de pesca.

4.3.1. Contaminación originada por fuentes difusas

Las fuentes difusas pueden producir afecciones sobre las aguas superficiales y subterráneas. Sobre las superficiales por lixiviados o lavados desde el terreno en época de lluvias, y a las subterráneas por percolación desde la superficie a los acuíferos.

Las principales fuentes difusas identificadas son en primer lugar gran cantidad de zonas de acopio de desechos sólidos en las proximidades de los cursos de agua, lo que acaba lixiviando a las aguas superficiales y percolando a las subterráneas, y provocando grandes problemas de calidad de aguas y salud pública. Este supone un serio problema en la actualidad, junto con las fuentes puntuales debidas a vertidos directos sin depurar.

A esta situación se le suman las presiones derivadas de la actividad agropecuaria. Por un lado se ha identificado lo que parece un más que probable uso inadecuado de los fitosanitarios y abonos en los campos de cultivo, lo que supone cambios en la química del suelo y el agua, un exceso de nutrientes en ambos compartimentos, y la presencia de contaminantes persistentes en algunas zonas. Además, las explotaciones ganaderas pueden suponer una importante presión de tipo difuso, debido a la contaminación asociada a unas tareas de mantenimiento de las instalaciones y a una gestión de residuos inadecuados: orines y heces, piensos, productos derivados de la matanza del ganado, y otros despojos inadecuadamente gestionados, pueden ser vertidos directamente a cauce, o provocar una contaminación difusa por infiltración de los efluentes.

Por último, los usos mineros pueden por lo general pueden suponer un importante impacto sobre el medioambiente, no sólo sobre las aguas superficiales y subterráneas, sino sobre los suelos, y el ecosistema en general. A la vista de la información disponible, se tiene conocimiento de varias zonas de interés minero, en algunos casos habiendo estado en explotación en el pasado. Se dispone de poca información al respecto, y aunque se supone que estas explotaciones están en la actualidad paralizadas, es probable que en algunos casos se esté produciendo una explotación informal de las mismas, con el consecuente impacto sobre las aguas superficiales y subterráneas; también es posible que las instalaciones abandonadas estén generando un impacto debido a la presencia de pasivos mineros sin un adecuado tratamiento.

Como ya se ha comentado en el apartado referente a la metodología (4.3.1. para la determinación de presiones significativas es necesario disponer de parámetros y valores umbral que permitan valorar *a priori* si la presión es significativa. Para ello además de conocer el origen de la presión, sería necesario determinar su magnitud, a través de umbrales y parámetros. Entre los parámetros correspondientes a botaderos y rellenos sanitarios, cabe mencionar el caudal lixiviado y sustancias peligrosas y contaminantes que pueden incorporar al medio, para los suelos contaminados, sería imprescindible conocer el porcentaje de extensión respecto de la cuenca y las sustancias peligrosas y contaminantes existentes; en el caso de la agricultura, además de la diferenciación entre agricultura de regadío y secano, habría que conocer el porcentaje cultivado respecto a la cuenca, así como los nutrientes y plaguicidas utilizados; finalmente en lo que respecta a las zonas mineras, también sería necesario disponer del dato de porcentaje de área respecto a la cuenca y las sustancias peligrosas y contaminantes existentes.

4.3.1.1. Botaderos, rellenos sanitarios y suelos contaminados

En el año 2007, la Asamblea Legislativa decretó la prohibición de depositar desechos sólidos en botaderos a cielo abierto. Con esta acción, el volumen de desechos que no recibían una disposición final adecuada disminuyó de 1,611 toneladas de desechos diarios en 2007 a unas 800 toneladas en 2012, y se alcanzaron coberturas de recolección y disposición final adecuada de 75% para las zonas urbanas del país.

No obstante, los costos de transporte y disposición final de los desechos se tomaron insostenibles para varias municipalidades por la limitada oferta de sitios de disposición final, la ausencia de mecanismos para regular la calidad de esos servicios y sus costos, así como por tasas municipales desactualizadas y mecanismos de cobro inadecuados; dando como resultado la proliferación de puntos de transferencia ilegales precarios e insalubres, y la disminución de la cobertura y frecuencia del servicio de recolección municipal. Todo ello causó problemas sanitarios en algunas ciudades, situación que se agrava en las zonas periurbanas y rurales (MARN, 2013h).

Se conoce la existencia de 90 botaderos en el ámbito de la Zona Hidrográfica I – Río Lempa, aunque 9 de ellos no se encuentran en operación, ya que han sido clausurados según información disponible en el Segundo Censo Nacional de Desechos Sólidos Municipales (MARN-BID, 2009). Según esta fuente de información, de los 81 aún en operación, 44 son botaderos municipales, 10 están identificados como clandestinos, 5 se encuentran a cielo abierto.

A continuación se adjunta una tabla con información de interés de los mismos, como es el nombre del botadero, el municipio al que pertenece y su estado (abierto o cerrado). La distribución de los mismos puede visualizarse en el Plano del Anexo III (Apéndice III.1, parte II).

Además de la información de la ubicación de los botaderos, se tiene el conocimiento de la existencia de 8 rellenos sanitarios y un suelo contaminado por plomo en el municipio de San Juan Opico.



Por otro lado, es importante mencionar que el MARN efectuó un Inventario de Plaguicidas y Sitios Contaminados en el año 2012, en el que registró seis sitios en todo el país, en los cuales se encontraron más de 62 toneladas de plaguicidas, además de solventes, tierras y equipos contaminados, entre otros. (MARN, 2013h).

En esta zona Hidrográfica, se encontraron 1,814.39 kg del plaguicida Aldrin en la Bodega ex IRA, en el municipio de Santa Ana, así como 4,672.05 kg de DDT y 7,801.87kg de Hexalorobenceno en MINSAL, en el municipio de San Salvador.

Región Hidrográfica A-Lempa:

En la Tabla 11 donde consta información de interés de los botaderos, como es el nombre del botadero, el municipio al que pertenece y su estado (abierto o cerrado). La distribución de los mismos puede visualizarse en el Plano del Anexo III (Apéndice III.1).

Tabla 11: Inventario de botaderos identificados la Región Hidrográfica A-Lempa. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009) y (Biotec, 2010).

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
LA MONTAÑITA	AGUA CALIENTE	Chalatenango	476422	338836	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	AGUILARES	San Salvador	477648	314985	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CIELO ABIERTO	ALEGRIA	Usulután	555726	265548	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
LA CHAMPANILA	APASTEPEQUE	San Vicente	525165	283337	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	ARCATAO	Chalatenango	526279	330552	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	ARMENIA	Sonsonate	440596	295268	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	BERLIN	Usulután	552008	264703	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CUTUMAY NCAMONES	CANDELARIA DE LA FRONTERA	Santa Ana	444287	325700	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
EL CORRALON	CAROLINA	San Miguel	573816	303347	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	CHALATENANGO	Chalatenango	499510	327551	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	CHALCHUAPA	Santa Ana	444287	325700	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
EL LIMONCILLO	CHINAMECA	San Miguel	569282	265950	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
LA RECTA	CITALA	Chalatenango	477743	359769	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	COATEPEQUE	Santa Ana	445069	312804	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
ZANJON EL MANZANO	COLON	La Libertad	458116	287298	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	COMALAPA	Chalatenango	504791	335084	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
ZANJON EL MANZANO	COMASAGUA	La Libertad	458116	287298	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	CONCEPCION QUEZALTEPEQUE	Chalatenango	503475	328533	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	DELICIAS DE CONCEPCION	Morazán	592229	300095	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	DOLORES	Cabañas	544147	294756	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006



Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
RANCHO QUEMADO	EL CARMEN	Cabañas	523786	298950	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	EL CONGO	Santa Ana	445803	309886	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	EL PARAISO	Chalatenango	492191	330927	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	EL ROSARIO	Cabañas	519325	299494	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	EL TRIUNFO	Usulután	560963	270866	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	ESTANZUELAS	Usulután	560963	270866	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	GUACOTECTI	Cabañas	523010	298640	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CIELO ABIERTO	GUADALUPE	San Vicente	520366	280427	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	GUAZAPA	San Salvador	480913	309031	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	ILOBASCO	Cabañas	519325	299494	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	JAYAQUE	La Libertad	458116	287298	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	JUCUAPA	Usulután	566093	266912	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	JUTIAPA	Cabañas	510745	308592	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	LA LAGUNA	Chalatenango	505856	337440	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	LA PALMA	Chalatenango	479450	354711	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
PRESTADO	LA REINA	Chalatenango	484249	343867	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
LOS AMATES	LAS FLORES	Chalatenango	518158	324003	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
EL CALVARIO	LOLOTIQUE	San Miguel	569640	270660	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
BARRIO EL CENTRO	LOLOTIQUE	San Miguel	570111	270730	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	MASAHUAT	Santa Ana	453741	340628	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	MERCEDES UMANA	Usulután	556141	270587	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	METAPAN	Santa Ana	446939	354560	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	MONTE SAN JUAN	Cuscatlán	505413	292534	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
EL MOSQUITO	NUEVA CONCEPCION	Chalatenango	469226	326988	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
A CIELO ABIERTO	NUEVA GUADALUPE	San Miguel	569705	267882	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	NUEVO EDEN DE SAN JUAN	San Miguel	555456	300444	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	NUEVO EDEN DE SAN JUAN	San Miguel	555763	300249	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	OJOS DE AGUA	Chalatenango	513852	331355	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	OSICALA	Morazán	592229	300095	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
ZANJON EL MANZANO	SACACOYO	La Libertad	458116	287298	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	SAN ANTONIO DE LA CRUZ	Chalatenango	523121	322049	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006



Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
EL GRAMAL	SAN ANTONIO LOS RANCHOS	Chalatenango	510506	319575	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN BARTOLOME PERULAPIA	Cuscatlán	495197	293657	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN BUENAVENTURA	Usulután	566093	266912	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN CAYETANO ISTEPEQUE	San Vicente	520366	280427	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
VIRULENTOS	SAN ESTEBAN CATARINA	San Vicente	523933	285352	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
TERRENO BALDIO	SAN FRANCISCO LEMPA	Chalatenango	499841	317717	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN FRANCISCO MORAZAN	Chalatenango	494548	338797	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN GERARDO	San Miguel	563682	299284	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN IGNACIO	Chalatenango	479063	356827	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN ILDEFONSO	Usulután	547918	268524	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN ISIDRO	Cabañas	523010	298640	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN JOSE GUAYABAL	San Salvador	480913	301031	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN JUAN OPICO	La Libertad	462777	309242	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN LORENZO	San Vicente	520895	287331	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN LUIS DE LA REINA	San Miguel	569742	299949	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	SAN LUIS DEL CARMEN	Chalatenango	502908	315129	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN MATIAS	La Libertad	465211	307434	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN MIGUEL DE MERCEDES	Chalatenango	510506	319575	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN PABLO TACACHICO	La Libertad	469035	316966	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN PEDRO PERULAPAN	Cuscatlán	496635	293214	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
RANCHO QUEMADO	SAN RAFAEL CEDROS	Cabañas	523010	298640	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CAMINO MACHACAL	SAN SEBASTIAN	San Vicente	518853	289343	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
AGUACAYO	SAN SEBASTIAN	San Vicente	518949	289543	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CIELO ABIERTO	SAN SEBASTIAN SALITRILLO	Santa Ana	444287	325700	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CUTUMAY CAMONES	SANTA ANA	Santa Ana	444287	325700	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CEMENTERIO VIEJO	SANTA CLARA	San Vicente	529744	286606	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SANTA CRUZ MICHAPA	Cuscatlán	501925	291158	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	SANTIAGO DE LA FRONTERA	Santa Ana	435536	340550	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006



Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	SENSUNTEPEQUE	Cabañas	523010	298640	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SESORI	San Miguel	568853	288692	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	TALNIQUE	La Libertad	455771	282873	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	TEJUTEPEQUE	Cabañas	508290	301949	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	TEJUTLA	Chalatenango	489527	337838	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	TENANCINGO	Cuscatlán	500735	304884	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
ZANJON EL MANZANO	TEPECOYO	La Libertad	458116	287298	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CIELO ABIERTO	TEPETITAN	San Vicente	516567	279190	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CUTUMAY CAMONES	TEXISTEPEQUE	Santa Ana	444287	325700	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	TONACATEPEQUE	San Salvador	486038	294992	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	VICTORIA	Cabañas	539657	315167	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		299112	479414	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		297201	479740	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		297127	479859	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SAN SALVADOR		287527	480847	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CIUDAD DELGADO		291132	481377	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CUSCATANCINGO		290141	481499	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CUSCATANCINGO		290203	481495	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		297800	479850	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SAN SALVADOR		288220	481107	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CIUDAD DELGADO		288243	481160	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SAN SALVADOR		288835	480422	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		288878	480394	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CUSCATANCINGO		289008	480320	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		289129	480090	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		289108	479818	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	AYUTUXTEPEQUE		293021	479761	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		296089	480459	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010



Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		289226	476207	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	AYTUXTEPEQUE		290662	478654	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		289168	478912	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		288777	480076	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		288745	480208	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		289139	480057	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO DE RIPIO	AYUTUXTEPEQUE		292992	479347	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		297729	479873	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		297746	479876	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		297653	478875	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CIUDAD DELGADO		288376	481252	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CUSCATANCINGO		295831	480670	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CUSCATANCINGO		295739	480673	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SOYAPANGO		286060	486057	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SOYAPANGO		289268	487011	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	ILOPANGO		287755	487333	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	ILOPANGO		288836	488547	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	TONACATEPEQUE		288870	488591	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	TONACATEPEQUE		288978	488539	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO DE TEXTILES Y OTROS	SOYAPANGO		286711	485404	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SOYAPANGO		286482	485981	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SOYAPANGO		288425	487357	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		301540	479932	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO DE TEXTILES	APOPA		299068	481774	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	ILOPANGO		287363	489575	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010

Como ya se ha mencionado, se tiene el conocimiento de la existencia de 8 rellenos sanitarios, ubicados en los departamentos de Cabañas (1), Cuscatlán (1), San Salvador (1), Santa Ana (1), Chalatenango (2) y Morazán (2). A continuación en la Tabla 12 se incluye además de su ubicación, datos como el área que ocupan y la fecha de inicio de operación. Adicionalmente, se puede visualizar la ubicación de los mismos en el el plano del Anexo III (Apéndice III.1).

Tabla 12: Inventario de rellenos sanitarios identificados la Región Hidrográfica A –Lempa, en función de la información facilitada por MARN (Información de los Rellenos Sanitarios de El Salvador).

Nombre	Extensión (Ha)	Cantón	Municipio	Departamento	Inicio operación	Zona Hidrográfica
Manejo de Desechos Sólidos en el Municipio de Cinquera, Cabañas	3.01	San Nicolás	Cinquera	Cabañas	abr-03	I-Lempa
Manejo Integral de Desechos Sólidos (AMUCHADES)	6.44	El Gramal	San Antonio Los Ranchos	Chalatenango	oct-11	I-Lempa
Programa de Manejo Integrado de Desechos Sólidos Chalatenango	27.9	Estanzuelas	Tejutla	Chalatenango	Sin operación	I-Lempa
Relleno Sanitario de Suchitoto	1.05	El Corozal	Suchitoto	Cuscatlán	oct-03	I-Lempa
Sistema de Manejo Integral de Desechos Sólidos de los Municipios de Meanguera y Jocoatique, departamento de Morazán	2.8	La Joya	Meanguera	Morazán	nov-03	I-Lempa
Diagnóstico Ambiental de la Actividad de Disposición Final de Desechos Sólidos del Municipio de Perquín en el departamento de Morazán	3.5	Casa Blanca	Perquín	Morazán	2002	I-Lempa
Relleno Sanitario de MIDES	70	Camotepeque	Nejapa	San Salvador	may-99	I-Lempa
Construcción de Relleno Sanitario de Santa Ana	85.4	Cujucuyo	Texistepeque	Santa Ana	En construcción	I-Lempa

Asimismo, se ha localizado un sitio crítico con fuerte contaminación del suelo:

Cantón Sitio del Niño (San Juan Opico): contaminación por plomo procedente de la Planta de fabricación y reciclaje de baterías de la Sociedad Baterías de El Salvador, S. A. de C. V (MARN, 2012j)

En Agosto del 2010 se proclamó el Estado de Emergencia Actual, el cual ha sido prorrogado sucesivamente hasta la actualidad.

El MARN ha realizado importantes esfuerzos, en tratar de reducir el daño provocado esta contaminación, habiendo sido necesario recurrir a la asistencia técnica internacional y desarrollar una estrategia de intervención más compleja.

La declaratoria de emergencia ambiental se realizó luego de determinar altos niveles de contaminación por plomo en suelo y agua. Entre enero de 2010 y julio de 2012 se realizaron alrededor de 1,800 muestras en suelo superficial, encontrándose concentraciones de plomo en niveles superiores a 400 ppm (partes por millón) en los alrededores de

las instalaciones de BAES, hasta una distancia aproximada de 400 metros en el sector norte de las instalaciones, en el rumbo de la línea férrea. Niveles superiores a los 400 ppm representan ya un peligro para la salud de las personas. En la zona cercana a los drenajes de BAES, las concentraciones variaron en un rango promedio de 1,300 a 36,200 ppm de plomo. Los monitoreos de suelo se han continuado en la zona de drenajes de manera periódica, habiéndose realizado el último muestreo en abril de 2013, observándose que no se ha presentado desplazamiento de la contaminación hacia otras zonas (MARN, 2013h).

4.3.1.2. Usos del suelo (actividad agrícola)

En el país el uso del suelo por la actividad agrícola es de elevada importancia, ya que es una de las principales actividades económicas. Esta actividad agrícola se desarrolla principalmente en torno al cultivo de granos básicos, caña de azúcar y café.

En los planos del Anexo III (Apéndice III.1), que se adjuntan al presente documento se visualiza la distribución de los diferentes cultivos, agrupándose por cultivo de regadío y secano, de acuerdo a la Tabla 13. En dichos planos se ha representado el porcentaje de ocupación del suelo, de estos cultivos, por municipio y en cada región hidrográfica. En los casos en que un municipio forma parte de dos o más regiones hidrográficas, se le ha asignado un valor porcentual, en proporción al área comprendida dentro de cada región.

Tabla 13: Agrupación de cultivos por regadío o secano. Fuente: Elaboración propia.

Ocupación del suelos	Clasificación
Árboles Frutales	Regadío
Caña de Azúcar	Regadío
Cultivos Anuales Asociados con Cultivos Permanentes	Regadío
Hortalizas	Regadío
Mosaico de Cultivos y Pastos	Regadío
Otros Cultivos Irrigados	Regadío
Pastos Cultivados	Regadío
Café	Secano
Cultivo de Piña	Secano
Cultivos Permanentes Herbáceos	Secano
Granos Básicos	Secano
Palmeras Oleíferas	Secano
Plataneras y Bananeras	Secano
Terrenos principalmente agrícola, pero con importante espacios de vegetación natural	Secano

En la **Región Hidrográfica A-Lempa**, en cuanto a los granos básicos, fundamentalmente maíz, sorgo y frijol, la superficie cultivada se encuentra distribuida por toda la cuenca, siendo los departamentos de Usulután, Santa Ana y La Libertad, los que presentan una mayor producción.

En relación al cultivo de caña de azúcar, su mayor presencia se da en la margen derecha del río Lempa en su entrada al embalse del Cerrón Grande, es decir en los municipios de El Paisnal y Suchitoto. Las subcuencas de los ríos Acelhuate y Sucio son las que cuentan con mayor superficie de este cultivo.

Por último las zonas de cafetales se concentran en los alrededores de lago Coatepeque, y en la parte alta de las cuencas de los ríos Suquiapa, Acelhuate y Sucio, así como en límite de la cuenca del río Lempa, comprendido en el departamento Usulután.

El uso del suelo para fines agrícolas, ha aumentado debido al crecimiento poblacional, lo que ha obligado a la utilización de terrenos en laderas con inclinaciones altas, no aptos para cultivos anuales y en la mayoría de los casos sin técnicas adecuados contra la erosión contaminando, por medio de la escorrentía superficial, a los principales ríos de la cuenca, como por ejemplo el Acelhuate (Flamenco & Henríquez, 2009).

El uso de fertilizantes puede repercutir en la calidad de las aguas, apareciendo concentraciones elevadas de nutrientes y, que dan lugar a fenómenos de eutrofización y a la aparición de *blooms algales*, con la posible liberación de toxinas al medio. Por infiltración en el terreno, los nutrientes, pueden llegar a las aguas subterráneas. Del mismo modo el empleo de plaguicidas puede traducirse en la aparición de compuestos tóxicos para las comunidades piscícolas y otros organismos, así como para el ser humano. Los más usados se pueden dividir en tres grupos, organoclorados, organofosforados y carbamatos.

4.3.1.3. Explotación ganadera

Se ha determinado el número de cabezas de ganado por municipio, para los tres tipos de mayor relevancia en el país: avícola, bovino y porcino.

En los Planos del Anexo III (Apéndice III.1) que se adjuntan al presente documento se visualiza la distribución de las cabezas de ganado por municipio para los tres tipos mencionados. Además en el Anexo III (Apéndice III.5) se indica el número de cabezas de ganado por municipio.

En la Zona Hidrográfica I: Lempa, la mayor actividad es de tipo avícola, centrada fundamentalmente en las subcuencas de los ríos Sucio y Acelhuate. Asimismo es de destacar la producción en los municipios de El Paisnal, San Pedro Perulapán e Ilobasco.

Dentro del sector avícola, dominan los gallos, gallinas, pollos y pollas, siendo particularmente numerosas en el departamento de Chalatenango aunque en el resto de los departamentos su representación es también importante (MARN, MOP, VMVDU, 2004).

El número total de cabezas de tipo avícola, en toda la zona hidrográfica asciende a 14,139,717 frente a las 400,138 cabezas de tipo bovino y las 63,995 de tipo porcino (MINEC-MAG, 2009).

Los efectos que la ganadería puede ocasionar sobre los cuerpos de agua, están relacionados con el transporte de nutrientes, materia orgánica y bacterias, por el lixiviado al mezclarse con la lluvia, generando eutrofización en las aguas, y la aparición de color y turbidez.

Para evaluar la presión derivada del uso ganadero, se convierten las cabezas de ganado a unidades ganaderas, con el fin de realizar una valoración global de la presión.

Una unidad ganadera es el equivalente a una cabeza de ganado de referencia (vaca lechera); a partir de la unidad ganadera, se derivan los coeficientes para el resto de ganado considerado, recogidos en la Tabla 14:

Coefficiente Avícola	Coefficiente Bovino	Coefficiente Porcino
0,01	0,8	0,4

Tabla 14. Coeficientes de conversión en unidades ganaderas².

En la Figura 25 se puede observar la distribución de las cabezas de ganado para los tres tipos representados como una única unidad ganadera para todo el país.

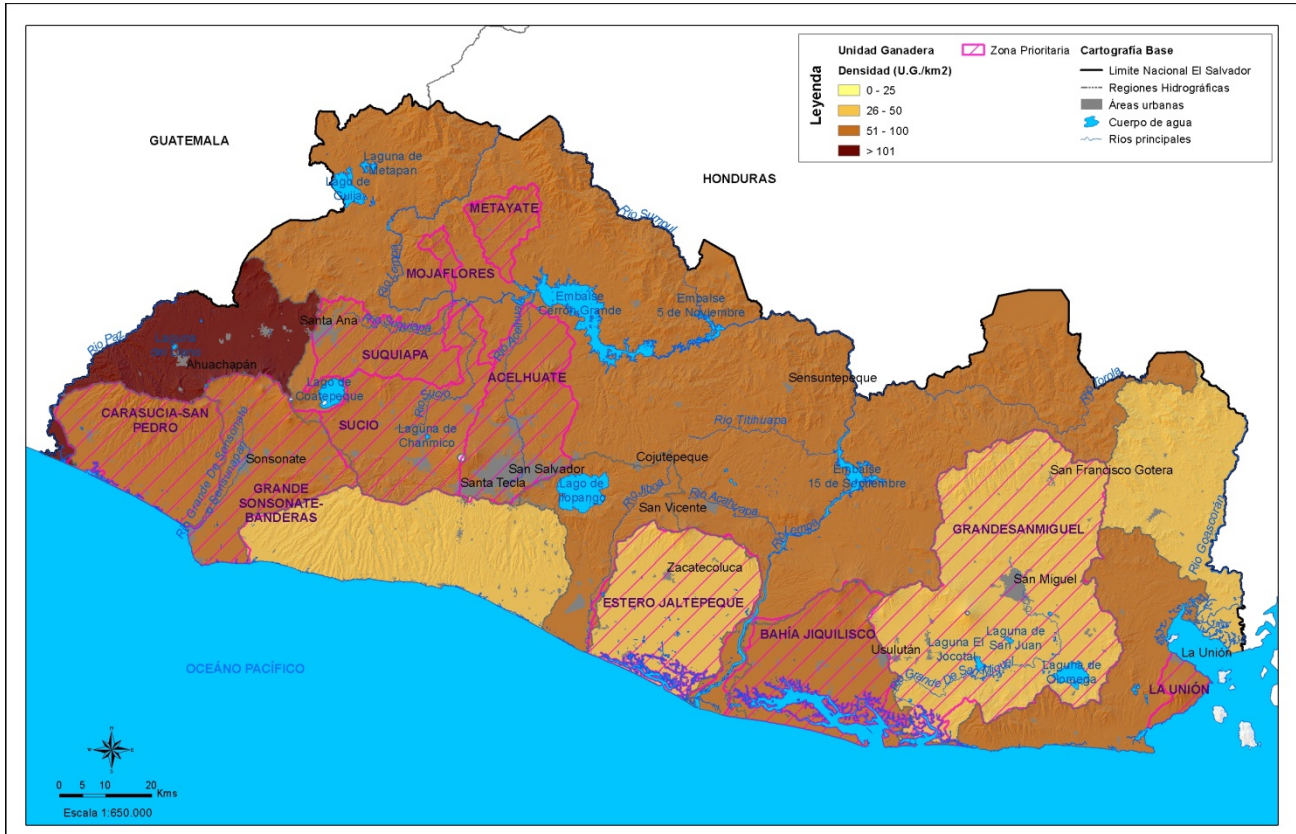


Figura 25: Distribución de la densidad de unidad ganadera (calculada a partir de las cabezas de ganado avícola, porcino y bovino). Fuente: elaboración propia.

4.3.1.4. Zonas mineras

En El Salvador la actividad minera ha pasado por diferentes periodos de crecimiento y recesión. Alcanzó su mayor auge a mediados del siglo XX, con la explotación de metales preciosos, como oro y plata, con la llegada de grandes empresarios extranjeros que vieron la oportunidad de expansión y de generar grandes beneficios. Posteriormente se produjo un receso durante el conflicto armado (1980-1992). En 1996 la expedición de la ley

² Coeficientes de conversión de U.G. Fuente: INE – Eurostat.

minera, la cual reemplazó el antiguo código de minas que se hallaba en vigencia desde 1922, contribuyó a la reactivación de la actividad (MINEC, 2011).

La nueva Ley de Minería y sus Reglamentos, aprobados en los últimos años constituyen un marco regulador moderno para el desarrollo de la actividad minera. Dado que estas actividades se desarrollan principalmente en el medio rural, ello podría suponer una fuente de empleo y consecuentemente de ingresos que contribuirían a mejorar la situación socioeconómica de una proporción de la población rural, actualmente muy empobrecida.

Se desconoce con detalle el potencial minero del país, únicamente se ha investigado el 8% del territorio nacional (MARN, MOP, VMVDU, 2004).

Actualmente la minería en El Salvador se encuentra casi y exclusivamente en fase de exploración, estando las licencias para tal fin próximas a su extinción, y no existiendo ninguna de explotación.

El principal problema en relación con los recursos mineros de El Salvador es el desconocimiento del estado de los mismos. Existe cierta información de los yacimientos explotados históricamente en el país, pero actualmente no se dispone de un análisis exhaustivo los recursos disponibles con una evaluación de su explotación potencial.

Por otro lado, la investigación de este tipo de recursos recae en la Dirección General de Hidrocarburos y Minas del MINEC. No obstante, esta Dirección General parece presentar ciertas limitaciones económicas y de personal para asumir independientemente este cometido y recurre al apoyo de Proyectos de Cooperación para ampliar el conocimiento de los recursos mineros del país.

Debe destacarse igualmente que no existen instituciones docentes de nivel superior en relación a la materia por lo que no hay en el país técnicos preparados para investigar y desarrollar las actividades del sector minero (MARN, MOP, VMVDU, 2004).

Los recursos mineros conocidos en el país hasta la fecha se pueden dividir en minerales metálicos: oro, plata, cobre, plomo y zinc, entre otros; y recursos no metálicos: arcillas, calizas, puzolana ³, perlita, diatomitas, pómez, gravas, arenas, lavas, etc.

El interés suscitado en el país por la explotación de metales preciosos e industriales, tales como Au, Ag, Cu, Fe, Pb y Zn, ha generado la creación de minas en zonas que son susceptibles de explotación, conocidas como zonas de interés minero o distritos mineros, en las cuales existió actividad en un pasado y que en un futuro podrían reactivarse si se dieran las condiciones económicas, técnicas y administrativas necesarias.

Se han identificado zonas de interés minero en las regiones hidrográficas A-Lempa, H-Grande de San Miguel, J-Goascorán e I-Sirama.

En la **región hidrográfica A-Lempa**, se tienen inventariadas un total de 6 zonas de extracción o de interés minero, concentradas sobre todo en el departamento de Santa Ana, en el que se identifican cuatro áreas en Metapán, municipio que presenta la mayor superficie ocupada por cada actividad identificada, gracias a la variedad de minerales como hierro, plomo, zinc, cobre, plata y oro; le sigue en cantidad de explotaciones el departamento de Cabañas (2) siendo los metales de interés el cobre, la plata y el oro; San Salvador (1) con variedad de metales entre ellos el hierro, el cobre, el plomo, el zinc y la plata; y Chalatenango (1), de interés por los contenidos en cobre. Adicionalmente se tiene constancia de la existencia de otra actividad que se desarrolla parte o totalmente en

³ Puzolana: Sustancia rica en ácido silícico que al contacto con el agua desarrolla cualidades cementantes.



Guatemala (Trifinio), pero que por su proximidad se registra como actividad a tener en consideración por su posible repercusión sobre el medio hídrico.

En la Tabla 15, se indican las superficies ocupadas, principales minerales y fuente de procedencia de la información presentada.

Tabla 15: Inventario de zonas de extracción minero y de interés minero identificadas en la Región Hidrográfica A-Lempa. Fuente: Capa Usos del Suelo y (MINEC, 2011).

Nº	Zonas de interés minero	Superficie (Km ²)	Departamento	Región Hidrográfica	Minerales	Fuente de información
1	Cerro Blanco-Trifinio (Guatemala)	ND	ND	A-Lempa	Au y Ag	Seminario- Agua y Cuencas en ES: Gestión y Desarrollo
2	Metapán	315	Santa Ana	A-Lempa	Fe, Pb, Zn, Cu, Ag y Au	MINEC, 2001 I / Capa de usos del suelo
3	Chalatenango	Sin determinar	Chalatenango	A-Lempa	Cu	MINEC, 2001 I
4	El Paisnal	42	San Salvador	A-Lempa	Fe, Cu, Pb, Zn, Ag	MINEC, 2001 I
5	Jutiapa	79	Cabañas	A-Lempa	Cu	MINEC, 2001 I
6	San Isidro	108	Cabañas	A-Lempa	Au, Ag	MINEC, 2001 I

La ubicación de las mismas se presenta en el Plano 8 del Anexo 3 (Apéndice 3.1).

Las principales minas presentes en las zonas de interés minero de la Región Hidrográfica A- Lempa, se resumen a continuación (MARN, MOP, VMVDU, 2004):

- Distrito minero de Metapán:
 - **San Casimiro:** se localiza sobre rocas silificadas con pirita (sulfuro de hierro), blenda (sulfuro de zinc) y galena (sulfuro de plomo).
 - **San Juan:** se trata de un yacimiento de plomo y plata categorizado como depósito ligero de plomo y zinc.
 - **El Tajado:** la mineralización se encuentra en forma de vetas de contacto. El hierro aparece como hematita, magnetita, pirita y pequeñas cantidades de sulfuros metálicos básicos.

- Distrito minero de Chalatenango:

En este distrito se localizan pequeños afloramientos de cobre diseminados en malaquita y azurita así como en forma de sulfuro de calcopirita y bornita, contenidos en una ganga de calcita y epidota.

- **Sector Potonico – Cancaste:** Se trata más bien de un distrito de potencial minero ya que no existen minas abandonadas o en operación. Se reconoce, sin embargo, la existencia de zonas de alteración hidrotermal afectando las lavas andesíticas de la Formación Morazán. Parte de la región ha sido inundada por los embalses del 5 de Noviembre y del Cerrón Grande.
- Distrito minero El Paisnal

Se conoce la mina de Modesto, cuyas principales características se describen a continuación:

- **Modesto:** Las vetas de oro y plata afloran a lo largo de las crestas de dos colinas. Están compuestas por corrientes de andesitas de gran espesor y poca inclinación, cubiertas por núcleos discontinuos de riolitas. Las vetas de cuarzo están finamente bandeadas, son afaníticas y sulfurosas pero apenas presentan calcitas.
- Distrito minero de Jutiapa:

Se trata de un yacimiento similar al de Potonico – Cancasque, con afloramientos de cobre.

- Distrito Minero de San Isidro

El distrito se caracteriza por sus formaciones de capas de andesitas de gran espesor y grano grueso así como por la existencia de un sistema ancho de fallas normales. Las formaciones contienen muchas vetas de cuarzo de grano fino, de color blanco y con incrustaciones criptocristalinas así como núcleos de calcita de color blanco y grano de medio a grueso, acompañados de pirita.

La mina principal de este distrito es la de El Dorado:

- **El Dorado:** El sistema de vetas de la mina se sitúa en rocas volcánicas hidrotermalmente alteradas de la Formación Morazán.

Las actividades asociadas a la extracción de minerales metálicos son causa de importantes alteraciones en los sistemas naturales y generan en muchas ocasiones impactos ambientales importantes de carácter irreversible. La minería metálica es la más compleja de todas las minerías. Se lleva a cabo tanto en interior como en exterior. En interior se construyen galerías, cámaras, rampas, etc. En el exterior se explotan grandes cortas, canteras y yacimientos de placeres (MINEC, 2011).

Por otro lado es importante mencionar la **minería no metálica** como una fuente de contaminación difusa, por el aporte de sólidos que se genera en las aguas, mediante procesos de escorrentía superficial. Asimismo la extracción de arenas, gravas y rodados en los lechos de los ríos para su uso en proyectos de carreteras y de urbanización del país sin que exista una cuantificación del volumen total de material extraído, lo que genera alteraciones morfológicas en los cauces de los ríos.

La actividad minera no metálica del país se centra, principalmente, en la producción de cemento, seguido de la explotación de agregados para la construcción obtenidos de la explotación de macizos rocosos, depósitos vulcano-sedimentarios y aluviales (canteras y graveras), la producción de sal marina y, en menor proporción, de caolín y de arcillas, siendo también destacable la industria de la cal viva que se produce artesanalmente (MARN, MOP, VMVDU, 2004).

En la Zona Hidrográfica Hlempa, destaca principalmente la extracción de arenisca y calizas en el municipio de Metapán.

4.4. VERIFICACIÓN DE LOS EFECTOS GENERADOS POR LAS PRINCIPALES CAUSAS DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA HIDROGRÁFICA I-RÍO LEMPA

Tal y como se ha comentado en el *Objetivo* del presente informe, de acuerdo a una solicitud del MARN de realizar una mejora a las Bases del Concurso en relación con la caracterización de las zonas prioritarias, en cuanto a



redistribución de puntos, puntos adicionales y parámetros a medir, se han producido retrasos en los trabajos de toma de muestra y determinación analítica del cauce receptor y vertidos, no imputables a la Consultora.

Así pues, la verificación de los efectos generados por las principales causas de contaminación de las aguas, se realiza por el momento sólo en base a la información disponible. Una vez estén los trabajos de campo realizados se entregarán como adjunto al presente Documento de Trabajo.

4.4.1. Verificación de los efectos generados por las fuentes de contaminación en la Zona Hidrográfica I

Tal y como se pone de manifiesto en el Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial (MARN, MOP, VMVDU, 2004), la acción contaminante del hombre sobre el recurso hídrico en El Salvador es muy significativa. Como consecuencia, la calidad de los ríos y aguas litorales es muy deficiente, hasta el punto de ser un riesgo para los ecosistemas y para la salud pública. A este respecto, y a la vista de los datos bibliográficos, se puede concluir que hay una destacable contaminación bacteriológica en la mayor parte de la región hidrográfica, detectada a través de los niveles de coliformes fecales, que se sitúan en un gran número de muestras por encima o muy por encima del límite establecido por la OMS (1,000 NMP/100 ml), lo que indica que hay gran cantidad de vertidos de tipo ordinario y especial que se realizan a lo largo de la cuenca a las aguas superficiales sin una adecuada depuración, y mayoritariamente con una ausencia total de tratamiento. De hecho hay ciertas zonas en las que la contaminación es muy elevada debido a la concentración de gran cantidad de este tipo de vertidos; son las zonas que en los próximos párrafos se van a resumir.

Debido a estos vertidos también se ha registrado una contaminación orgánica, que se ha podido comprobar a través de los datos disponibles de DBO_5 , que con cierta frecuencia se sitúan muy por encima de 4 mg/l, límite a partir del cual podría asumirse que hay una afección de tipo antropogénico; también a través de los datos de DQO y de nitrógeno amoniacal, que aunque son menos frecuentes que la DBO_5 facilitan una interesante información adicional.

Estas cargas de materia orgánica van acompañadas con frecuencia por una desoxigenación de los principales cauces y lagos/embalses, que en ocasiones es de gran relevancia, rozando la anoxia. Resulta llamativa la desoxigenación registrada en el año 2011 a lo largo de toda la cuenca, en un año considerado hidrológicamente como húmedo, y que no va acompañado por un aumento significativo de otros parámetros, como la DBO_5 , la conductividad o los sólidos. Es por ello por lo que podría haberse producido cierta infravaloración de los datos, quizá debido a algún problema técnico con el sensor de oxígeno disuelto.

También hay elevadas concentraciones de fenoles a lo largo de la mayor parte de la cuenca, otro indicador de contaminación de tipo antropogénico, que en la mayoría de las estaciones supera en alguna de las campañas realizadas el límite establecido por EPA para aguas de consumo (3.5 mg/l). A este respecto, los valores observados por lo general podrían parecer incluso demasiado elevados y su presencia demasiado frecuente, por lo que sería recomendable realizar una revisión del procedimiento seguido en el laboratorio para descartar posibles contaminaciones cruzadas que estén generando falsos positivos.

Debido a los niveles de los parámetros anteriormente comentados, es totalmente desaconsejable el consumo por parte de la población de las aguas superficiales sin un tratamiento previo. También es desaconsejable el uso de las aguas para riego de cultivos que se consuman frescos, como es el caso de los productos hortícolas.

Por otra parte, en lo que respecta a las formas del nitrógeno y del fósforo, por lo general no se registran concentraciones elevadas de nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal, pero sí destacan las concentraciones de ortofosfatos, que con frecuencia se mantienen bastante por encima de los límites que recomienda la EPA a partir de

los cuales pueden hacerse evidentes problemas de eutrofización en los ríos y lagos (establecidos respectivamente en 0.050 y 0.025 mg P-PO₄/l). A este respecto, es posible que haya un componente de contaminación natural, ya que una parte del país es rica en andisoles, suelos derivados de cenizas volcánicas que presentan capacidad de fijación del fósforo, y que por tanto pueden devolver parte del mismo a las aguas superficiales. Sin embargo, no se dispone de suficientes datos para establecer si efectivamente hay un componente natural. Lo que sí ha podido comprobarse es que hay ciertas zonas en las que los niveles de ortofosfatos son muy elevados, debido a la contaminación de tipo ordinario y especial (detergentes mayoritariamente). La actividad agrícola que predomina en el país también puede estar aportando una cantidad importante de fosfatos a las aguas, con lo que es esperable que las concentraciones más habituales observadas, entre 0.1 y 0.5 mg P-PO₄/l, se deban a una combinación de orígenes natural y agrícola, que se vean agravadas por los aportes industriales y domésticos que se concentran en determinadas zonas.

También se detecta ciertos niveles de cobre a lo largo de la región hidrográfica, que aunque no resulta elevado para el consumo de aguas crudas tras un tratamiento convencional, ni para el riego, a la vista de los datos disponibles sí es superior con frecuencia a los límites a partir de los cuales, según EPA, podrían producirse efectos agudos o crónicos sobre los peces. A pesar de ello, es destacable que muchos de los datos medidos ascienden a 0.01 mg/l, por lo que resulta extraña una situación tan conservativa de los niveles de cobre a lo largo de la cuenca. Es probable que este valor sea en realidad el límite de detección de la técnica analítica, y no un valor en concreto, con lo que en realidad ese valor estaría indicando que hay ciertos niveles de cobre en el agua, pero que no han podido ser cuantificadas. Aunque los valores de cobre sean probablemente más bajos que lo que indican los resultados analíticos, sí es evidente que hay presencia de este metal a lo largo de la cuenca; es esperable que parte de este cobre pueda tener origen natural (zonas de interés minero y explotaciones mineras; fuentes epitermales aunque también puede estar aumentando vía antropogénica, lo que resulta más evidente en las zonas más contaminadas de la región.

En materia de conductividad, pH y sales, por lo general se detectan pocos problemas por valores extremos, por lo que habrá pocas afecciones sobre la vida piscícola y el riego. Puntualmente se han detectado valores muy ácidos o muy básicos, que podrían tratarse de un error de medición, ya que no se ven correlacionados con importantes desviaciones en otros parámetros como las sales o los sólidos totales disueltos.

En cuanto a los sólidos totales disueltos, la turbidez y el color, las zonas más contaminadas sí presentan importantes afecciones sobre estos parámetros, mientras en el resto de la cuenca se mantienen en valores bajos, entendiéndose por bajos el que no superan las recomendaciones y/o normas para riego, vida piscícola y aguas crudas que hayan de pasar por un tratamiento convencional. En algunas otras ocasiones, se ha observado valores muy levados de color aparente que sin embargo no se parecen corresponder con altos valores de TDS, DBO₅ o conductividad, con lo que es probable que este parámetro haya sido sobrevalorado en esas ocasiones.

A continuación se presenta un análisis más concreto a través de una zonificación de la gran Región Hidrográfica A - Lempa. En líneas generales, y coincidiendo con lo especificado en el Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial - PNODT (MARN, MOP, VMVDU, 2004), las zonas más contaminadas de la presente región corresponden a los ríos Acelhuate (drenaje de San Salvador), Sucio (drenaje del Valle de Zapotitán), Suquiapa (drenaje de Santa Ana) y Las Cañas (drenaje de Soyapango e Ilopango); adicionalmente en PNODT se indica que la Quebrada El Piro, afluente del río Acelhuate, recibe los drenajes de Santa Tecla. Como consecuencia, el tramo del río Lempa comprendido entre la desembocadura del río Suquiapa y el embalse Cerrón Grande podría ser la más contaminada del país, al recibir las aguas negras de los ríos Suquiapa, Sucio, Acelhuate y de su afluente Las Cañas.



En el caso concreto del tramo alto del Lempa, en Citalá éste presenta aguas relativamente bien oxigenadas y baja DBO_5 , aunque tiene niveles altos de coliformes fecales (entendiendo altos como aquellos valores por encima del límite recomendado por la OMS, de 1,000 NMP/100 ml, aunque no llegan a valores muy altos como los observados en otras zonas, en los que alcanzan millones de NMP/100 ml); también niveles altos de ortofosfatos, lo que está indicando que el río empieza su recorrido en el país parcialmente contaminado por vertidos de tipo doméstico y/o agropecuario desde el término de Citalá y probablemente desde aguas arriba en Honduras. Estas condiciones se mantienen a lo largo del río Lempa y los distintos tributarios, con algunas variaciones en los principales parámetros, hasta los ríos Suquiapa y Sucio (tributarios del Lempa), y Matalapa y Acelhuate (cuyos aportes son recibidos en la cola del embalse Cerrón Grande), que están fuertemente contaminados.

Volviendo al tramo alto, la contaminación se hace muy evidente en el río San José, aguas abajo del núcleo urbano de Metapán, habiendo presentado aguas próximas a la anoxia en determinados momentos, y muy altas concentraciones de DBO_5 , fenoles, fosfatos, nitrógeno amoniacal y coliformes fecales; también se ha detectado aluminio por encima del umbral recomendado por FAO. Dado que el río es tributario de la Laguna de Metapán esta contaminación parece estar afectando a la calidad de la laguna, que es integrante del sitio RAMSAR Complejo de Guija, y Área Natural Protegida en el Área de Conservación del Trifinio. Esto se debe a que hay cierta desoxigenación, coliformes fecales y fosfatos en cantidades altas, y muy altos niveles de fenoles y cobre, este último en ocasiones incluso por encima del valor recomendado por FAO para el riego en el agua, y también detectado por encima del Valor Objetivo establecido por la EDSAT (2009) en los sedimentos, aunque muy por debajo del valor de intervención, con lo que se descartan problemas de contaminación por este metal en dicho compartimento. A raíz del aporte de nutrientes, se han producido incluso invasiones de ciertas zonas de la laguna por parte del Jacinto de agua. Todas estas condiciones podrían afectar en mayor o menor medida a las comunidades de pesca que operan en la laguna, por lo que es muy conveniente un mantenimiento en el control de la evolución de la calidad de las aguas, y de otras presiones existentes en el ámbito de la laguna, como es la acumulación de desechos sólidos.

Hay también ciertos problemas de contaminación en el lago de Guija, otra de las Áreas Naturales Protegidas en el Área de Conservación del Trifinio, y también integrante del sitio RAMSAR Complejo de Guija, que también se deben monitorizar. Lo más destacable es su baja oxigenación en buena parte de la columna de agua, sobre todo a profundidades intermedias, en las que con frecuencia se dan situaciones de anoxia; y la presencia de aceites y grasas, cuyo origen sólo puede ser antropogénico. También las coliformes fecales que se presentan a niveles altos, y los fosfatos, que oscilan de altos a muy altos, y que podrían ser una fuente de afección a las comunidades pesqueras existentes en el lago. Además, se dispone de estudios biológicos que ponen de manifiesto un problema de eutrofización en el lago, ya que dominan poblaciones de algas clorofíceas y cianofíceas, habiendo manifestado estas últimas un desarrollo explosivo en 2006 (según los datos disponibles), por lo que es muy conveniente realizar seguimientos periódicos de las poblaciones algales. También se han producido invasiones por parte del Jacinto de agua. Esta situación se está debiendo, o por lo menos agravando, por los aportes que llegan desde los tributarios Angue, Ostúa y Cusmapa, que presentan muy altas coliformes, fenoles y en el caso del Ostúa, aguas parcialmente desoxigenadas en algunos momentos. También por la existencia de zonas de acumulación de desechos sólidos, y la presión que ejercen las actividades agropecuarias en el perímetro del lago.

Destaca también la presencia de metales en algunos casos en concentraciones muy elevadas en las aguas de estos tributarios; se dispone de datos de mercurio, cobre, níquel, plomo, cromo y zinc, que por lo general no superan los límites recomendados por instituciones como FAO para riego y por EPA para la vida piscícola. No es el caso de los cianuros, que sí superan el límite de EPA en el río Angue; del arsénico, que en el Ostúa supera los límites marcados

por EPA para la vida piscícola; del aluminio, hierro y en menor medida manganeso, que superan los límites de FAO en algunos momentos en el Ostúa, y de los que se han llegado a cuantificar concentraciones máximas de 22 mg/l y 70 mg/l en 2008, respectivamente, aguas arriba de la ciudad de Asunción Mita (CTPT, s/f), lo que suponen niveles muy elevados; también se cuantifican niveles muy elevados de hierro y en menor medida de manganeso, en el río Angue.

A la vista de esta presencia de metales, en el lago de Güija se han detectado niveles muy elevados de arsénico en los sedimentos, por encima del Valor de Intervención establecido por la EDSAT (2009), lo que pone de manifiesto un problema de contaminación. También hay ciertos niveles de mercurio, aunque no llegan a superar el Valor de Intervención. La presencia de todos estos metales puede deberse a aportes naturales debido a que se trata de una zona de interés minero; sin embargo en el caso del río Angue los niveles podrían también estar debiendo a la actividad minera de El Zapote.

Por último, se han realizado muestreos de plaguicidas en el lago (aldrín, DDT, diazinon, dieldrín, endosulfan, hetaclor hepóxido, heptacloro, lindano, malatión y paratión), confirmándose la ausencia de estos contaminantes, al menos en concentraciones detectables.

En lo que respecta a los distintos aportes al embalse Cerrón Grande, como se ha comentado anteriormente destaca la contaminación de los tributarios del Lempa Suquiapa (y su tributario Aranchacal) y Sucio por el oeste; los ríos Matalapa y Acelhuate por el suroeste, cuyos aportes son recibidos en la cola del embalse Cerrón Grande; así como la del río Tamulasco, que aporta al embalse por el noreste. El resto de aportes presentan una calidad mucho más moderada, y aunque no buena, no presenta valores tan extremos de los principales parámetros de calidad como los ríos comentados.

Por lo general estos ríos presentan importantes problemas de oxigenación, y muy altas concentraciones de DBO₅, coliformes fecales, color, TDS, turbidez, conductividad, fosfatos, cobre y fenoles. Todos ellos son claros indicadores de una importante afección de las aguas, debido a la fuerte presión que generan los cascos urbanos de Santa Ana (sobre el río Suquiapa), La Libertad (sobre el río Sucio), San Salvador (sobre los ríos Matalapa y Acelhuate), y Chalatenango (sobre el Tamulasco). A la vista de datos analíticos que se disponen de cierto número de industrias ubicadas mayoritariamente en Santa Ana y San Salvador, se ha podido comprobar que efectivamente se están realizando vertidos sin apenas depuración.

Todos estos problemas de calidad anteriormente comentados se pueden estar trasladando a los distritos de riego de Atiocoyo Norte y Sur y de Zapotitán, que realizan un aprovechamiento de las aguas del Suquiapa y del Sucio, respectivamente; además, se ha observado otros aportes de los que también se tiene constancia que están recibiendo vertidos de tipo ordinario y especial, como es el río Mojafleres en caso del distrito de riego de Atiocoyo Norte; también Zapotitán recibe otros pequeños aportes que deben estar recibiendo vertidos contaminados, a lo largo del perímetro del distrito. A este respecto, las concentraciones de coliformes fecales observadas desaconsejan totalmente el riego de aquellos cultivos que vayan a ser consumidos frescos sin una adecuada desinfección previa, por las altas probabilidades de contraer enfermedades gastrointestinales asociadas a la ingesta de estas bacterias. El riesgo puede estar siendo mayor en el río Sucio, ya que a lo largo del Suquiapa se ha observado cierta capacidad de autodepuración, llegando las aguas al distrito bastante mejor que en cabecera, aunque siguen siendo valores muy elevados.

Además, es importante tener en consideración la ubicación de la PTAR de las Pavas, de donde se abastece el Área Metropolitana de San Salvador, cuya toma se sitúa unos metros aguas arriba de la desembocadura del río Suquiapa



en el Lempa. Como se ha visto las aguas del Lempa en esa zona presenta una serie de afecciones, aunque la PTAR supone un tratamiento previo al consumo.

Los problemas de calidad de los ríos anteriormente comentados se están trasladando también al embalse de Cerrón Grande, que es un Área Natural identificada en el Área de Conservación Alto Lempa. Ello se pone de manifiesto a través de una importante desoxigenación en gran parte del embalse, con concentraciones de coliformes totales y fecales elevadas, amoníaco muy elevado, presencia de aceites y grasas, niveles de fosfatos altos-muy altos, y presencia de cadmio y cobre en ocasiones por encima de las recomendaciones de la EPA para la vida piscícola. Es evidente que estos problemas de calidad, también podrían suponer una importante afección sobre la actividad pesquera existente en el embalse, además de por su consumo directo por parte de la población sin ningún tipo de depuración previa, que incluya desinfección. Por otra parte, se descarta la ausencia de plaguicidas en concentraciones detectables en el embalse (aldrín, DDT, diazinon, dieldrín, endosulfan, hetaclor hepóxido, heptacloro, lindano, malatión y paratión).

En la misma Área de Conservación se ubica el embalse 5 de Noviembre, que también presenta alta desoxigenación e importantes variaciones a lo largo del embalse. La bocana Los Guillén y la bocana del río Sumpul están especialmente faltas de oxígeno. Por lo general, las coliformes totales y fecales vuelven a ser altas, y los fosfatos altos o muy altos; también hay alto nitrógeno total en determinados momentos, y se ha detectado presencia de endosulfán en el agua de ambas bocanas, aunque por debajo del límite máximo recomendado por la EPA. El origen de estos problemas de calidad debe estar mayoritariamente en los aportes desde Cerrón Grande, aunque el río Sumpul presenta una carga elevada de coliformes fecales, con lo que es otra de las fuentes de contaminación del embalse, procedente de los términos municipales ubicados aguas arriba.

Aguas abajo, nos encontramos con el embalse 15 de Septiembre, que además de recibir los aportes del río Lempa, recibe los del río Titihuapa por el oeste, que aunque presenta buena oxigenación y bajas concentraciones de DBO_5 y coliformes fecales, presenta altos niveles de fenoles, incluso por encima de la recomendación de la EPA para aguas crudas, y fosfatos altos a muy altos. El embalse también recibe los aportes del río Torola por el norte, que presenta coliformes altas sobre todo en Puente Torola, fosfatos de altos a muy altos, y color y fenoles muy elevados. Además presenta importantes variaciones en el ciclo del oxígeno y destacables desoxigenaciones en algunos momentos; se sospecha que parte de esta afección al ciclo del oxígeno puede estar debiendo a los aportes de los tributarios Champate y Carolina, que es muy probable que estén bastante desoxigenadas (no se dispone de datos de oxígeno disuelto en estos tributarios, pero los mayores problemas de oxigenación en el Torola se registran aguas abajo de los mismos). Estos tributarios también son fuente de concentraciones altas de coliformes totales y fecales, aunque sólo el Carolina aporta concentraciones moderadas de fosfatos (en los ríos Riachuelo y Champate son niveles muy inferiores, en ocasiones incluso inferiores a los límites recomendados por EPA para ríos). El río Sapo también aporta al Torola ciertas concentraciones de coliformes fecales, color, cobre y fenoles.

La afección del Torola sobre el Lempa se hace evidente al presentar aguas abajo de éste aguas parcialmente desoxigenadas y coliformes fecales elevadas. Aportes adicionales al embalse 15 de Septiembre se producen por el este, a través del río Tamarindo, que vuelve a presentar coliformes altos, fosfatos altos-muy altos y muy altos fenoles, aunque en este caso no se registran problemas de oxigenación.

En cuanto a la calidad del embalse 15 de Septiembre, destaca una vez más una importante desoxigenación, que según los datos disponibles, oscilan entre un 70 y un 30% de oxigenación, incluso en el agua turbinada; a pesar de estos inconvenientes, hay niveles bajos de coliformes fecales, por lo que al menos según los datos parece haber menor contaminación bacteriológica que en los sistemas lénticos situados aguas arriba, a pesar de situarse en el



tramo bajo del río Lempa. Esto sin duda beneficia a la actividad pesquera de la zona, aunque la oxigenación es un factor importante a tener en consideración. A pesar de ello, los datos disponibles de nitrógeno total en ocasiones son elevados según criterios del Ministerio de Medioambiente de Japón, y los fosfatos siguen siendo altos-muy altos, lo que indica una potencial situación de enriquecimiento trófico del embalse. También hay presencia de cobre. Se han realizado además muestreos de plaguicidas (aldrín, DDT, diazinón, dieldrín, endosulfan, hetaclor hepóxido, heptacloro, lindano, malatión y paratión), obteniéndose resultado negativo, es decir, ausencia de estos contaminantes.

Justo aguas abajo del embalse, el río Lempa presenta una calidad algo superior al resto del río, debido a la acción autodepurativa del embalse, y a que la estación (última disponible en el tramo bajo del Lempa) se sitúa muy próxima a la presa; de este modo descienden los niveles de fósforo de manera sustancial, y reducen los niveles de coliformes a niveles bajos; aun así una estación de CEL ubicada en las proximidades indica niveles más altos de fosfatos y coliformes, por lo que es posible que esta mejoría no tenga carácter continuado. A pesar de ello, sigue presentando fenoles muy elevados.

Inmediatamente, aguas abajo del embalse se encuentra el distrito de Riego de Acahuapa, que recibe las aguas del Lempa, del Acahuapa y del San Simón. En cuanto al Acahuapa, se registran unas condiciones relativamente homogéneas de aguas arriba a aguas abajo, y similares a otros ríos anteriormente comentados: cierta desoxigenación en determinados momentos, valores altos de coliformes fecales, fosfatos altos muy altos y fenoles muy altos, además de elevados niveles de plomo y cobre. En cuanto al San Simón, presenta condiciones similares, aunque no se detecta plomo.

No se dispone de datos de calidad en la zona de la desembocadura del Lempa, pero a la vista de la calidad aguas arriba, en el río Acahuapa, es esperable que los niveles observados sigan siendo elevados en la misma. Además, otros estudios específicos realizados en el ámbito del Estero de Jaltepeque (y que se exponen en el apartado de Calidad de Aguas de la Región Hidrográfica Fjiboa-Estero de Jaltepeque), ponen de manifiesto que el río Lempa tiene una influencia probada sobre el Área de Conservación Jaltepeque-Bajo Lempa, en la que se enmarca el citado Estero, con lo que la calidad del Lempa en la desembocadura es de gran importancia.



4.5. DESCRIPCIÓN DE LAS REDES DE CONTROL DE MARN (DGOA) EN LA ZONA HIDROGRÁFICA II-PAZ JALTEPEQUE

El MARN cuenta con una red nacional de sitios de muestreo, de la que se dispone información detallada a través de los informes de calidad de aguas de los ríos de El Salvador, editados por dicha institución para los muestreos realizados a los largo de los años 2009 (MARN-SNET, 2010), 2010 (MARN-DGOA, 2011) y 2011 (MARN-DGOA, 2012). También se dispone de datos analíticos recabados en los años 2006 y 2007.

En este marco, se dispone de información de un total de 4 grandes monitoreos realizados por el MARN a nivel estatal, distribuidos en los siguientes periodos:

- 114 sitios entre noviembre de 2006 y marzo del 2007.
- 124 sitios del 12 de marzo al 19 de junio del 2009.
- 124 sitios entre abril y julio del año 2010.
- 123 sitios del 26 de abril al 17 de julio de 2011.

En la Tabla 16 se relacionan los sitios de muestreo ubicados en la Zona Hidrográfica II – Paz Jaltepeque, que son un total de 45 (MARN-DGOA, 2012):

Tabla 16: Sitios de muestreo en el cuerpo receptor, pertenecientes a la Red de control de la calidad de aguas de los ríos de El Salvador, de la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la Zona Hidrográfica II – Paz Jaltepeque, para el periodo 2006-2011 (MARN-DGOA, 2012).

Nº	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN	REGIÓN HIDROGRÁFICA
1	B-01-RPAZ	Río Paz, cantón y crío. El Portillo, Ahuachapán	Paz
2	B-02-RPAZ	Río Paz, aguas debajo de estación hidrométrica, el Jobo, Ahuachapán	Paz
3	B-03-RPAZ	Río Paz, Hacienda Los Mangos, La Rodríguez, Ahuachapán	Paz
4	B-04-RPAZ	Río Paz, 200 mts aguas abajo del Puente la Rodríguez, Ahuachapán	Paz
5	C-01-GUAYA	Río Guayapa, cantón Loma de Guayapa, Ahuachapán	Cara Sucia-San Pedro
6	C-01-NARAN	Río El Naranjo, caserío El Tigre, aguas arriba de San José Naranjos, Ahuachapán	Cara Sucia-San Pedro
7	C-01-ROSAR	Río El Rosario, aguas arriba de caserío California, Ahuachapán	Cara Sucia-San Pedro
8	C-01-SUCIA	Río Cara Sucia, Los Encuentros, Ahuachapán	Cara Sucia-San Pedro
9	C-02-GUAYA	Río Guayapa, Hacienda Santa Catarina, Ahuachapán	Cara Sucia-San Pedro
10	C-02-NARAN	Río El Naranjo, cantón Capulín, calle a San José Naranjos, Ahuachapán	Cara Sucia-San Pedro
11	C-02-ROSAR	Río El Rosario, aguas debajo de puente carretera litoral, Ahuachapán	Cara Sucia-San Pedro



Nº	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN	REGIÓN HIDROGRÁFICA
12	C-02-SUCIA	Río Cara Sucia, cantón El Corozal, Ahuachapán	Cara Sucia-San Pedro
13	C-03-SUCIA	Río Cara Sucia, aguas debajo de puente litoral, Garita Palmera, Ahuachapán	Cara Sucia-San Pedro
14	D-01-CENIZ	Río Ceniza, 50 mts aguas abajo del puente calle a CEGA Izalco	Grande de Sonsonate-Banderas
15	D-01-GRAND	Río Grande de Sonsonate, costado oriente de Beneficio Tres Ríos	Grande de Sonsonate-Banderas
16	D-02-CENIZ	Río Ceniza, 50mts aguas arriba de puente de carretera de San Salvador a Acajutla	Grande de Sonsonate-Banderas
17	D-02-GRAND	Río Grande de Sonsonate, aguas arriba del puente calle a Nahuizalco, Sonzacate	Grande de Sonsonate-Banderas
18	D-03-CENIZ	Río Ceniza, Hacienda la Ilusión, Sonsonate	Grande de Sonsonate-Banderas
19	D-03-GRAND	Río Grande de Sonsonate, carretera a Acajutla a altura de Hda. Santa Clara	Grande de Sonsonate-Banderas
20	D-04-CENIZ	Río Ceniza, 200 mts aguas debajo de estación hidrométrica, cantón Santa Beatriz, Sonsonate	Grande de Sonsonate-Banderas
21	D-04-GRAND	Río Grande de Sonsonate, 200mts aguas debajo de estación de ferrocarril antigua	Grande de Sonsonate-Banderas
22	E-01-ANTON	Río San Antonio, calle a San José Villa Nueva, Colonia Santa María, La Libertad	Mandinga-Comalapa
23	E-01-APANC	Río Apancoyo, 5km aguas arriba de carretera litoral, Sonsonate	Mandinga-Comalapa
24	E-01-CHILAM	Río Chilama, cantón Tres Palmas, Zaragoza, La Libertad	Mandinga-Comalapa
25	E-01-COMAL	Río Comalapa, cantón los planes, La Paz	Mandinga-Comalapa
26	E-01-COMAS	Río Rodríguez, puente Rodríguez, calle litoral, La Libertad	Mandinga-Comalapa
27	E-01-MIZAT	Río Mizata, caserío el Rión, 5 km aguas arriba de puente litoral, La Libertad	Mandinga-Comalapa
28	E-01-RJUTE	Río El Jute, caserío El Jute, Cantón Cimarrón, La Libertad	Mandinga-Comalapa
29	E-01-ZUNZA	Río Zunzal, puente autopista litoral, La Libertad	Mandinga-Comalapa



N°	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN	REGIÓN HIDROGRÁFICA
30	E-02-ANTON	Río San Antonio, sobre puente litoral, La Libertad	Mandinga-Comalapa
31	E-02-APANC	Río Apancoyo, carretera litoral, Sonsonate	Mandinga-Comalapa
32	E-02-CHILAM	Río Chilama, puente Chilama, La Libertad	Mandinga-Comalapa
33	E-02-COMAL	Río Comalapa, sobre puente, calle hacia Cantón El Rosario, La Paz	Mandinga-Comalapa
34	E-02-MIZAT	Río Mizata, puente carretera litoral, La Libertad	Mandinga-Comalapa
35	E-03-COMAL	Río Comalapa, cantón San Bonbera, La Paz	Mandinga-Comalapa
36	F-01-ANTON	Río San Antonio, puente carretera a Usulután, límite entre San Vicente y La Paz	Jiboa-Estero de Jaltepeque
37	F-01-GUAYA	Río El Guayabo, caserío Barrio Nuevo, La Paz	Jiboa-Estero de Jaltepeque
38	F-01-JALPO	Río Jalponga, aguas arriba de Santiago Nonualco, caserío San Sebastián, La Paz	Jiboa-Estero de Jaltepeque
39	F-01-JIBOA	Río Jiboa, cantón y crío. Los Rodríguez, San Vicente	Jiboa-Estero de Jaltepeque
40	F-02-JALPO	Río Jalponga, cantón Concepción Jalponga, La Paz	Jiboa-Estero de Jaltepeque
41	F-02-JIBOA	Río Jiboa, cantón y crío. San Antonio, Cuscatlán	Jiboa-Estero de Jaltepeque
42	F-03-JALPO	Río Jalponga, sobre puente carretera litoral, La Paz	Jiboa-Estero de Jaltepeque
43	F-03-JIBOA	Río Jiboa, cantón y crío. Los zacatales, La Paz	Jiboa-Estero de Jaltepeque
44	F-04-JIBOA	Río Jiboa, cantón y crío. Santa Rita, La Paz	Jiboa-Estero de Jaltepeque
45	F-05-JIBOA	Río Jiboa, cantón y crío. odríg, municipio El Rosario, La Paz	Jiboa-Estero de Jaltepeque

En la Figura 26 se muestra su distribución a lo largo de la Zona Hidrográfica II:



Figura 26. Sitios de muestreo en el cuerpo receptor, pertenecientes a la Red de control de la calidad de aguas de los ríos de El Salvador, de la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la Zona Hidrográfica II – Paz Jaltepeque, para el periodo 2006-2011.

Los parámetros analizados en el marco de estos trabajos han sido los que se enumeran en la Tabla 17, con indicación de las unidades de los datos de origen, y de si los criterios de valoración empleados en el presente documento de diagnóstico, en función del uso y de la normativa vigente a nivel estatal y/o internacional, según el caso:

Tabla 17: Parámetros analizados por la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la Zona Hidrográfica II – Paz Jaltepeque, para el periodo 2006-2011. Se indican los criterios de valoración empleados en el presente documento de diagnóstico, en función del uso y de la normativa vigente a nivel estatal y/o internacional.

PARÁMETRO	UNIDAD	AGUAS CRUDAS	IRRIGACIÓN	PROPAGACIÓN PISCÍCOLA	CONTACTO RECREATIVO DIRECTO
Boro	mg/l	-	D 51; FAO, 1986	-	-
Cloruros	mg/l	D 51	D 51; FAO, 1986	-	-



PARÁMETRO	UNIDAD	AGUAS CRUDAS	IRRIGACIÓN	PROPAGACIÓN PISCÍCOLA	CONTACTO RECREATIVO DIRECTO
Cobre	mg/l	CONACYT NSO 13.07.01:08	FAO, 1986	EPA, 2006	-
Coliformes fecales	NMP/100 ml	OMS	-	-	OMS
Color Aparente	Unidades	D 51	-	-	-
Conductividad	µS/cm	D. Supremo 002-2008-MINAM Perú	D 51; FAO, 1986	D 51	-
DBO ₅	mg/l	D 51	-	Ministerio de Medio Ambiente de Japón	D. Supremo 002-2008-MINAM Perú
Fenoles	mg/l	D 51; EPA, 2006	-	-	-
Nitratos	mg N-NO ₃ -/L	CONACYT NSO 13.07.01:08	FAO, 1986	-	D. Supremo 002-2008-MINAM Perú
Oxígeno Disuelto	mg/L	D 51	-	D 51	-
PH	Ud. de pH	D 51	FAO, 1986	D 51	Norma OPS y OMS
RAS	adim	-	D 51	-	-
Sodio	meq/l	-	D 51; FAO, 1986	-	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	PHS Drinking Water Standard, 1962; EPA, 1986.	FAO, 1986	EPA, 1986	-
Sulfatos	meq/l	-	D 51; FAO, 1986	-	-
Turbidez	UNT	D 51	-	-	OMS
Zinc	mg/L	CONACYT NSO 13.07.01:08	FAO, 1986	EPA, 2006	-

De manera adicional a estos datos, se dispone de un informe de Diagnóstico Nacional de la Calidad Sanitaria de las Aguas Superficiales de El Salvador, realizado de nuevo por el MARN entre abril y junio de 2007 (Armida, 2007), en el marco del Programa de Contaminación de Áreas Críticas. En este diagnóstico, el MARN ha desarrollado trabajos de monitoreo en la mayor parte de las estaciones anteriormente enumeradas, en concreto en 114 sitios a nivel nacional. Las estaciones estudiadas en la Zona Hidrográfica II – Paz Jaltepeque son las mismas que las 45 estudiadas en el periodo 2006 a 2011 anteriormente comentado.

Además, en el Diagnóstico de 2007 se realiza un estudio de sedimentos en 10 estaciones, 1 de ellas en la presente Zona Hidrográfica: estación D-03-GRAND (Río Grande de Sonsonate, carretera a Acajutla a altura de Hda Santa Clara), en la Región Hidrográfica H-Grande de Sonsonate-Banderas. En esta estación se ha estudiado las

concentraciones de los metales arsénico, mercurio, cromo y plomo (en mg/kg de peso seco de sedimento). Estas concentraciones serán comparadas en el presente documento con los valores objetivo y de intervención especificados por la normativa holandesa, así como con los valores ERL (effects range-low) y EMR (effects range median) especificados por Long et al. (1998).

4.6. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA RED DE MARN (DGOA) Y ESTUDIOS ESPECÍFICOS EN ZONA HIDROGRÁFICA II-PAZ JALTEPEQUE

4.6.1. Análisis de los resultados de la Red de control de la calidad de las aguas superficiales

4.6.1.1. Análisis paramétrico de los datos en función del uso

A la vista de los datos disponibles, puede concluirse que hay ciertos parámetros que no cumplen con los criterios de calidad especificados en función del uso, según las normas nacionales e internacionales analizadas, por lo que las aguas presentan por lo general ciertas limitaciones de uso.- A continuación se presenta un análisis general de los principales incumplimientos detectados en la Zona Hidrográfica II – Paz-Jaltepeque.

- En cuanto a la aptitud del Agua Cruda para potabilizar por métodos convencionales, según se especifica en las normas de calidad deseables para dicho uso en el Decreto 51:
 - Apenas un 4% de las muestras analizadas por el MARN presentan una desoxigenación destacable de las aguas, en las que los niveles de oxígeno disuelto en el agua se mantienen por debajo del límite inferior establecido en el Decreto 51, fijado en 4 mg/l. Estos problemas de oxigenación se han observado en las estaciones C-02-ROSAR y D-03-CENIZ (4 mg/l), D-03-GRA (3.8 mg/l), F-01-GUAYA (3.2 mg/l), y F-02-JALPO (3.7 mg/l), todas ellas en 2011, entre otras. Por otra parte, en un 65% de los casos, las concentraciones se sitúan por encima de los 6.5 mg/l establecidos como límite superior por el Decreto 51 para este uso, aunque siempre que no alcancen niveles de sobresaturación, a efectos de la calidad de las aguas general se interpreta como un dato positivo. Apenas se observa problemas de sobresaturación, salvo con carácter muy puntual, como es el caso de la estación C-02-ROSAR en 2010 (10.1 mg/l).
 - En cuanto al pH, apenas el 0.5% de las muestras presentan valores por debajo de 6.5 unidades, y en todos los casos se mantiene por debajo de 9.2 unidades, por lo que se descarta la existencia de aguas ácidas o excesivamente básicas, al menos en los momentos en los que se han realizado los muestreos. Con ello las aguas son aptas para este uso en lo que respecta al pH. El mínimo se observa en D-02-CENIZ en 2009, momento en que se rondan 5.7 ud de pH.
 - En el 77% de los muestreos tomadas en la Zona Hidrográfica II se ha registrado bajos niveles de cloruros, por debajo de 50 mg/l, y sólo en un 1.4% de los casos se mantiene por encima de 250 mg/l, límite superior que no debe superarse para dicho uso. Es por ello por lo que se entiende que este parámetro no está suponiendo una limitación para el uso en cuestión.
 - En cuanto a la contaminación orgánica, que puede estimarse a partir de las concentraciones de **DBO₅**, es de destacar que con relativa frecuencia (alrededor del 19% de las muestras analizadas) se observan valores altos de este parámetro, por encima de 4 mg/l establecido como límite superior para potabilización por métodos convencionales, por lo que este parámetro sí está suponiendo una limitación para el presente uso. Estos valores son especialmente altos en algunas estaciones como D-



04-GRA y D-02-CENIZ en 2009, donde se superan los 80 mg/l. Sin embargo, aproximadamente en un 58% de las muestras se presentan concentraciones inferiores a 3 mg/l, establecido como límite inferior, aunque a efectos de la calidad del agua, siempre es preferible que las concentraciones sean bajas, aún fuera del rango recomendado.

- o En el 10% de las muestras el **color aparente** supera el límite superior especificado por el Decreto 51 para este uso, fijado en 150 unidades, con lo que de nuevo las aguas presentan ciertas limitaciones para la potabilización con métodos convencionales. De hecho en buena parte de estas muestras, los valores son muy superiores, rondando los máximos las 7,000 unidades en F-04-JIBOA y F-03-JIBOA en 2010, que si se eliminan del cómputo de datos, facilita una rebaja del valor promedio de 900 a 286 unidades, valor mucho más moderado que en las estaciones anteriormente comentadas. Por otra parte, un 14% de las muestras presenta color aparente por debajo del límite inferior recomendado por el Decreto 51 (establecido en 20 unidades).
- o A pesar de la coloración del agua, se puede concluir que las aguas no son turbias, ya que sólo en el 1% de las muestras los valores superan los 250 NTU establecidos como límite superior. De hecho, en el 39% de las muestras analizadas, la turbidez está por debajo del límite inferior establecido en 10 NTU, lo que a pesar de estar fuera del rango establecido por el Decreto 51, se interpreta como positivo.
- o En cuanto a los **fenoles**, se destaca que el 89% de las muestras presenta concentraciones superiores a 0.005 mg/l, que es el límite superior establecido en el Decreto 51, aunque sólo el 10% del total supera el límite establecido por EPA (EPA, 1986), fijado en 3.5 mg/l. El máximo se registra en varias estaciones y momentos temporales, siendo próximo a 44.5 mg/l.
- o Adicionalmente a los parámetros contemplados en el Decreto 51, resulta de elevado interés analizar el contenido de **coliformes fecales**, ya que es un indicador fundamental de la contaminación orgánica de origen humano, contaminación que no se debe presentar en el agua que vaya a ser destinada a un tratamiento convencional para su posterior consumo humano, tal y como establece la OMS. En este caso, es muy destacable que casi el 83% de las muestras presentan concentraciones de coliformes fecales por encima del límite comentado, establecido en 1,000 NMP/100 ml. De hecho, el valor promedio para las muestras en las que los niveles son superiores, es de 202,466 NMP/100 ml, con lo que queda patente un problema generalizado de contaminación por aguas fecales en buena parte de la Región Hidrográfica. Las concentraciones más elevadas se registran en D04GRA en 2009, en la que se alcanzan 24,000,000 NMP/100 ml. Si se elimina este dato del cómputo total, el valor promedio aun así se mantiene en 65,000 NMP/100 ml.
- o También resultaría de interés las concentraciones de sólidos totales disueltos, que según indica la EPA (EPA, 1986), deben mantenerse por debajo de 500 mg/l. Este es el caso en el 97% de las muestras, por lo que salvo casos puntuales, las aguas serían aptas en función de este parámetro. El máximo alcanza 780 mg/l.
- o También pueden asumirse criterios establecidos por la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, para el caso del cobre y el zinc, ya que bajo un tratamiento convencional las concentraciones de este parámetro no se verían reducidas. En este caso, el 100% de las muestras se mantienen por debajo de los valores umbrales fijados por esta norma, establecidos en 1.3 y

5 mg/l, respectivamente. Este también es el caso de los nitratos, que en el 100% de las muestras se mantienen por debajo de los 50 mg NO₃/l establecidos como límite máximo permisible.

- o Y parámetros como la conductividad, que en virtud del D. Supremo 0022008MINAM Perú (para la Categoría A2 – Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional), y de la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:99 deben mantenerse por debajo de 1,600 μ S/cm. Este es el caso del 100% de las muestras. En el D. Supremo 0022008MINAM Perú, también se fija un límite para el nitrógeno amoniacal, establecido en 2 mg N-NH₄/L, que se supera en el 4.5% de las muestras.
- En cuanto a la aptitud del agua para el riego:
 - o En lo que respecta a la conductividad, todas las muestras presentan valores por debajo de 750 μ S/cm, límite superior fijado por el Decreto 51 para el presente uso. Por otra parte, el 54% de las muestras presentan valores bajos, por debajo de 250 μ S/cm, fijado como límite inferior del rango de calidad deseable. Los mínimos rondan los 95 μ S/cm, y ha sido registrado en C-01-NARAN en 2010.
 - o En cuanto al **pH**, apenas el 6% de las muestras superan las 8.4 unidades establecidas como límite superior, y otro 1% se sitúa por debajo del límite inferior establecido en 6.5 unidades, ambos en el Decreto 51 para el presente uso. Además, los valores extremos no son muy bajos ni muy altos siendo iguales a 5.7 y 8.7 unidades, respectivamente. Esto supone un cumplimiento generalizado de este criterio de valoración de la aptitud de las aguas en lo que se refiere a este parámetro.
 - o El 100% de las muestras presentan concentraciones de boro aptas para el riego, ya que en todos los casos se sitúan por debajo de 2 mg/l, y sólo en un 2% de los casos por debajo de 0.5 mg/l, rango de calidad deseable según el Decreto 51.
 - o En cuanto al contenido de **sodio**, el 55% de las muestras presentan valores bajos por debajo de 30 meq/l, aunque apenas hay incumplimientos del límite superior, establecido en 60 meq/l por el Decreto 51 (en el 4% de las muestras), superándolo además en muy pocas unidades.
 - o En relación con las sales, el RAS no presenta valores por encima de 10. Tampoco los cloruros se presentan por encima de 5.5 meq/l, salvo en el 1.4% de los casos, por lo que ambos se presentan en el rango de las normas de calidad deseables para el agua de riego. Es también el caso de los sulfatos, que no superan los 4.1 meq/l establecidos por el Decreto 51.
 - o Otros parámetros establecidos de interés para evitar toxicidad en las plantas (FAO, 1985), son el cobre, el arsénico, el cromo, el plomo y el zinc. En todos los casos las concentraciones de cromo, plomo y zinc se mantienen por debajo de los valores recomendados, establecidos en 0.2, 0.1, 5 y 2 mg/l, respectivamente. En el caso del arsénico, sólo en el río Jiboa se supera el objetivo de calidad, establecido en 0.1 mg/l, aunque con concentraciones muy próximas a dicho límite (0.13 mg/l), por lo que son valores moderados.
 - o También resulta de interés las bajas concentraciones de sólidos disueltos totales, según esta fuente de información el límite a partir del cual podrían haber complicaciones se establece en 3,000 mg/l, pero como se ha visto en la valoración de la aptitud del uso para consumo humano tras tratamiento convencional, las concentraciones son muy inferiores.

- o Y las concentraciones de nitratos, que deben mantenerse por debajo de 10 mg N-NO₃/l (FAO, 1985). Este es el caso del 98% de las muestras, por lo que los contenidos de nitratos serían adecuados.
- o Por otra parte, tal y como se ha visto con anterioridad, casi el 83% de las muestras presentan concentraciones de coliformes fecales por encima del límite comentado, establecido en 1,000 NMP/100 ml. Es importante tener en consideración que los coliformes fecales son un indicador fundamental de la contaminación orgánica de origen humano, contaminación que no se debe presentar en el agua que vaya a ser destinada a riego, tal y como establece la OMS; de hecho, la OMS establece como límite para este uso de 1,000 NMP/100 ml de coliformes totales. A la vista de los resultados analíticos disponibles de coliformes fecales, es esperable que las coliformes totales sean muy superiores a las fecales, y por tanto muy superiores también al límite establecido por OMS, motivo por el que las aguas no serían adecuadas para el riego, sobre todo de aquellos cultivos no leñosos que se vayan a consumir frescos, por el mayor riesgo de intoxicación que su consumo conllevaría.
- En cuanto a la aptitud del agua para la propagación piscícola:
 - o En lo que respecta a la **oxigenación de las aguas**, un 14% de las muestras presenta concentraciones por debajo de 7 mg/l establecidos por la OMS para este tipo de usos. El valor promedio de aquellos datos por debajo de este umbral se sitúa en 4.2 mg/l, siendo los valores mínimos próximos a 2.6 mg/l, fuertemente desoxigenados. Es el caso de la estación D-04-GRA en 2009.
 - o Siguiendo con la físico-química básica, un 9.5% de las muestras presentan valores de **conductividad** por encima de 500 μ S/cm, límite superior fijado por el Decreto 51 para la propagación piscícola, siendo el valor promedio en incumplimiento próximo a 780 μ S/cm. En materia de mínimos, el 12% de las muestras presentan valores por debajo de 150 μ S/cm, fijado como límite inferior del rango de calidad deseable.
 - o En cuanto al **pH**, como ya se ha comentado anteriormente no se registran valores extremos. En este caso, sólo el 2.4% de las muestras superan las 8.6 unidades establecidas como límite superior, y otro 1% se sitúa por debajo del límite inferior, establecido en 6.5 unidades, ambos en el Decreto 51 para el presente uso.
 - o Además de los criterios establecidos por el Decreto 51, se estima que son de gran interés algunos parámetros contemplados por EPA en su documento National Water Criteria (2006), como es el caso de las concentraciones de sólidos totales disueltos y metales como el cobre, el mercurio, el plomo y el zinc:
 - o En lo que respecta a los sólidos totales disueltos, se produce un cumplimiento del 100%, dado que el umbral especificado por EPA en 10,000 mg/l es mucho más elevado que en el resto de usos.
 - o En cuanto a los metales, las concentraciones medidas en cuanto al zinc y el mercurio se sitúan en el 100% de los casos por debajo de los límites máximos para que aparezcan efectos agudos, fijados en 0.12 y 0.014 mg/l, respectivamente. En el caso del plomo, en el 99.5% de los casos están por debajo de 0.065 mg/l, límite máximo para que aparezcan efectos agudos. Sin embargo, sí se detectan concentraciones de **cobre** por

encima del límite a partir del cual pueden aparecer efectos agudos (0.002337 mg/l), en concreto en el 24% de las muestras, igualmente, el 24% se manifiestan por encima del límite a partir del cual pueden aparecer efectos crónicos (0.001452 mg/l). A pesar de ello, es muy probable que este parámetro tenga un origen natural, aspecto que se aclara con un análisis en profundidad de toda la información disponible.

- o En cuanto a la contaminación orgánica, alrededor del 23% de las muestras analizadas presentan concentraciones de **DBO₅** por encima de 3 mg/l, establecido por el Ministerio de Medio Ambiente de Japón, para uso industrial, agrícola y pesca en su documento Environmental Quality Standards for Water Pollution, como límite superior. Ya se ha expuesto con anterioridad que los valores son especialmente altos en algunas estaciones como D-04-GRA y D-02-CENIZ en 2009, donde se superan los 80 mg/l.
- Por último, se analiza a continuación la aptitud del agua para su uso recreativo por contacto directo:
 - o En lo que respecta a la **oxigenación de las aguas**, un 8% de las muestras presentan concentraciones por debajo de 7 mg/l establecidos por la OMS para este tipo de usos. El valor promedio de aquellos datos por debajo de este umbral se sitúa en 6.2 mg/l, siendo los valores mínimos próximos a 5.4 mg/l, por lo que se manifiestan parcialmente desoxigenados.
 - o En cuanto al pH, como ya se ha comentado anteriormente apenas se registran valores extremos. En este caso, el 100% de las muestras presentan un pH entre 5 y 9 unidades establecidas como rango recomendado por la OMS.
 - o En lo que respecta a la **turbidez**, en el 35% de las muestras analizadas se presentan valores por encima del límite superior establecido por la OMS, de 10 NTU, por lo que debe tomarse precauciones en caso de su uso recreativo, por baja visibilidad.
 - o Además de estas limitaciones, es de gran importancia recordar que las aguas presentan altas concentraciones de **coliformes fecales**, muy por encima de los 1,000 NMP/100 ml establecidos por la OMS como límite recomendable. Se vuelve a incidir en el hecho que el 83% de las muestras presentan concentraciones mayores, en algunos casos en varios órdenes de magnitud, por lo que es este parámetro el que más limitaciones supone sobre la aptitud del agua para el uso recreativo por contacto directo.
 - o Otros parámetros relacionados con la contaminación de las aguas son la DBO₅ y los nitratos. En ambos casos el D. Supremo 0022008MINAM Perú establece un límite superior que no debe superarse para este tipo de usos, que se fijan en 5 mg/l y 10 mg N-NO₃/l, respectivamente. En estos casos, el 11% de las muestras mostraron DBO₅ superiores al límite, mientras el 0% lo superaron en el caso de los nitratos.

4.6.1.2. Principales observaciones a la representatividad de los datos

A continuación se muestra un análisis detallado de la representatividad de los datos disponibles a partir de la red de monitoreo de MARN (DGOA) en la Zona Hidrográfica II – Paz-Jaltepeque.

En primer lugar, a la vista de las elevadas concentraciones de coliformes fecales registradas en algunas estaciones, podría ser esperable valores más elevados de DBO₅ a lo largo de las distintas regiones hidrográficas, al menos en



estos momentos de máximos de coliformes fecales, ya que son parámetros que suelen aumentar conjuntamente; del mismo modo que sería esperable que con el aumento de ambos se produzca un descenso del oxígeno. Sin embargo, las concentraciones de DBO_5 se mantienen bajas, y las de oxígeno disuelto en un rango adecuado a pesar de las concentraciones de coliformes fecales elevadas registradas en las estaciones siguientes: en la Región Hidrográfica C-Cara Sucia-San Pedro en las estaciones C-02-GUAYA en 2006-2007, C-01-NARAN en 2009 y C-02-NARAN en 2010; en la Región Hidrográfica D-Grande de Sonsonate-Banderas en la estación D-04-GRAND en 2007; en la Región Hidrográfica E-Mandinga-Comalapa en la estación E-02-COMAL en 2011; en la Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque en F-02-JALPO en 2007 y en F-01-ANTON en 2010.

Resulta llamativa también la desoxigenación registrada en el año 2011 a lo largo de las distintas regiones hidrográficas, siendo dicho año considerado hidrológicamente húmedo, y observándose que a la vista de otros datos de calidad disponibles, este descenso generalizado no va acompañado por un aumento significativo de otros parámetros, como la DBO_5 , la conductividad o los sólidos. Es por ello por lo que podría pensarse en que se haya producido algún problema técnico con el sensor de oxígeno disuelto en dicha campaña de muestreos, aunque con la información que se tiene disponible no se puede corroborar.

En relación con todo lo anterior, resulta destacable los altos valores de concentración de fenoles observados a lo largo de las distintas regiones hidrográficas, y la alta frecuencia de muestras donde se registran altos valores. A este respecto, en zonas con alta contaminación de origen doméstico e industrial es posible detectarse esos niveles en el agua, pero resulta llamativa la frecuencia con la que éstos se presentan. Sería por tanto recomendable realizar una revisión del procedimiento seguido en el laboratorio para descartar posibles contaminaciones cruzadas que estén generando falsos positivos durante las determinaciones, ya que quizá éste podría ser, al menos en algunas ocasiones, los motivos por el que se cuantifiquen valores tan altos a lo largo de toda la cuenca del Lempa y tributarios.

En lo que respecta a los metales, y en concreto en el caso del cobre, es destacable que muchos de los datos medidos ascienden a 0.01 mg/l. El mantenimiento de unos niveles tan conservativos de este metal en las aguas a lo largo de la mayor parte de la cuenca es un hecho que resulta extraño. Tal y como se ha expuesto anteriormente en la Zona Hidrográfica I-Lempa, es probable que este valor sea en realidad el límite de detección de la técnica analítica, y no un valor en concreto, con lo que en realidad ese valor estaría indicando que hay ciertos niveles de cobre en el agua, pero que no han podido ser cuantificadas (<0.01 mg/l, y no = 0.01 mg/l). Con ello los niveles de cobre serían más bajos de lo que aparenta a la vista de los resultados, con lo que las posibles afecciones sobre la vida acuática que se pudieran estar produciendo (como se verá en los siguientes apartados), no se estarían produciendo con carácter general, sino en situaciones puntuales, coincidiendo con los máximos de contaminación registrados en la cuenca. Aunque los valores de cobre sean probablemente más bajos que lo que indican los resultados analíticos, sí es evidente que hay presencia de este metal a lo largo de la cuenca; es esperable que parte de este cobre pueda tener origen natural (zonas de interés minero; fuentes epitermales), aunque también puede estar aumentando vía antropogénica, lo que resulta más evidente en las zonas más contaminadas de la región.

En la Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque se ha observado cierta falta de correlación entre las concentraciones de sólidos totales disueltos y color, ya que en las estaciones F-03-JIBOA y F-04-JIBOA en el año 2010 se han observado valores extremadamente elevados de color aparente que no se ve correspondido por valores muy elevados de TDS; sería esperable que éstos últimos fueran más altos a la vista de los valores de color aparente.

4.6.1.3. Análisis espacio temporal de la calidad de las aguas

Una vez presentada una síntesis general de la aptitud de las aguas en función del uso, a continuación se facilita un análisis detallado del comportamiento de los distintos parámetros que definen la calidad de las aguas, a lo largo de la Zona Hidrográfica II, dividiéndola por Región Hidrográfica: Paz, Cara Sucia-San Pedro, Grande de Sonsonate-Banderas, Mandinga-Comalapa y Jiboa-Estero de Jaltepeque. Los principales parámetros que definen la calidad del agua son los siguientes, cuyas dinámica espacio-temporales se muestra en los **planos del Anexo II. Planos de calidad de las aguas, acápite II.2. Calidad de las aguas superficiales en la Zona Hidrográfica II – Paz-Jaltepeque:** contaminación orgánica (DBO_5 y oxígeno disuelto) y microbiológica (coliformes fecales); formas del nitrógeno y del fósforo (nitratos, nitrógeno amoniacal y fosfatos); acidez (pH) y temperatura; sólidos en el agua (sólidos totales disueltos, turbiedad y color aparente); conductividad y sales (cloruros, sodio, RAS, sulfatos y boro); metales (cobre, mercurio, plomo, arsénico, zinc y cromo); fenoles; e Índice de Calidad del Agua General.

- **Región Hidrográfica B-Paz:** en la presente Región Hidrográfica se dispone de información del río Paz (B-01-RIPAZ a B-04-RIPAZ), que delimita la frontera con Guatemala, y cuya calidad se resume a continuación:
 - En cuanto a la contaminación orgánica, **las concentraciones de DBO_5 son relativamente bajas, aunque algo superiores en las estaciones superiores** (B-01-RIPAZ y B-02-RIPAZ) que en las inferiores, **en algunos monitoreos por encima de 4 mg/l**, norma de calidad deseable para las aguas crudas según el Decreto 51. **La oxigenación por lo general es buena, a excepción de en el año 2011**, en el que como en otras estaciones incluso de otras Zonas Hidrográficas, las aguas se muestran especialmente desoxigenadas. De este modo, obviando estos mínimos, la concentración de oxígeno disuelto oscila entre los 6.6 y 9 mg/l.
La contaminación por coliformes fecales es superior de nuevo en el tramo alto, presentando en B-01-RIPAZ un valor promedio para todos los muestreos de 10,940 NMP/100 ml y un **máximo de 24,000 NMP/100 ml en 2010**, siendo ambos por tanto muy superiores a los 1,000 NMP/100 ml especificados por OMS como máximo recomendable para usos recreativos que impliquen contacto directo, y que puede asimilarse también a las aguas crudas que vayan a ser potabilizadas por tratamiento convencional. En la estación B-02-RIPAZ las concentraciones máximas son de 5,000 NMP/100 ml, por lo que es muy inferior a la anterior, aunque se sigue superando el máximo recomendado por OMS.
 - Al igual que en el caso de la contaminación orgánica y microbiológica, **las concentraciones de nitratos y nitrógeno amoniacal son superiores en la estación B-01-RIPAZ**, con un valor promedio de **3.7 mg $N-NO_3/l$** y un valor puntual (sólo se dispone de datos de 2007) de **0.86 mg $N-NH_3/l$** ; por el contrario, los mínimos en las distintas formas del nitrógeno se producen en estaciones diferentes, de modo que en la estación más aguas abajo, B-04-RIPAZ, se observa un valor medio que asciende a 1.7 mg $N-NO_3/l$, mínimo promedio de la serie, y en la estación B-02-RIPAZ el más bajo de nitrógeno amoniacal, que se sitúa en 0.2 mg $N-NH_3/l$. Con estas concentraciones, los nitratos resultan adecuados para los distintos usos que se le pueda dar al agua (potabilización por tratamiento convencional, riego y recreativo por contacto directo). Las concentraciones de nitrógeno amoniacal es en todos los casos muy inferior a 2 mg $N-NH_3/l$, estándar de calidad ambiental fijado por la normativa peruana (República del Perú, 2008) para las aguas superficiales que pueden ser destinadas a la producción de agua potable con tratamiento convencional.

En cuanto a los fosfatos, las diferencias entre estaciones no son tan evidentes, presentando estas estaciones valores para el año 2011 de **0.38 y 0.48 mg P-PO₄/l**, respectivamente en B-01-RIPAZ y B-04-RIPAZ. Los niveles son adecuados para la irrigación, ya que se sitúan en todo momento en el rango de valores recomendados por FAO para dicho uso (FAO, 1985), aunque en todas las estaciones superan el límite máximo establecido por EPA (EPA, 1986) a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en ríos.

- o Se observa una clara **evolución en los valores de pH a lo largo del río Paz, que tiende a aumentar** sobre todo de la estación B-01-RIPAZ a la siguiente, B-02-RIPAZ. Entre estas estaciones los promedios para todas las campañas ascienden de **7.5 a 8.2 unidades**, mientras el pH promedio en la estación más agua abajo es de 8.4 unidades. Observando los datos puntuales por estación y campaña, los valores se mantienen en los rangos recomendados por FAO y por el Decreto 51 para los usos riego y propagación piscícola, respectivamente, y por extensión también en el establecido por el citado Decreto 51 para el consumo de las aguas crudas tras un tratamiento convencional.

Por otra parte, **la temperatura del río presenta unos valores muy similares a las respectivas temperaturas ambientales**, de modo que no se prevén alteraciones sobre la propagación piscícola en esta materia, ya que con los datos disponibles, las desviaciones son inferiores a los 3°C especificados por el Decreto 51 para este uso.

- o En lo que respecta a las concentraciones de sólidos en el agua, también **se observa una tendencia al aumento de las concentraciones de sólidos totales disueltos (en adelante TDS)**, ascendiendo de un promedio de 206.6 mg/l en la estación B-01-RIPAZ a 354.5 mg/l en la estación B-04-RIPAZ (los valores en cualquier caso no hacen necesario ninguna restricción en el riego (FAO, 1985)). Estas diferencias no se ven traducidas en un aumento de turbiedad o de color, de modo que ambos parámetros son relativamente homogéneos entre campañas y estaciones. **Los valores promedios totales, bastante bajos, ascienden a 11.8 NTU y 47.4 unidades Co-Pt, respectivamente**, por lo que en el primer caso las aguas suelen ser aptas para el uso recreativo con contacto directo (el límite recomendado por OMS asciende a 10 NTU), de manera adicional al consumo tras tratamiento convencional (la norma de calidad deseable establecido por el Decreto 51 para este uso se establece en 250 NTU y 150 unidades de Co-Pt).
- o Además de los parámetros pH y TDS, **hay cierta tendencia al aumento de la conductividad y de las concentraciones de sales a lo largo del río Paz, siendo de nuevo más evidente el aumento entre las estaciones B-01-RIPAZ y B-02-RIPAZ, y observándose un mantenimiento de las condiciones entre las estaciones B-03-RIPAZ y B-04-RIPAZ**. A excepción de en el año 2011, **la conductividad se mantiene por debajo de 500 μS/cm**, por lo que por lo general presenta unos valores adecuados para la propagación de la vida piscícola (según norma de calidad deseable especificado para este uso en el Decreto 51); el promedio para todos los años en la primera estación es de 280 μS/cm, y en la última estación de 476 μS/cm.

Los cloruros se mantienen por debajo de 50 mg/l, siendo los promedios en la primera y última estación de 5.8 y 38.6 mg/l, respectivamente, con lo que son incluso inferiores a la norma de calidad deseable para las aguas crudas que tras tratamiento convencional sean destinadas al consumo; **el sodio** asciende de 26.8 a 50.0 meq/l, **el RAS**, de 1.1 a 2.8, **los sulfatos** de 0.32 a 0.75 meq/l, y **el boro** se mantiene a concentraciones no cuantificables por la técnica analítica, por

lo que se presentan en niveles adecuados para el riego sin restricciones según criterios de FAO (FAO, 1985) y del Decreto 51.

- o En lo que respecta a la concentración de metales, **el mercurio cuantificado en 2007 en B-02-RIPAZ está por debajo del LMP especificado por EPA (EPA, 1986)** a partir del cual se pueden producir efectos agudos sobre los peces; mientras que las de **cobre que se han podido cuantificar a lo largo de las 4 estaciones en 2006-2007 indican concentraciones que rondan los 0.01 mg/l**, lo que supera el LMP correspondiente. En el resto de estaciones y campañas los valores son bajos y en muchos casos inferiores a los de la técnica analítica, al igual que sucede con otros metales como el plomo, el zinc, el arsénico y el cromo, por lo que están por debajo de los límites recomendados por FAO para el riego (FAO, 1985), y de los LMP recomendados por EPA para la vida piscícola.
 - o Por último, **la concentración media de fenoles para el río en todas las campañas es igual a 2.1 mg/l**, mientras los máximos se registran en todas las estaciones en **2011, con 3.5 mg/l en B-01-RIPAZ, y 3.6 mg/l en B-04-RIPAZ**. Éstos (y el resto de valores) son muy superiores a la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinados a potabilización a través de un tratamiento convencional (Decreto 51), y en el caso de 2011 también algo superiores en algunos casos al límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l.
 - o Cerrando la valoración del estado de las aguas de esta Región Hidrográfica, se concluye que, a partir de las concentraciones analizadas de coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, variación de temperatura, turbiedad, TDS y oxígeno disuelto, los ICA obtenidos son indicadores de un **estado “Regular”**. Con ello, las aguas en este tramo podrían suponer **ciertas restricciones para la vida acuática y el contacto humano, y pueden presentar menos diversidad de organismos acuáticos así como mayor probabilidad de desarrollos algales de carácter explosivo**.
- Región Hidrográfica C-Cara Sucia-San Pedro: se dispone de estaciones de monitoreo en 4 de los ríos existentes en esta región, Cara sucia (C-01-SUCIA a C-03-SUCIA), Guayapa (C-01-GUAYA y C-02-GUAYA), El Naranjo (C-01-NARAN y C-02-NARAN) y El Rosario (C-01-ROSAR y C-02-ROSAR).
- o **Las concentraciones de DBO₅, bastante moderadas, muestran una tendencia al aumento a lo largo de los 4 ríos analizados**, de modo que los máximos se registran en todos los casos en la estación más aguas abajo. A pesar de ello, **sólo con carácter puntual se superan los 4 mg/l en los ríos Guayapa y El Naranjo**, alcanzándose respectivamente los 7 y 5 mg/l.

Algo similar se observa en las concentraciones de coliformes fecales (Figura 27), que a excepción de en el río Cara Sucia y El Naranjo, los máximos se producen en la estación más aguas abajo. Los máximos se registran de nuevo en Guayapa y El Naranjo, ascendiendo a 160,000 NMP/100 ml en 2006-2007 en la estación C-02-GUAYA, a 300,000 NMP/100 ml en 2009 en C-01-NARAN y 160,000 NMP/100 ml en 2010 en C-02-NARAN. En el resto de monitoreos, los valores están por debajo de 24,000 NMP/100 ml, por lo que siguen siendo concentraciones que indican contaminación microbiológica.

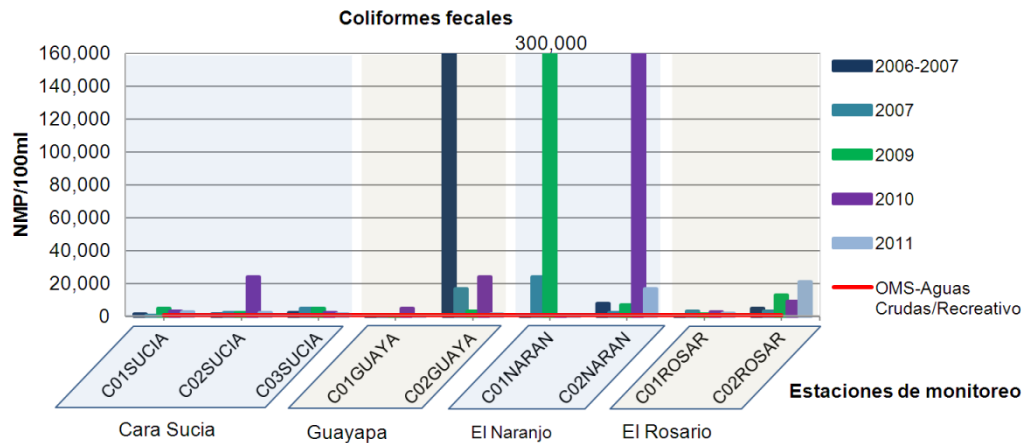


Figura 27. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de coliformes fecales en la Región Hidrográfica C-Cara Sucia-San Pedro, en el periodo 2006-2011.

Por último, y como ya se haya observado en otras muchas estaciones en el ámbito nacional, la **oxigenación es buena a excepción de en el año 2011**, donde las aguas están especialmente desoxigenadas. A pesar de ello, **los valores promedio para todos los monitoreos y estaciones en cada río no bajan de 7 mg/l**. Aun así, hay que tener en consideración alguna situación puntual se sobresaturación en el río El Rosario en 2010, que en C-02-ROSAR alcanza los 10.1 mg/l.

- o En materia de nutrientes, **las concentraciones de fosfato no presentan importantes diferencias entre ríos, e incluso dentro del mismo río. Los valores, elevados, oscilan entre 0.06 mg P-PO₄/l (C-01-NARAN) y 0.16 mg P-PO₄/l (C-02-ROSAR)**, con lo que son adecuados para la irrigación (FAO, 1985), aunque superan el límite máximo establecido por EPA (EPA, 1986) a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en ríos.

En el caso del nitrato, las diferencias son poco destacables dentro de cada río y entre ríos, aunque el río El Rosario presenta concentraciones superiores al resto en 2011. A pesar de estas diferencias, los valores oscilan por lo general entre 0.2 y 2.2 mg N-NO₃/l (siendo niveles adecuados para la potabilización por tratamiento convencional, la irrigación y el uso recreativo por contacto directo). Algo similar sucede con el nitrógeno amoniacal, que se mantiene relativamente similar entre ríos (datos del 2007), oscilando entre 0.23 y 0.31 mg N-NH₃/l, por debajo del estándar de calidad ambiental fijado por la normativa peruana (República del Perú, 2008) para las aguas superficiales que pueden ser destinadas a la producción de agua potable con tratamiento convencional.

- o El pH es un parámetro bastante conservativo entre campañas y estaciones, de modo que los valores oscilan por lo general entre 7 y 8 unidades. De este modo son valores aptos para los distintos usos contemplados por el Decreto 51, así como para el riego según FAO. Además, **los ríos presentan una temperatura relativamente parecida a la ambiental**, aunque hay alguna excepción, como es el caso de la estación en C-01-NARAN, en la que habría cierta alteración para la propagación piscícola, ya que la desviación monitoreada asciende a 6.7°C.
- o La concentración de TDS muestra también pocas variaciones entre estaciones, ríos y campañas. El valor medio para el conjunto de datos asciende a **145 mg/l**, y el rango de variación, de 79 a 231 mg/l, con lo que son aguas adecuadas para el riego y el tratamiento convencional de las

aguas crudas para el consumo. La turbiedad también presenta valores bajos y relativamente constantes, a excepción de en el río El Rosario, en el que los valores en 2011 se disparan sobre todo en C-02-ROSAR a 223.4 NTU. Obviando este máximo, los mayores valores no superan los 63 NTU, siendo el promedio para todas las estaciones y campañas de 15.3 NTU; con ello, en algunas ocasiones las aguas son adecuadas para el uso recreativo por contacto directo, con mayor frecuencia en El Naranjo, y en todos los casos son aptas para un tratamiento convencional previo al consumo. Por último, el color presenta algunas variaciones entre estaciones, siendo más destacables de nuevo en El Rosario, aunque en este caso en C-01-ROSAR, en la que de nuevo en 2011 se alcanza un máximo de 428 unidades Co-Pt, siendo el promedio para todas las estaciones y monitoreos de estos 4 ríos, igual a 48.5 unidades, apto para el tratamiento convencional previo al consumo.

- o La conductividad y la concentración de sales tampoco presentan grandes diferencias espacio-temporales, siendo adecuados para el riego (FAO, 1985), y a concentraciones incluso por debajo de los rangos inferiores de las normas de calidad deseables para los parámetros cloruro y sodio, para las aguas crudas y el riego según el Decreto 51. De este modo, los valores medios de conductividad, cloruros, sulfatos, sodio y RAS ascienden, respectivamente, a 160.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 3.5 mg/l, 0.14 meq/l, 14.8 meq/l y 0.4. El parámetro que mayor variación espacio-temporal presenta es el sodio, cuyo máximo se registra en 2011 en la estación C-03-SUCIA, de 31.7 meq/l.

Al igual que en la Región Hidrográfica B-Paz, el boro se mantiene a concentraciones no cuantificables por la técnica analítica.

- o En lo que respecta a la concentración de metales, el cobre presenta altas concentraciones (por encima del LMP establecido por EPA para que empiecen a detectarse efectos agudos sobre los peces) en el año 2009 en buena parte de las estaciones (Figura 28), siendo los valores máximos los registrados en los ríos Cara Sucia con 0.05 mg/l en C-01-SUCIA; el Naranjo con 0.04 mg/l en C-02-NARAN; en ambas estaciones del río Guayapa, con 0.03 mg/l; y en el río El Rosario en C-02-ROSAR con 0.02 mg/l (en este caso en 2010).

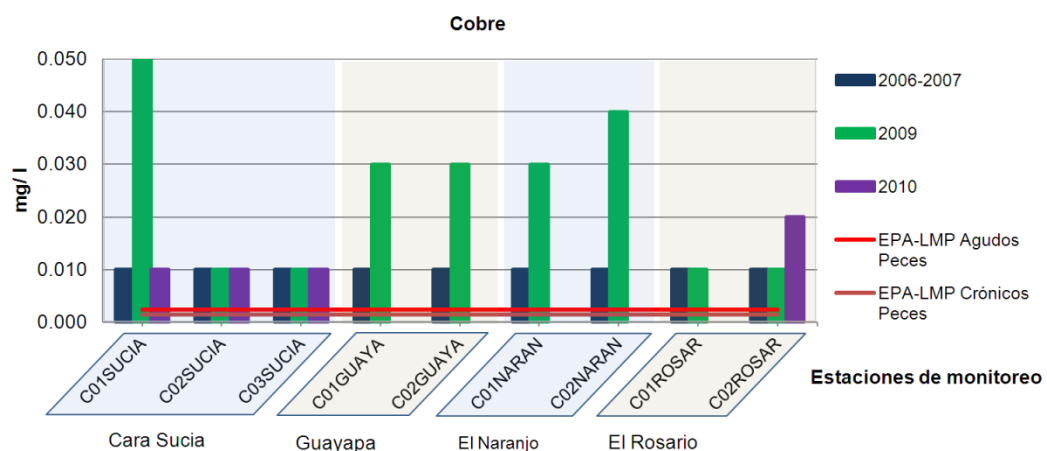


Figura 28. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de coliformes fecales en la Región Hidrográfica C-Cara Sucia-San Pedro, en el periodo 2006-2011.



En cuanto a las concentraciones de plomo registradas en 2007, en C-03-SUCIA se cuantifican 0.08 mg/l, lo que se sitúa ligeramente por encima del LMP establecido por EPA a partir del cual pueden producirse efectos agudos en los peces; en el río Guayapa, que también dispone de datos cuantificados, las concentraciones son bastante inferiores. En el resto de estaciones los niveles son bajos, inferiores a los LMP respectivos, y en muchos casos inferiores a los que la técnica analítica puede detectar, incluyendo todas las muestras de mercurio, zinc y arsénico. Además, los metales estudiados (incluyendo el cromo), están por debajo de los límites recomendados por FAO para el riego.

- o Por último, se dispone de información de la **concentración de fenoles en el agua, que son variables entre campañas y estaciones, y cuyo valor promedio asciende a 1.7 mg/l**. De nuevo este valor promedio, así como los datos puntuales por estación y campaña, son muy superiores a la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinadas a potabilización a través de un tratamiento convencional (Decreto 51), aunque sin embargo suelen ser inferiores al límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l. Los máximos se registran en Cara Sucia y Guayapa, sobre todo en 2006-2007 en ambos ríos, y en 2011 en el primero, en todos los casos por encima de este valor recomendado de la EPA (máximo en C-02-SUCIA en 2006-2007: 4.5 mg/l).
 - o Cerrando la valoración del estado de las aguas de esta Región Hidrográfica, los ICA obtenidos son indicadores de una calidad general de las aguas **“Regular” en Cara Sucia, Guayapa y El Rosario**, con algunas excepciones puntuales en 2011, de modo que las aguas podrían suponer ciertas restricciones para la vida acuática y el contacto humano, y pueden presentar menos diversidad de organismos acuáticos así como mayor probabilidad de desarrollos algales de carácter explosivo. **Por otra parte, se obtiene una valoración muy variable en El Naranjo ente “mala” y “buena”, por lo que puede decirse que en global presenta también un estado “Regular”.**
- Región Hidrográfica D-Grande de Sonsonate-Banderas: que dispone de estaciones de monitoreo en los ríos Grande de Sonsonate (D-01-GRAND a D-04-GRAND) y Ceniza (D-01-CENIZ a D-04-CENIZ).
 - o En cuanto a la contaminación orgánica (Figura 29), **las concentraciones de DBO₅ son relativamente bajas a lo largo de los ríos Grande de Sonsonate y Ceniza, a excepción de en el año 2009**, en el que se registran dos importantes máximos, que alcanzan los 82 mg/l en D-04-GRAND y los 92 mg/l en D-02-CENIZ. También hay un segundo máximo en esta última estación de 24 mg/l en 2006-2007. Los valores promedio para ambos ríos ascienden a 7.7 y 8.7 mg/l, respectivamente, aunque si no se consideran los máximos anteriormente comentados, ascenderían a 3.8 mg/l y 3.2 mg/l.

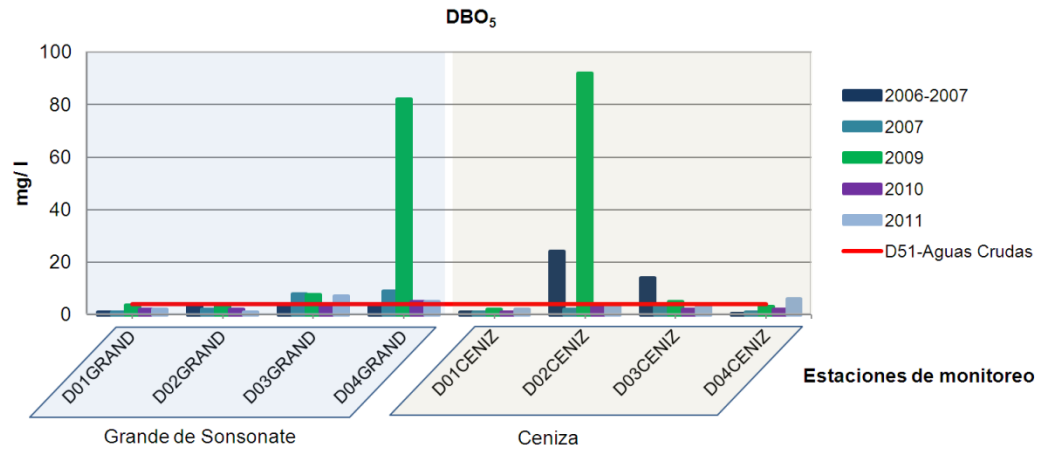


Figura 29. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de DBO₅ en la Región Hidrográfica D-Grande de Sonsonate-Banderas, en el periodo 2006-2011.

Coincidiendo con estos máximos de DBO₅, se registran mínimos de oxígeno disuelto, cuyo valor más bajo se registra en D-04-GRAND, con 2.6 mg/l, muy por debajo del rango de oxígeno disuelto adecuado para la propagación piscícola, el consumo de aguas crudas tras tratamiento convencional y el uso recreativo (Decreto 51 y OMS). Además, en 2011 las aguas están especialmente desoxigenadas en todas las estaciones, siendo el promedio para dicho año de 4.3 mg/l, mientras en el resto de años el promedio alcanza los 6.9 mg/l.

En 2009 también se registran dos máximos muy destacables de coliformes fecales (Figura 30), de nuevo en las estaciones D-04-GRAND y D-02-CENIZ, que alcanzan respectivamente los 24 y 2.4 millones de NMP/100 ml. Además, en D-04-GRAND se registra un segundo máximo de 1.6 millones. En el resto de estaciones y monitoreos el valor promedio asciende a 63.300 NMP/100 ml, por lo que hay una contaminación microbiológica a lo largo de ambos ríos.

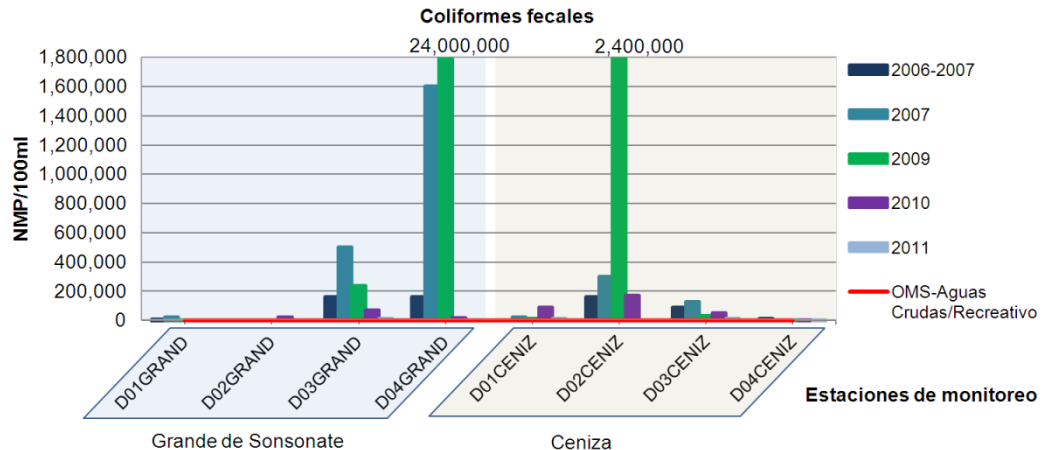


Figura 30. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de coliformes fecales en la Región Hidrográfica D-Grande de Sonsonate-Banderas, en el periodo 2006-2011.



- o Las concentraciones de nutrientes oscilan a lo largo de ambos ríos y de las distintas campañas. En el caso de los **nitratos, los niveles tienden a disminuir de aguas arriba a aguas abajo en ambos ríos mientras los de nitrógeno amoniacal y fosfatos tienden a aumentar desde cabecera a la penúltima estación, a partir de la cual tiende a disminuir.** El valor promedio para el primer parámetro se sitúa en 3.6 y 2.7 mg N-NO₃/l, respectivamente para los ríos Grande de Sonsonate y Ceniza, por lo que son valores habituales para su uso en el riego. El nitrógeno amoniacal asciende a 2.1 y 0.5 mg N-NH₃/l (datos de 2007), respectivamente; los máximos ascienden en D-03-GRAND a 6 mg N-NH₃/l, lo que se sitúa por encima del estándar peruano de calidad ambiental para las aguas que van a destinarse a potabilización por tratamiento convencional (República del Perú, 2008). Por último, las concentraciones promedio de fosfatos se sitúan en 0.26 y 0.31 mg P-PO₄/l, respectivamente, con lo que son adecuados para la irrigación (FAO, 1985), pero que superan el límite máximo establecido por EPA (EPA, 1986) a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en ríos.
- o **El pH promedio es similar en ambos ríos y próximo a la neutralidad, de 7.6 y 7.3 unidades de pH** para Grande de Sonsonate y Ceniza, respectivamente, con lo que son adecuados para los cuatro usos contemplados. Aunque por lo general se sitúa en ambos ríos entre 6.9 y 8.1 unidades, en el año 2009 hay gran variabilidad entre estaciones, siendo los valores extremos los observados en el río Ceniza, con el mínimo registrado en D-02-CENIZ (5.7 unidades) y el máximo en D-04-CENIZ (8.7 unidades).

Por otra parte, **la temperatura de ambos ríos presenta desviaciones con respecto a la ambiental superiores a 3°C**, al menos en los monitoreos realizados en 2007, de modo que se podría prever algún tipo de alteración sobre la propagación piscícola en esta materia. La mayor desviación en el río Grande de Sonsonate asciende a 6.7°C en D-02-GRAND y 6.5°C en D-04-GRAND, y en el río Ceniza a 6.3 en D-01-CENIZ.

- o **La concentración de TDS tiende a aumentar de aguas arriba a aguas abajo en ambos ríos.** Los mínimos rondan para ambos los 150 mg/l (todos los mínimos se registran en el año 2007) y los máximos se dan en ambas estaciones situadas más aguas abajo, en 2010 en el río Grande de Sonsonate (471 mg/l), y en 2009 en el Ceniza (508 mg/l). Salvo estos momentos, en los que sería necesario aplicar alguna restricción en el riego a manta, en el resto de muestreos son valores adecuados para el riego sin restricciones, y para el uso de las aguas crudas para el consumo una vez hayan sufrido un tratamiento convencional.

La turbiedad por su parte se mantiene moderada, aunque en buena parte de los muestreos por encima de los 10 NTU establecidos como recomendables para el uso recreativo por parte de la OMS. Los mayores valores en Grande de Sonsonate se registran en D-02-GRAND en 2009, con 38 NTU, y en el Ceniza en D-02-CENIZ, con 104.5 NTU.

Por último, **el color varía entre 13 y 283 unidades Co-Pt** (máximo en D-01-GRAND en 2011) en el río Grande de Sonsonate, y entre 12 y 196.5 unidades (máximo en D-02-CENIZ en 2009) en el río Ceniza, por lo que no en todos los monitoreos resulta adecuada para el consumo de aguas crudas tras un tratamiento convencional.

- o **La conductividad presenta mayor variabilidad en el río Ceniza, modificando sus valores medios de 259 µS/cm en D-01-CENIZ a 598 µS/cm en D-04-CENIZ;** es sobre todo en esta estación del

tramo bajo en la que los valores supera la norma de calidad deseable para la propagación piscícola, aunque no aquella deseable para la irrigación (ambos según el Decreto 51). **La variabilidad es muy inferior en Grande de Sonsonate**, de 316 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en D-01-GRAND a 330 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en D-04-GRAND.

La concentración de sales también presenta cierta variabilidad aunque por lo general son adecuadas para el riego. Este es el caso de los cloruros, aunque la variabilidad en el Ceniza es inferior que en el caso de la conductividad; de este modo, los valores medios ascienden de 5.7 mg/l aguas arriba a 21.2 mg/l aguas abajo, mientras en Grande de Sonsonate cambia de 7 a 10.3 mg/l. Lo mismo sucede con el sodio, que es más variable en el Ceniza, ascendiendo de aguas arriba a aguas abajo de 21.6 a 30.0 meq/l, y en Grande de Sonsonate, oscila de promedios en 10.6 a 12.4 meq/l aguas abajo. Y con el RAS, que se mantienen en valores inferiores a 1.6 en el Ceniza, y a 0.8 en Grande de Sonsonate.

Una vez más, el boro se mantiene a concentraciones no cuantificables por la técnica analítica, mientras los sulfatos están en el rango adecuado para su uso en el riego, y son mucho menos variables que el resto de sales, sobre todo en Grande de Sonsonate, que mantiene las concentraciones relativamente conservativas de aguas arriba a aguas abajo, aunque sí presenta variabilidad interanual.

- o **Las concentraciones de cobre superan el LMP a partir del cual pueden aparecer efectos adversos con carácter agudo en los peces en el año 2006-2007, manteniéndose en todos los casos en torno a 0.01 mg/l.** En el resto de muestras de cobre, así como en el 100% de las de plomo, los niveles son inferiores a los de la técnica analítica. En el caso del mercurio, sólo se dispone de dato cuantificado en la estación D-04-GRAND (en 2007), siendo inferior al LMP correspondiente; el resto de valores de nuevo son inferiores a la técnica analítica. En cuanto al zinc, al arsénico y al cromo, sus concentraciones son inferiores al LMP o muy bajas. Con todo ello, **se puede concluir que salvo las excepciones comentadas en materia de cobre, en el resto de metales las concentraciones son inferiores a los LMP para la vida piscícola, y por consiguiente, también son adecuados para la irrigación, en los casos en que aplique.**

Además de datos de concentración de los principales metales en las aguas, **se dispone de información referente a las cargas en sedimentos de arsénico, cromo, mercurio y plomo** en la estación D-03-GRAND para el año 2007. Es de destacar que **las cargas de arsénico, plomo y cromo son inferiores a los límites por encima de los cuales pueden esperarse efectos a largo (ERL) y a medio plazo (EMR) sobre los sistemas biológicos asociados al sedimento** (Long, Field, & MacDonald, 1998). También son inferiores a los valores objetivo y por tanto también de intervención, establecidos en la norma holandesa (Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Netherland, 2000), y su actualización, sobre todo en materia de valores de intervención, en la denominada “Soil Remediation Circular 2009” de EDSAT.

La carga de mercurio es superior al ERL (0.33 mg Hg/kg de materia seca) y ligeramente mayor al valor objetivo establecido por la normativa holandesa; aunque se mantiene muy por debajo de los ERM y valor de intervención, por lo que se estima que la carga puede considerarse como propia de un sedimento sin afección.

- o Por último, las concentraciones de fenoles en el agua son ligeramente superiores en el río Ceniza, en el que el promedio para todos los datos disponibles se sitúa en torno a 2.2 mg/l, mientras en el río Grande de Sonsonate asciende a 1.7 mg/l. Las mayores concentraciones se registran en ambos casos en los años 2006-2007 y 2011. En todos los casos, son muy superiores a la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinadas a potabilización a través de un tratamiento convencional (Decreto 51), aunque en la mayor parte de los años suelen ser inferiores al límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l.
 - o Cerrando la valoración del estado de las aguas de esta Región Hidrográfica, los ICA obtenidos son indicadores de una calidad general de las aguas entre “regular” y “pésima” en ambos ríos, con lo que en muchos casos, se podría estar dificultando e incluso imposibilitando el desarrollo de la vida acuática, de modo que sólo se podría desarrollar un número limitado de formas de vida acuática. Además, sería recomendable la implantación de restricciones para el contacto humano, como la natación, al menos en los tramos con peor valoración.
- Región Hidrográfica E-Mandinga-Comalapa: esta Región Hidrográfica presenta información de los ríos Apancoyo (E-01-APANC y E-02-APANC), Mizata (E-01-MIZAT y E-02-MIZAT), Zunzal (E-01-ZUNZA), Comasagua (E-01-COMAS), Chilama (E-01-CHILAM y E-02-CHILAM), El Jute (E-01-RJUTE), San Antonio (E-01-ANTON y E-02-ANTON) y Comalapa (E-01-COMAL a E-03-COMAL).

Análisis de la calidad del agua de los ríos situados en la mitad Oeste de la Región Hidrográfica: Apancoyo, Mizata, Zunzal y Comasagua:

- o Los ríos Apancoyo, Mizata, Zunzal y Comasagua son los que menor variabilidad presentan en la zona hidrográfica en materia de DBO_5 y coliformes fecales, siendo por lo general valores bajos de ambos parámetros; los promedios de ambos ascienden a 2.8 mg/l en el caso de la DBO_5 , y 5,436 NMP/100 ml en el caso de las coliformes fecales, y los máximos a 7 mg/l y 16,000 NMP/100 ml, ambos en E-01-ZUNZA en 2009. Sin embargo, son los ríos con mayor variabilidad en materia de oxigenación, presentándose los mínimos en todas las estaciones en el año 2011 (promedio en 4.8 mg/l), y los máximos en 2009 y 2010 (el promedio para estos años en todas las estaciones asciende a 7.6 mg/l). No se han observado por tanto situaciones extremas, próximas a la anoxia o de sobresaturación, por lo que salvo excepciones pueden considerarse adecuados para el desarrollo de la vida piscícola y otros usos como el aprovechamiento para consumo tras tratamiento convencional (Decreto 51), o el uso recreativo (OMS). Similares conclusiones pueden extraerse a la vista de los valores habituales de DBO_5 , aunque no en el de las coliformes fecales, que superan los 1,000 NMP/100 ml recomendados por OMS en casi todas las muestras.
- o En materia de nutrientes, las concentraciones son relativamente homogéneas espacialmente hablando, aunque hay algunas diferencias entre años en el caso de los nitratos: por lo general son más elevadas en el año 2006-2007 que en el resto de años, momento en que los promedios rondan los 1.4 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$, mientras en el resto de años alcanzan 0.43 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$. El nitrógeno amoniacal, del que se dispone de datos en el año 2007, es variable entre ríos, pero el rango de valores es moderado, y oscila entre 0.41 mg $\text{N-NH}_3/\text{l}$ en Apancoyo y 0.17 mg $\text{N-NH}_3/\text{l}$ en Zunzal. Con estos valores ambas formas del nitrógeno parecen adecuadas para el

aprovechamiento de las aguas crudas a través de un tratamiento convencional; en el caso de los nitratos, también para el riego (FAO, 1985) y el uso recreativo (República del Perú, 2008).

El fosfato se mantiene también bastante constante entre estaciones y ríos, siendo el promedio de 0.14 mg P-PO₄/l. Estas concentraciones superan el límite máximo establecido por EPA (EPA, 1986) a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en ríos en materia de eutrofización, aunque sí son adecuados para la irrigación (FAO, 1985).

- o Los valores promedio de pH en los ríos Apancoyo y Mizata son relativamente similares, con 7.4 y 7.7 unidades, respectivamente; en ambos hay cierta tendencia al descenso de los valores desde aguas arriba a aguas abajo. En los ríos Zunzal y Comasagua los promedios para la estación disponible rondan los 7.6 y 7.3 unidades respectivamente. **No se observan valores extremos, siendo el rango observado entre 6.7 y 8.1 unidades, por lo que este parámetro no supondría una limitación para ninguno de los 4 grandes usos objeto de valoración:** propagación de la vida piscícola y aguas crudas según el Decreto 51, irrigación según FAO (1985) y recreativo con contacto directo (OMS).

Tampoco se observan diferencias destacables entre las temperaturas del agua y la ambiental en las distintas estaciones, aunque en el caso de la estación E-01-MIZAT se supera ligeramente los 3°C de variación máxima de una con respecto a la otra según la norma de calidad deseable para la propagación acuática en el Decreto 51 (3.3°C).

- o **No hay diferencias espaciotemporales destacables en las concentraciones de TDS, turbiedad y color en los ríos de la mitad oeste de la Región Hidrográfica (ni a lo largo de los mismos), ni valores elevados por lo que no suponen impedimento para el tratamiento convencional de las aguas y su posterior consumo en lo que respecta a estos tres parámetros.** Los promedios para toda la serie ascienden a 178 mg/l de TDS, 8 NTU y 50.5 unidades de color aparente.
- o **La conductividad se mantiene relativamente conservativa entre años y estaciones, al igual que las concentraciones de cloruros, sulfato, sodio y el RAS. Además los valores de estos distintos parámetros son bajos, dentro del rango recomendado para el riego en el caso de la conductividad, sulfatos y RAS, y por debajo del rango recomendado en el caso de cloruros y sodio.** Los promedio para todos los años y estaciones ascienden a 206.5 μS/cm, 5.5 mg/l de cloruros, 0.21 meq/l de sulfatos, 17.8 meq/l de sodio, y 0.53 de RAS. El boro se mantiene también dentro del rango recomendado para su uso en el riego, aunque las concentraciones son más bajas que el límite de detección de la técnica analítica.
- o **En lo que respecta a la concentración de metales, las concentraciones de cobre cuantificadas se mantienen en 0.01 mg/l en los ríos Apancoyo, Mizata y Comasagua, en los años 2006-2007 y 2009, aunque no son cuantificables en el resto. En el caso del plomo, los valores no superan el LMP específico en ninguna de las estaciones con dato, que son las siguientes: E-01-MIZAT, E-01-ZUNZA y E-01-COMAS. En el caso de los metales mercurio, zinc, cromo y arsénico, los niveles son inferiores al LMP y en muchas ocasiones inferiores a la técnica analítica, con lo que éstos, junto con el resto de metales analizados, serían además adecuados para el riego.**
- o **Por último, las concentraciones medias de fenoles oscilan entre 1.3 mg/l en Comasagua y 2.6 mg/l en Apancoyo, siendo variables las concentraciones puntuales en las distintas estaciones y campañas, y en la mayor parte de muestreos, muy superior a la norma deseable para las aguas**

- crudas que vayan a ser destinadas a potabilización a través de un tratamiento convencional (Decreto 51). De hecho, en el año 2011 también se supera el límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l, aunque no en el resto de muestreos.
- o Cerrando la valoración del estado de las aguas de esta mitad Oeste de la Región Hidrográfica, los ICA obtenidos son indicadores de una calidad general de las aguas **“Regular” en todos los ríos y monitoreos**. Con estos resultados, y según ICA, las aguas podrían presentar algunas restricciones para la vida acuática y el contacto humano, con lo que podrían presentar una menor diversidad de organismos acuáticos así como mayor probabilidad de fuertes crecimientos algales.

Análisis de la calidad del agua de los ríos situados en la mitad Este de la Región Hidrográfica: Chilama, San Antonio, El Jute y Comalapa:

- o Los ríos Chilama, San Antonio, El Jute y Comalapa **presentan por lo general mayores concentraciones de DBO₅ y coliformes fecales que los ríos situados al oeste de la Región Hidrográfica, así como mayor variabilidad espaciotemporal; los promedios de ambos parámetros ascienden a 3.3 mg/l y 81,900 NMP/100 ml** en el caso de las coliformes fecales, y los máximos a 10 mg/l en E-02-ANTON y 9 mg/l en E-01-RJUTE en el año 2011, y a 1.3 millones de NMP/100 ml en E-02-COMAL de nuevo en 2011 (el siguiente máximo se observa también en el río Comalapa, en la estación E-03-COMAL en 2010, con 500,000 NMP/100 ml). **Sin embargo, son los ríos con menor variabilidad en materia de oxigenación, a pesar de las mayores cargas orgánicas;** los mínimos se registran de nuevo en el año 2011 (promedio en 5.2 mg/l), y los máximos en 2009 (el promedio asciende a 7.5 mg/l).
- o En lo que a nitratos y fosfatos se refiere, **las concentraciones son bastante heterogéneas entre ríos, presentándose las mayores variabilidades en el río El Jute, que presenta un rango de concentraciones entre 0.41 mg N-NO₃/l en 2009 y 5.20 mg N-NO₃/l en 2011**, y que se corresponden con los valores mínimo y máximo de la serie de datos en la mitad oeste de la Región Hidrográfica. Las menores variabilidades se observan en el río Chilama, en el que el rango de variación abarca los 0.58-1.21 mg N-NO₃/l. En cualquier caso se trata de valores habituales para el riego.

En cuanto al nitrógeno amoniacal, por el contrario, los valores son muy similares entre ríos, a excepción de en el río Comalapa, que presenta mayores valores que el resto. El promedio para este río asciende a 0.5 mg N-NH₃/l, frente al promedio del resto de ríos, que no alcanza los 0.3 mg N-NH₃/l, en ambos casos dentro del rango de valores aceptables para el tratamiento de las aguas crudas con un tratamiento convencional.

Por otra parte, **las concentraciones promedio de fosfatos difieren considerablemente entre ríos** (Figura 31), y se mantienen en 0.16 mg P-PO₄/l en el Chilama, 0.57 mg P-PO₄/l en el Comalapa, 1.29 mg P-PO₄/l en El Jute y 1.49 mg P-PO₄/l en San Antonio, donde se registra el valor máximo de toda la serie con 2.53 mg P-PO₄/l. Algunos de estos promedios son muy superiores al límite recomendado por EPA a partir el cual pueden aparecer efectos perceptibles en sistemas lóticos, establecido en 0.05 mg P-PO₄/l.

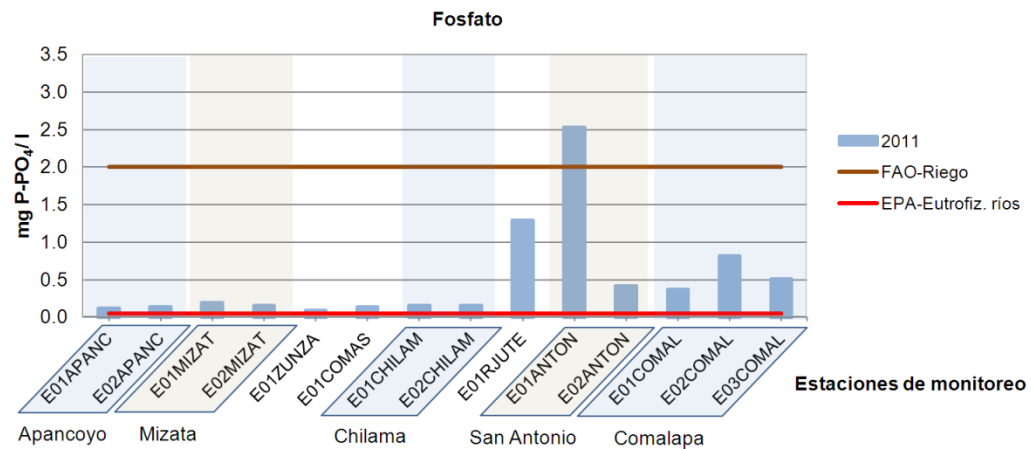


Figura 31. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de fosfatos en la Región Hidrográfica E-Mandinga-Comalapa, en el periodo 2006-2011.

- o Los valores promedio de pH tienden a disminuir de aguas arriba a aguas abajo en los distintos ríos estudiados, y los valores promedio son similares entre sí, oscilando entre los 7.8 unidades en el río San Antonio y 7.6 unidades en el Chilama. Las mayores variaciones interanuales se registran en el río San Antonio, en el que se ha observado un mínimo de 6.8 unidades (E-02-ANTON en 2011), y un máximo de 8.7 unidades (E-01-ANTON en 2007), lo que se mantiene salvo esta excepción, dentro de los rangos adecuados para la propagación de la vida piscícola, el riego, las aguas crudas y el uso recreativo.

Las diferencias entre temperatura del agua y atmosférica no siguen una tendencia determinada. Se observan desviaciones destacables en A-02-ANTON, en la que la diferencia entre ambas asciende a 10.2°C, siendo ésta la mayor diferencia detectada en lo que va de informe. El siguiente máximo es el registrado en A-01-COMAL, que asciende a 6°C, por lo que en ambas estaciones sería conveniente el control de estas diferencias en próximas campañas, para determinar un posible impacto sobre las poblaciones piscícolas en relación con este parámetro.

- o La concentración de TDS es relativamente conservativa en los ríos Chilama, San Antonio y Comalapa, además de presentar valores similares entre ellos en cada uno de los años. La excepción se produce en el río El Jute, en el que los valores son más elevados en todos los años. En este río, el promedio asciende a 391.5 mg/l, y el valor máximo se registra en 2009 con 490 mg/l, con lo que en este río podrían ser necesarias ciertas restricciones en el riego a manta en momentos de máximos de TDS.

La turbiedad se mantiene sin embargo más variable en los ríos San Antonio y Comalapa, aunque los valores se mantienen relativamente bajos y dentro de la norma de calidad deseable para las aguas crudas según el Decreto 51; el máximo se registra en E-01-COMAL con 60 NTU, mientras los valores más bajos se registran en los ríos Chilama y El Jute (valores promedio de 11.3 y 6.8 NTU, respectivamente).

Por último, el color aparente también presenta mayor variabilidad, alcanzándose un máximo en E-02-ANTON de 327 unidades; además, en el tramo bajo del Comalapa ha sido habitual superar la

norma de calidad deseable para las aguas crudas, aunque no en el resto de ríos. Los valores más bajos vuelven a registrarse en los ríos Chilama y El Jute (media igual a 62.7 y 66.5 unidades Co-Pt, respectivamente).

- o A diferencia de lo observado en la mitad oeste, **en la mitad este hay mayor variabilidad espaciotemporal en materia de conductividad y sodio, siendo bajas las diferencias en el caso de la concentración de cloruros y RAS.** Los valores más altos de estos 4 parámetros se observan en el río **El Jute**, que en promedio presenta una conductividad de 509 $\mu\text{S}/\text{cm}$, unos cloruros de 28.1 mg/l, un sodio de 42.3 meq/l, y un RAS de 1.55. **En el resto de ríos, los valores son bastante homogéneos en el espacio y el tiempo**, de modo que los promedios globales ascienden respectivamente a: 244 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 7.2 mg/l, 25.1 meq/l y 0.79. Además el boro y los sulfatos se mantienen respectivamente por debajo y dentro del rango recomendado para su uso en el riego, según criterios del Decreto 51.
 - o Por último, **las concentraciones de cobre que han podido registrarse no superan los 0.01 mg/l en los ríos San Antonio, El Jute y Comalapa en el año 2006-2007.** En el caso del mercurio, los valores no superan el LMP específico en ninguna de las estaciones con dato, que son las siguientes: E-01-CHILAM y E-01-RJUTE. En el resto de estaciones y campañas, las concentraciones de cobre, mercurio y plomo son bajas, inferiores al límite de detección. Una vez más, en el caso del zinc y del arsénico todos los niveles son inferiores al LMP y en muchas ocasiones inferiores a la técnica analítica. En todos los parámetros en que aplica, incluyendo el cromo, las concentraciones también son inferiores al límite recomendado por FAO para el riego.
 - o Por último, se dispone de información de la **concentración de fenoles en el agua, que son relativamente diferentes entre ríos y dentro de cada río entre campañas, y cuyo valor promedio se ubica entre 1.1 mg/l registrados en el río San Antonio y 1.9 mg/l en Comalapa.** Aunque los valores puntuales no superan (salvo en E-02-COMAL en 2011) el límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l, sí se supera en casi todos la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinadas a potabilización a través de un tratamiento convencional (Decreto 51).
 - o Cerrando la valoración del estado de las aguas de esta mitad este de la Región Hidrográfica, los ICA obtenidos son indicadores de una calidad general de las aguas **“regular” en los ríos Chilama y San Antonio, entre “regular” y “mala” en el río Comalapa, y “mala” en El Jute.** Con estos resultados, las aguas podrían presentar algunas restricciones para la vida acuática y el contacto humano, con una probable menor diversidad de organismos acuáticos así como una mayor probabilidad de fuertes crecimientos algales, que sería más evidente en los ríos con peor valoración.
 - o Como comentario adicional, se destaca que del río Chilama se abastece la planta potabilizadora de Chilama, en el tramo bajo del río. A la vista de las calidades del agua registradas en las estaciones E-01-CHILAM, bastante aguas arriba de la toma de la planta potabilizadora, y de la estación E-02-CHILAM, aguas abajo de la misma, es muy probable que las aguas no estén cumpliendo con los requisitos necesarios para el uso de las aguas crudas para el consumo tras el tratamiento convencional, al menos en materia de fenoles y coliformes fecales.
- Región Hidrográfica Jiboa-Estero de Jaltepeque: que dispone de información para los ríos Jiboa (F-01-JIBOA a F-05-JIBOA), Jalpo (F-01-JALPO a F-03-JALPO), San Antonio (F-01-ANTON) y El Guayabo (F-04-GUAYA).

- o El río Jiboa presenta unas condiciones bastante homogéneas entre estaciones en materia de DBO₅, oxigenación y coliformes fecales, mientras el río Jalpo presenta unas condiciones más heterogéneas, sobre todo en la estación F-02-JALPO con respecto a las situadas aguas arriba y aguas abajo de ésta. En el Jiboa la DBO₅ se mantiene por debajo de 4 mg/l, a excepción de en el año 2011, cuando los máximos se sitúan en torno a 7 mg/l, y cuando se registran los mínimos de oxígeno disuelto, próximos a 4 mg/l. En las otras campañas la oxigenación mejora sustancialmente, con un promedio en torno a 7.2 mg/l. Por último, las concentraciones de coliformes fecales son moderadas y poco variables entre estaciones y campañas, de modo que en promedio ascienden a 4,025 NMP/100 ml.

Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, el río Jalpo presenta mayor heterogeneidad especial, siendo la estación que más dista de las demás F-02-JALPO, sobre todo debido a las altas concentraciones de coliformes fecales registradas. En este río el promedio de DBO₅ se mantiene en torno al 2.8 mg/l; mientras la oxigenación se sitúa en unos 7 mg/l, registrándose los mínimos de nuevo en 2011; las coliformes fecales promedio se sitúan en 31,500 NMP/ml, sobre todo influenciada por los máximo registrados en F-02-JALPO en 2007, de 160,000 NMP/100 ml; obviando este máximo los promedios descienden a 19,900 NMP/100 ml. Ver Figura 32

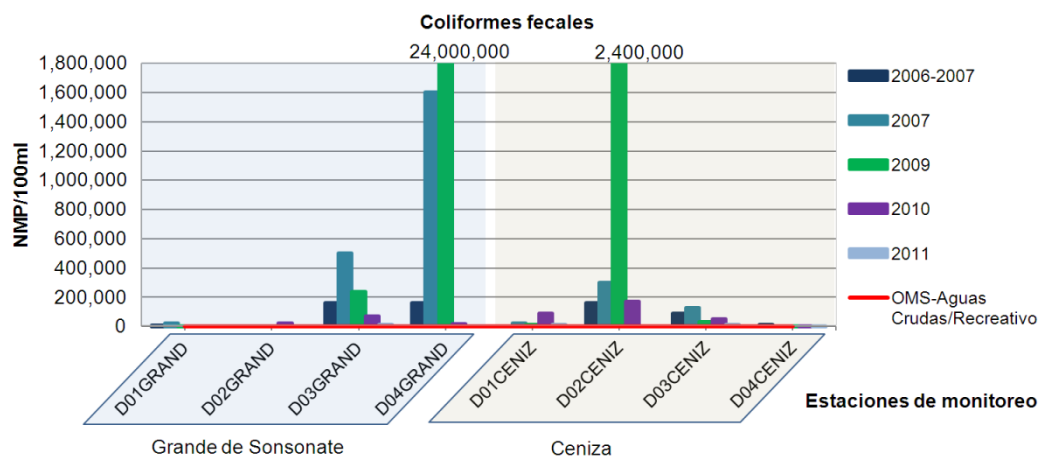


Figura 32. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de coliformes fecales en la Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque, en el periodo 2006-2011.

Otro máximo de coliformes fecales se registra en el río San Antonio en la única estación en la que se dispone de información, a una concentración similar al máximo registrado en el Jalpo, aunque el promedio para el resto de campañas se mantiene en 9,800 NMP/100 ml. Su oxigenación y concentración de DBO₅ está en un rango similar al de los ríos anteriores, al igual que también sucede en el río Guayabo, aunque en éste la oxigenación es sensiblemente inferior, en torno a 6.3 mg/l de valor promedio para las distintas campañas. En este río también son moderadas las concentraciones de las coliformes fecales, siendo el promedio de 14,250 NMP/100 ml.

- o En cuanto a las concentraciones de nutrientes, el nitrato tiende a aumentar sensiblemente de aguas arriba a aguas abajo, hasta la estación F-04-JIBOA donde se registra un promedio para todas las campañas de 1.53 mg N-NO₃/l; a partir de ésta desciende hasta F-05-JIBOA, donde se registra el



mínimo promedio de la serie del río, en 0.66 mg N-NO₃/l. La dinámica del nitrato en el río Jalpo no presenta una tendencia tan evidente, manteniéndose en promedio en torno a 1.13 mg N-NO₃/l. En los ríos San Antonio y Guayabo los promedios son similares a los observados en Jiboa y Jalpo. **Todos estos valores son habituales en las aguas para riego según FAO**, y son adecuadas para el tratamiento convencional de las aguas crudas que vayan a ser destinadas a consumo, así como para el uso recreativo con contacto directo.

El nitrógeno amoniacal difiere entre unos ríos y otros, siendo los valores más altos los registrados en Jalpo (valor promedio para el río en 2007: 0.54 mg N-NH₃/l), y los más bajos en Jiboa (promedio para el río en 2007: 0.18 mg N-NH₃/l). Estas concentraciones son inferiores al estándar de calidad ambiental establecido por la normativa peruana para el tratamiento convencional de las aguas crudas que se destinen a consumo (República del Perú, 2008).

En cuanto al fosfato, las concentraciones observadas en las distintas estaciones son relativamente similares, rondando un promedio global de 0.32 mg P-PO₄/l, valor muy superior al establecido por EPA a partir del cual pueden ser perceptibles problemas de eutrofización en ríos.

- o Independientemente de las variabilidades espaciales y temporales, más acusados en el Jiboa, los promedios finales de pH para los 4 ríos objeto de estudio son similares, entre 7.3 y 7.6 unidades, y no se observan valores extremos que puedan suponer una afección para los distintos usos. En el Jiboa se registran los valores mínimo y máximo de pH, que se registran respectivamente en F-01-JIBOA en 2007 con 6.5 unidades, y en F-03-JIBOA en el mismo año, con 8.6 unidades.

En materia de temperatura del agua, ésta presenta una diferencia moderada en algunas de las estaciones, siendo destacable sólo en F-04-JIBOA, en la que la diferencia entre ambas asciende a 4.9°C.

- o Las concentraciones de TDS son heterogéneas entre los 4 ríos estudiados, siendo las mayores concentraciones las registradas en el río Jiboa, sobre todo en las estaciones F-03-JIBOA, F-04-JIBOA y F-05-JIBOA en las campañas ejecutadas en los años 2007 y 2010. En este momento se registran máximos por encima de 500 mg/l, llegando hasta 735 mg/l en 2010 en F-04-JIBOA, lo que supone la superación del límite recomendado por EPA para las aguas destinadas a consumo humano, así como el umbral a partir del cual sería necesario la aplicación de ciertas medidas de restricción en el riego a manta según FAO. En el resto de ríos los promedios cambian de 197 mg/l en Jalpo, a 244 mg/l en Guayabo (Figura 33).

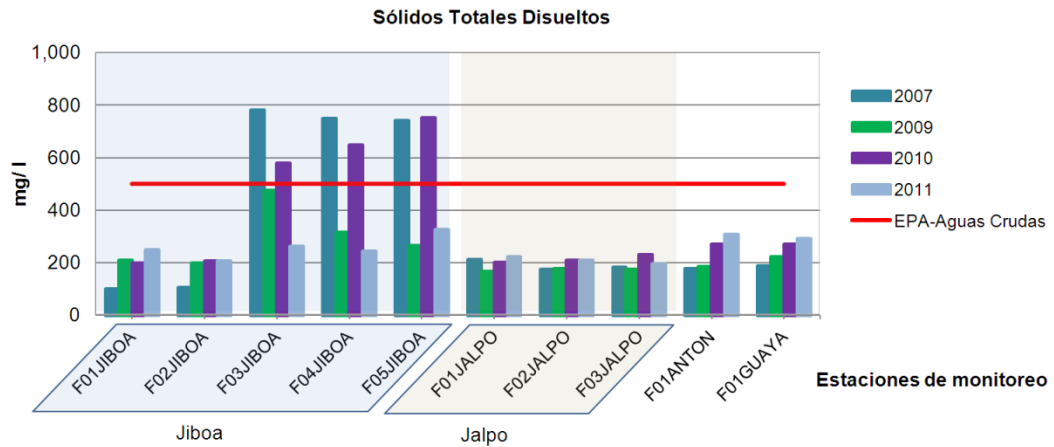


Figura 33. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de TDS en la Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque, en el periodo 2006-2011.

Lo mismo sucede con los parámetros turbiedad (Figura 34) y color, que son bajos en los ríos Jalpo, San Antonio y Guayabo, y muy elevados en los años 2009 y sobre todo 2010 en Jiboa. Los máximos registrados para ambos parámetros son 1,615 NTU en F-04-JIBOA, y 7,325 unidades de Co-Pt en F-03-JIBOA. Los promedios en los otros 3 ríos oscilan entre 10.9 NTU en San Antonio y 39.7 NTU en Guayabo en el caso de la turbiedad, y entre 33 unidades Co-Pt en San Antonio y 122 unidades en Guayabo en el caso del color aparente. Son por tanto valores moderados, que no suponen impedimento para el tratamiento convencional de las aguas previo al consumo.

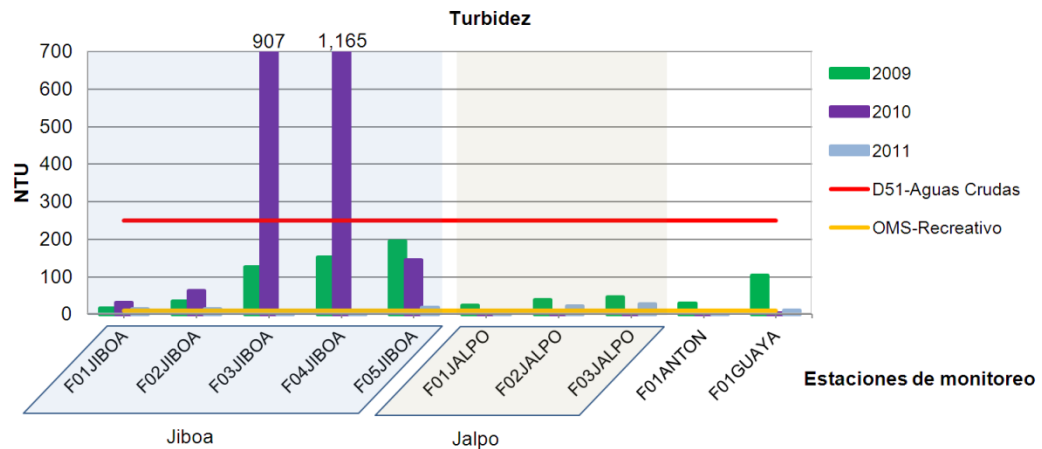


Figura 34. Dinámica espacio-temporal de la turbidez en la Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque, en el periodo 2006-2011.

- o Al igual que en el caso de los sólidos, las sales son más elevadas en el tramo medio-bajo del río Jiboa, desde F-03-JIBOA hasta F-05-JIBOA, sobre todo en los años 2007 y 2010, siendo en el resto de estaciones del Jiboa y en los ríos Jalpo, San Antonio y Guayabo muy inferiores a los anteriores. En materia de conductividad (Figura 35), los máximos ascienden en el Jiboa a 1,400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en

2007 y a 1,200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 201, mientras los máximos en el río Jalpo (es el que tiene los valores de conductividad más bajos) ascienden apenas a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De hecho, los valores de conductividad en este río son muy similares a los que presenta el tramo alto del río Jiboa, cuyo máximo asciende a 221 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El Guayabo y el San Antonio presentan un promedio algo superior, en torno a 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Con estos valores, todos los ríos incluyendo el tramo alto del Jiboa, presentan condiciones adecuadas para la vida piscícola y el riego, mientras en el tramo medio y bajo del Jiboa, se superan ambas normas deseables (Decreto 51) en 2007 y 2010.

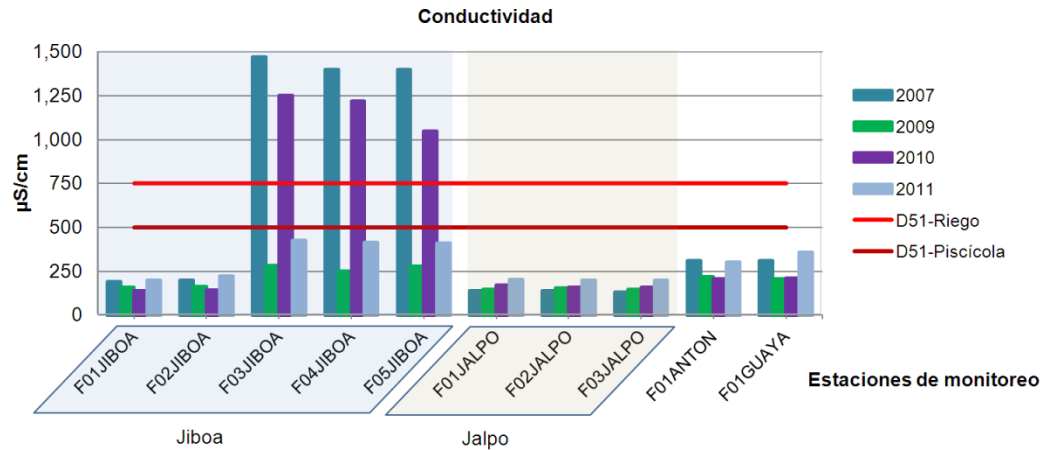


Figura 35. Dinámica espacio-temporal la conductividad en la Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque, en el periodo 2006-2011.

En lo que respecta a las concentraciones de cloruros (Figura 36), sulfatos, sodio, y RAS, de nuevo se observan máximos en el tramo medio-bajo del Jiboa, que ascienden en 2007 a 337 mg/l en el caso de los cloruros y 66.5 meq/l en el caso del sodio. Además de estos máximos, se registra un segundo máximo en el río San Antonio en el caso del sodio y del RAS, que se asemeja a los que se producen en el Jiboa en 2007. El resto de estaciones y campañas, obviando las situaciones de máximos, los valores son muy inferiores, siendo los promedios los siguientes: 6 mg/l de cloruros, 0.36 meq/l de sulfatos, 22 meq Na/l, 0.65 de RAS. Son por tanto valores moderados que no suponen afecciones para el riego (siendo incluso inferiores a las normas deseables para el riego en el caso del sodio) y el consumo tras tratamiento convencional de las aguas crudas (en el caso del cloruro).

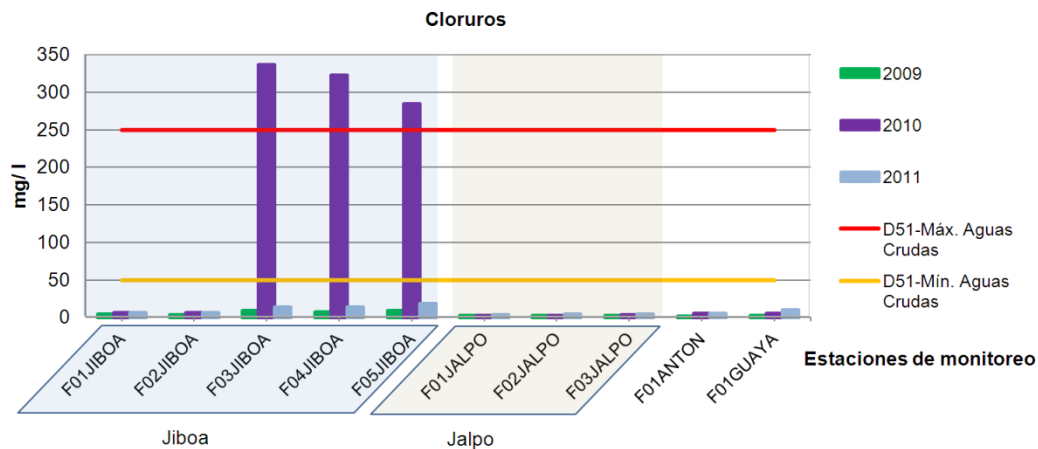


Figura 36. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de cloruros en la Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque, en el periodo 2006-2011.

Al igual que en el resto de ríos estudiados en esta Zona Hidrográfica, el boro se mantiene dentro del rango recomendado para su uso en el riego, según criterios del Decreto 51, aunque a concentraciones bajas, no detectables por la técnica analítica.

- o En lo que respecta a la concentración de metales, los niveles de cobre y mercurio se mantienen por debajo del límite de detección de la técnica analítica en todas las estaciones y campañas. Lo mismo sucede en el caso del plomo, aunque en este caso hay algunas estaciones con concentración por encima de dicho límite, aunque por debajo del LMP a partir del cual pueden aparecer efectos agudos sobre los peces. Es el caso de las estaciones F-03-JIBOA, F-02-JALPO y F-03-JALPO, F-01-ANTON y F-01-GUAYAYA. También hay bajas concentraciones de zinc y cromo, por lo que se mantienen por debajo de los LMP establecidos por EPA para la vida piscícola en el primer caso, y del límite recomendado para el riego por FAO en los dos casos. Por último, en el caso del arsénico, se registran valores ligeramente por encima de 0.1 mg/l recomendado para el riego en las estaciones F-03-JIBOA, F-04-JIBOA y F-05-JIBOA, aunque por debajo del recomendado para la vida piscícola.
- o Por último, las concentraciones de fenoles en el agua vuelven a ser superiores a la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinados a potabilización a través de un tratamiento convencional (Decreto 51), aunque sin embargo es inferior al límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l. Aun así, este límite sí se ve superado puntualmente, sobre todo en el tramo bajo del Jiboa. Las medias por río se sitúan entre los 1.3 mg/l registrados en San Antonio y El Guayabo, y los 2.1 mg/l de Jiboa.
- o Cerrando la valoración del estado de las aguas de esta Región Hidrográfica, los ICA obtenidos son indicadores de una calidad general de las aguas “regular” en el tramo alto del río Jiboa (delimitado por las estaciones F-01-JIBOA y F-02-JIBOA), y “mala” en el tramo medio y bajo (estaciones de F-03-JIBOA a F-05-JIBOA). De este modo, las aguas del Jiboa podrían presentar algunas restricciones para la vida acuática y el contacto humano, menor diversidad de organismos acuáticos así como

una mayor probabilidad de desarrollo de importantes crecimientos algales; todo ello más importante o palpable conforme se avanza aguas abajo del río.

En cuanto al río Jalpo, la valoración obtenida por este indicador es similar en todas las estaciones y campañas, siendo “regular”. En San Antonio y El Guayabo dos de los tres monitoreos analizados facilitan esta valoración, por lo que se puede considerar en promedio de calidad “regular”.

4.6.2. Análisis de los resultados de otros estudios específicos de la calidad de las aguas superficiales

4.6.2.1. Estudios específicos entre la Barra de Santiago y El Imposible

Los estudios realizados en el marco del Programa de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas en la cuenca entre la Barra de Santiago y El Imposible (Requena & Quintanilla, 1993), se han centrado en el monitoreo, en el caso de aguas superficiales, en abril de 1993 en los ríos Cara Sucia, Guayapa, El Naranjo y El Rosario (ver Figura 37), al igual que ya hiciera el MARN en el periodo 2006-2011; y adicionalmente en los ríos Izcanal y San Francisco. Se trata por tanto del ámbito de la **Región Hidrográfica C-Cara Sucia-San Pedro**. Los parámetros analizados son en su mayoría similares a los analizados recientemente por MARN, aunque los presentes trabajos facilitan una perspectiva complementaria en materia de carbonatos y bicarbonatos y coliformes totales.

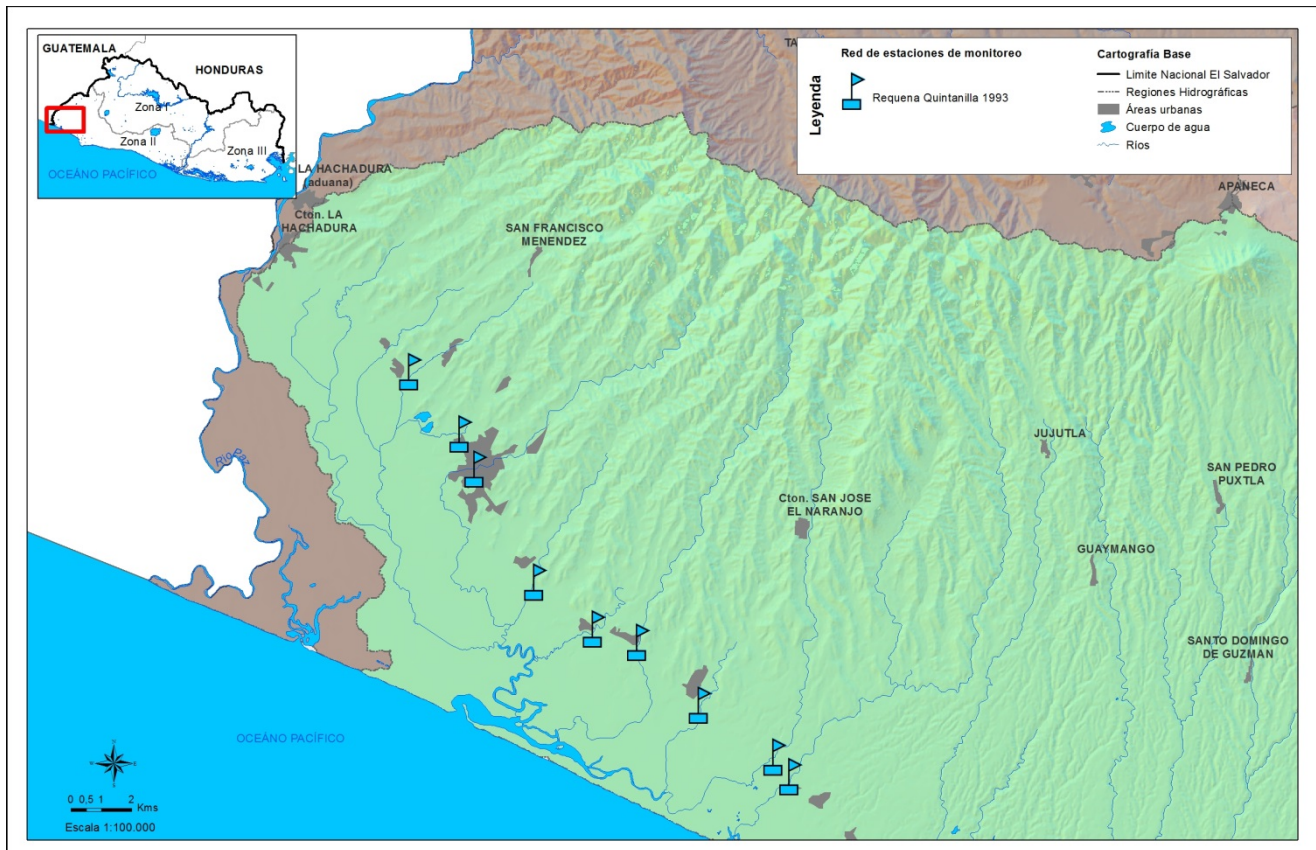


Figura 37. Sitios de muestreo en la cuenca entre la Barra de Santiago y El Imposible, en la Zona Hidrográfica II – Paz Jaltepeque, para el año 1993 (Requena & Quintanilla, 1993).

Los principales resultados se presentan a continuación:

- o **Las concentraciones de coliformes totales eran elevadas en todos los ríos a excepción de en El Rosario.** Los niveles observados ha sido muy superiores a los 1,000 NMP/100 ml establecidos por OMS para los coliformes fecales, por lo que **sería esperable que dicho criterio se estuviera superando en estas muestras. También se superaba la norma deseable para las aguas crudas que se deseen destinar a consumo tras un tratamiento convencional** (establecido por el Decreto 51 en 5,000 NMP/100 ml). Aun así, en los monitoreos recientes ejecutados por MARN, se cuantifican niveles de coliformes fecales muy superiores a las coliformes totales publicadas en 1993, por lo que **se puede concluir que se ha producido un empeoramiento significativo de la calidad de las aguas en estos ríos, al menos en lo que respecta a este parámetro.**

La oxigenación en estos muestreos era adecuada para la vida piscícola y las aguas crudas que precisen un tratamiento convencional (Decreto 51) en todos los puntos monitoreados, al igual que se ha observado por lo general en los trabajos del MARN, con concentraciones entre 7 y 5.4 mg/l, en los ríos San Francisco e Izcanal, respectivamente. Aun así, no resultaría muy adecuado para el uso recreativo con contacto directo dado que, salvo en San Francisco, los ríos presentan niveles inferiores a 7 mg/l.

- o **El pH era próximo a la neutralidad con tendencia a la basicidad en los ríos Guayapa, Cara Sucia y San Francisco; el rango de valores es similar al observado por el MARN, en valores promedio.** De este modo eran valores aptos para los distintos usos contemplados por el Decreto 51, así como para la vida piscícola según EPA, el riego según FAO, y el uso recreativo según OMS. Además, **los ríos presentan una temperatura entre 25 y 30°**, lo que según la Comisión Guatemalteca de Normas es adecuado para la vida piscícola, aunque el río Cara Sucia supone una excepción, al obtenerse 34.5°C.
- o **La turbiedad también presentaba valores relativamente bajos al igual que recientemente en los datos del MARN**, aunque en éstos últimos se observaran algunas excepciones en El Rosario. De hecho, los valores más altos en 1993 se observaron en los ríos El Rosario (75 FTU, unidad comparable con NTU a los presentes efectos), y Los Naranjos (85 FTU), y el mínimo en San Francisco, donde no ha sido cuantificado (0 FTU). Con ello, salvo en San Francisco, las aguas no serían adecuadas para el uso recreativo por contacto directo, aunque en todos los casos serían aptas para un tratamiento convencional previo al consumo.

Por último, **el color presentaba valores más destacables en El Rosario y en Los Naranjos** como se ha podido observar posteriormente en los datos del MARN. En este dato puntual de 1993, las aguas no son aptas para el consumo de las aguas crudas tras un tratamiento convencional, al igual que en El Naranjo (250 ud. Co-Pt en ambos), aunque sí el resto de ríos.

- o **La conductividad y la concentración de carbonatos, bicarbonatos y cloruros fueron adecuados para el riego** (FAO, 1985), con la excepción del río Cara Sucia, que presentó niveles altos de carbonatos, de 0.20 meq/l. La conductividad también estaba dentro del rango de la norma deseable para la propagación piscícola y para la producción de aguas de consumo tras un tratamiento convencional (Decreto 51). Del mismo modo que los niveles de cloruros también resultaron adecuados para este último uso, siendo de hecho inferiores al límite inferior de la norma de calidad deseable.

4.6.2.2. Estudios específicos en el sur de Ahuachapán

En el documento “Investigación sobre la calidad del agua en las subcuencas del sur de Ahuachapán” (UICN, 2005), elaborado en el marco del Proyecto de “Manejo Integrado de Cuencas Asociadas al Complejo Hidrográfico El Imposible – Barra de Santiago”, Ahuachapán, El Salvador, Centroamérica, se facilita una serie de analíticas realizadas en la Zona Hidrográfica II, principalmente en la Región Hidrográfica C-Cara Sucia-San Pedro:

- en los ríos Santa Rita, Faya, Ahuachapío, Cuilapa, Hoja de Sal, Zapúa, Metal, Tapahuashuya y San Pedro, de los que no se disponía de información a partir de los trabajos de MARN (2006-2011).
- en los ríos Cara Sucia, Guayapa, El Naranjo y El Rosario, de los que sí se dispone de información a partir de los trabajos de MARN.

También se dispone de información del río Huiscoyolate, ubicado en la Región Hidrográfica D-Grande de Sonsonate-Banderas, en la misma Zona Hidrográfica.

- A continuación se resumen las principales conclusiones en los ríos Santa Rita, Faya, Ahuachapío, Cuilapa, Hoja de Sal, Zapúa, Metal, Tapahuashuya y San Pedro, así como del río Huiscoyolate:
 - **Las concentraciones de DBO₅ y DQO superan en todos los muestreos disponibles** (ríos Santa Rita, Faya, Ahuachapío, Tapahuashuya y San Pedro), **los 4 mg/l de DBO₅ establecidos por el Decreto 51 como norma deseable para el tratamiento convencional de las aguas curdas previa a su consumo, y los 20 mg/l de DQO** establecidos por el Decreto Supremo 002-2008-MINAM (República del Perú, 2008) para el mismo uso. Los valores más altos se registran en el río San Pedro, siendo los máximos de DBO₅ próximos a 13 mg/l y los de DQO a 88 mg/l. También son superiores a los estándares de calidad ambiental establecidos por el citado Decreto Supremo para el uso recreativo con contacto directo (5 y 30 mg/l, respectivamente).

La oxigenación (se dispone de datos de nuevo en los ríos Santa Rita, Faya, Ahuachapío, Tapahuashuya y San Pedro) **parece adecuada para la propagación de la vida piscícola, el contacto directo en usos recreativos y el tratamiento convencional de las aguas crudas para su consumo.** Los valores promedio no descienden de 7,7 mg/l, medido en San Pedro, aunque hay algún río con valores aparentemente demasiado elevados, lo que puede estar indicando cierta sobresaturación derivada de problemas de calidad, como es el caso del río Ahuachapío, en el que en promedio se han medido 11,3 mg/l.

Las concentraciones de coliformes fecales y totales (se dispone de datos en todos los ríos, aunque en algunos casos no de ambos parámetros) **se presentan con frecuencia por encima de las recomendaciones de OMS (1,000 NMP/100 ml para el caso de las fecales) y de la norma de calidad deseable establecido por el Decreto 51 (5,000 NMP/100 ml para el caso de totales).** Las menores concentraciones se han observado en Zapúa y en Santa Rita, y las más altas en Faya y San Pedro, en los que se alcanzan máximos de coliformes fecales de 65,000 y 60,000 NMP/100 ml, respectivamente, y de coliformes totales de 145,000 y 195,000 NMP/100 ml.

- En materia de nutrientes, **las concentraciones de fosfato presentan importantes diferencias entre ríos, siendo en todos los casos valores promedio muy superiores al límite máximo establecido por EPA (EPA, 1986) a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en ríos.** Los valores promedio más bajos se observan en los ríos Santa Rita, Faya, Zapúa y Ahuachapío, en los que rondan los

0.15-0.20 mg P-PO₄/l; los promedio intermedios, se observan en el San Pedro (0.4 mg P-PO₄/l), Tapahuashuya y Huiscoyolate (0.7 mg P-PO₄/l) y Cuilapa (0.8 mg P-PO₄/l); y los más altos en Metal (1.4 mg P-PO₄/l) y Hoja de Sal (1.7 mg P-PO₄/l). Puntualmente (en los ríos Metal y hoja de Sal) se supera el rango de valores comunes para el agua de riego (FAO, 1985).

Se dispone de pocos datos de las formas del nitrógeno: **nitratos en Cuilapa, Hoja de Sal** (donde se registra el promedio más alto de 2.82 mg N-NO₃/l), **Zapúa, Metal y Huiscoyolate, que en todos los casos son adecuados para la irrigación, el consumo y el contacto directo.** Por otra parte se dispone de datos de **nitrógeno total en Santa Rita, Faya y Ahuachapío** (donde se alcanza el promedio más alto de 6.28 mg N/l), **Tapahuashuya y San Pedro.** En todos los casos se supera ampliamente el estándar de calidad para la contaminación del agua establecido por el Ministerio de Medio Ambiente de Japón, para uso industrial, agrícola y pesca (0.6 mg N/l).

- o El pH es un parámetro bastante conservativo entre ríos, de modo que los valores oscilan entre 7 y 8 unidades. De este modo son valores aptos para los distintos usos contemplados por el Decreto 51, así como para el riego según FAO. No se dispone de datos en Hoja de Sal, Metal ni Huiscoyolate. Además, los ríos presentan una temperatura que se mantiene por lo general entre 25 y 30°C, conforme a las recomendaciones de la Comisión Guatemalteca de Normas para la propagación piscícola.
- o La turbiedad presenta valores bajos en Tapahuashuya y Zapúa (valor promedio de 2.5-3.0 NTU), y algo superior en Cuilapa (17.7 NTU); con ello, en algunas ocasiones las aguas son adecuadas para el uso recreativo por contacto directo, y en todos los casos son aptas para un tratamiento convencional previo al consumo.

Sólo se dispone de datos de concentración de TDS y de color aparente en el río Zapúa, en el que ascienden a 352 mg/l y 1 ud. Co-Pt, con lo que son aguas adecuadas para el riego y el tratamiento convencional de las aguas crudas para el consumo, y no suponen una limitación para la vida piscícola.

- o La conductividad (datos disponibles en los ríos Santa Rita, Faya, Ahuachapío, Zapúa, Tapahuashuya y San Pedro), presenta valores bajos y muy similares entre sí, oscilando entre 100 y 200 µS/cm, siendo adecuados para el riego (FAO, 1985), salvo en el río Zapúa, donde es superior (491 µS/cm), aunque de nuevo apropiado para el riego.

Se dispone de datos de sales como el calcio, el magnesio y los bicarbonatos en el río Zapúa, en todos los casos dentro del rango de valores recomendados por FAO para el riego. También de cloruros, de nuevo adecuados para el riego, esta vez según el Decreto 51; y de metales como el hierro y el manganeso, que tampoco supondrían un problema para el riego (FAO, 1985), y que en el caso del hierro tampoco puede ser objeto de posible afección sobre los peces (EPA, 1986).

Se dispone también de datos de concentración de fluoruros y sulfatos en los ríos Cuilapa y Zapúa, en el primer caso adecuados para el consumo tras tratamiento convencional (Decreto 51) y el riego (FAO, 1985), y en el segundo para el riego.

- En los siguientes párrafos se realiza un análisis de los resultados obtenidos en los ríos Cara Sucia, Guayapa, El Naranjo y El Rosario:
 - o Las concentraciones de DBO₅ son en estos monitoreos también bastante moderadas, de modo que con carácter puntual se superan los 4 mg/l en El Naranjo, alcanzándose 5 mg/l.



En cuanto a las concentraciones de coliformes fecales, los máximos ya no se registran en Guayapa y El Naranjo, sino en Cara Sucia y El Rosario, con 90,000 y 30,000 NMP/100 ml, respectivamente. Con ello, los máximos tan elevados registrados por MARN no se están observando en estos trabajos, que ascendieron a 160,000 NMP/100 ml en 2006-2007 en la estación C-02-GUAYA, a 300,000 NMP/100 ml en 2009 en C-01-NARAN. Como novedad se dispone de datos de coliformes totales, que superan en casi todos los casos la norma de calidad deseable establecida por el Decreto 51 para el consumo de las aguas crudas que hayan sufrido previamente un tratamiento convencional.

Por último, la oxigenación es buena oscilando entre 7.5 y 8.3 mg/l.

- o En materia de nutrientes, las concentraciones de fosfato presentan importantes diferencias entre ríos, siendo los valores promedio entre 0.15 mg P-PO₄/l del río Cara Sucia y 0.73 mg P-PO₄/l del río El Rosario, con lo que son por lo general adecuados para la irrigación (FAO, 1985), aunque superan en todos los casos el límite máximo establecido por EPA (EPA, 1986) a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en ríos, como ya se observara en los datos de MARN.

En el caso del nitrato, las diferencias son poco destacables entre los ríos Cara Sucia, Guayapa y El Naranjo, en el que los promedios oscilan entre 0.32 y 0.54 mg N-NO₃/l, y algo superiores en El Rosario, con un promedio de 1.70 mg N-NO₃/l; son por tanto de nuevo niveles adecuados para la potabilización por tratamiento convencional, la irrigación y el uso recreativo por contacto directo. Adicionalmente, se dispone de datos de nitritos en dos estaciones en Cara Sucia, en el que ascienden en promedio a 0.18 mg N-NO₂/l, y compatible con el estándar de calidad ambiental establecido por el Decreto Supremo 002-2008-MINAM en Perú para el tratamiento convencional de aguas crudas que se quieran destinar al consumo y para el uso recreativo con contacto directo.

- o El pH es un parámetro bastante conservativo entre estaciones, de modo que los valores oscilan por lo general entre 7.5 y 8.2 unidades. De este modo son valores aptos para los distintos usos contemplados por el Decreto 51, así como para el riego según FAO, tal y como se ha observado con los datos del MARN (2006-2011). Además, los ríos presentan una temperatura que en casi todos los casos oscila entre 25 y 30°C.
- o La concentración de TDS muestra también pocas variaciones entre ríos. El valor medio para el conjunto de datos asciende a 144 mg/l, muy similar al observado en los datos del MARN. La turbiedad también presenta valores bajos y relativamente constantes, sin observarse valores extremos (el promedio para todo los datos asciende a 5.5 NTU); con ello, en la mayor parte de las muestras las aguas serían adecuadas para el uso recreativo por contacto directo, y en todos los casos son aptas para un tratamiento convencional previo al consumo.
- o Por último, se dispone de un par de datos de conductividad en el río Cara Sucia, siendo próximos a 155 µS/cm, y por tanto adecuados para el riego (FAO, 1985) y la propagación piscícola (Decreto 51).

También se dispone de un dato de sulfatos y fluoruros en el río El Rosario, siendo en el primer caso adecuados para el riego, y en el segundo caso para las aguas crudas.

4.6.2.3. Estudios específicos en el lago de Ilopango

El “Informe limnológico sobre la visita de campo en el lago de Ilopango” (Monterrosa, 2009), facilita una serie de resultados analíticos en julio de 2009 en 4 estaciones en el lago de Ilopango, dos de ellas en la zona que se denomina “El Sauce”, una cerca y otra en el propio proyecto pesquero Grupo El Sauce, y otras dos en “Candelaria”, una cerca y otra en el propio proyecto pesquero del Grupo Candelaria (Figura 38).

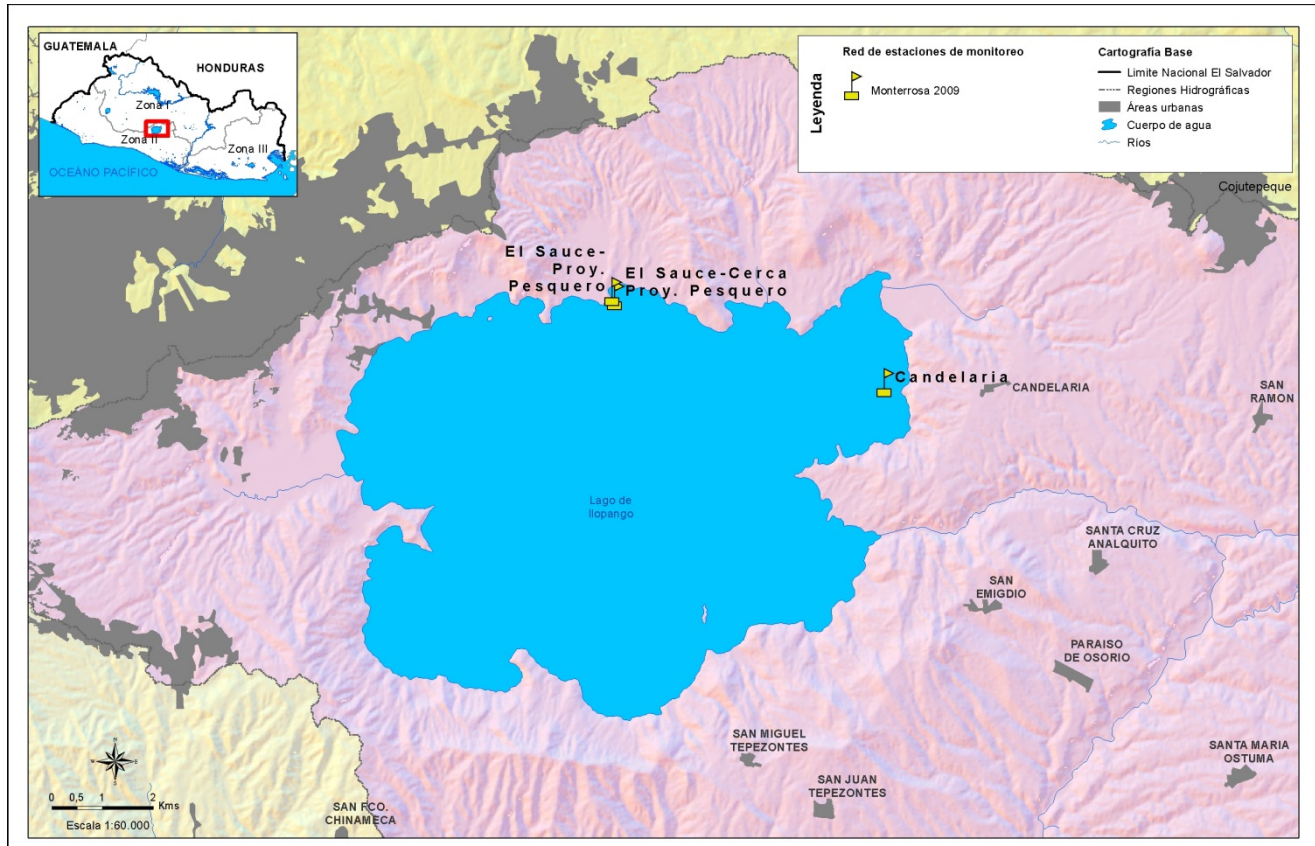


Figura 38. Sitios de muestreo en el lago de Ilopango, en la Zona Hidrográfica II – Paz Jaltepeque, para julio de 2009 (Monterrosa, 2009).

A continuación se presentan las principales conclusiones que se pueden extraer del estudio:

- Proyecto Pesquero Grupo El Sauce:
 - Según se especifica en el informe, las condiciones físico-químicas del agua en la zona de muestreo El Sauce presento una estratificación típica de los lagos tropicales. Además, el sitio de muestreo se relaciona de manera directa con la Quebrada Chanaquila, quebrada de invierno que desemboca en la zona de playa del Cantón y Caserío El Sauce, de sustrato arenoso, lo que indica que el flujo hídrico es más subterráneo que superficial.
 - Las aguas están bien oxigenadas, con la excepción de las profundidades 17 a 19 metros, en las que se registra una destacable desoxigenación, que llega a los 3 mg/l, lo que sitúa por debajo de las normas de calidad deseables para la propagación piscícola (Decreto 51), aunque dado que el

resto de columna de agua está bien oxigenado, no se espera que pueda producirse una afección sobre la misma debido a este parámetro. Además hay cierto estrato de la columna de agua en el que la oxigenación no es del todo adecuada para el contacto directo, aunque se registran a cierta profundidad, a las que se supone que no se vayan a desarrollar actividades recreativas (de 13 a 19 metros).

- o El pH presenta una destacable tendencia a la basicidad, y se mantiene dentro del rango de valores adecuado para el uso recreativo con contacto directo, y las aguas crudas que se destinen al consumo tras un tratamiento convencional e irrigación; en el caso de la propagación piscícola hay un cumplimiento mayor antes del proyecto que en el proyecto, en el que gran parte de la columna de agua supera el límite superior de la norma de calidad deseable para este uso; en el caso de la irrigación, la mayor parte de los valores se sitúan ligeramente por encima del límite superior establecido por el Decreto 51 como norma de calidad deseable (promedio de valores que superan las 8.4 unidades establecidas como límite superior: 8.6 unidades).
- o La temperatura se mantienen entre 25 y 30°C, lo que según la Comisión Guatemalteca de Normas es adecuado para la vida piscícola. Además, la desviación de la temperatura del agua con respecto a la ambiental no supera los 3°C, lo que de nuevo supone unas condiciones adecuadas para la ictiofauna (Decreto 51).
- o En materia de conductividad, antes del proyecto los valores son elevados, ascendiendo en promedio para toda la columna de agua a 1,972 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con lo que están por encima de las normas de calidad deseables para la irrigación, la propagación piscícola y las aguas crudas, aunque es importante tener en consideración que se trata de valores adecuados para el riego según criterios de FAO. Sin embargo, en el proyecto los valores son bastante inferiores (1,463 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en promedio para toda la columna de agua), de modo que aun superando las normas deseables para riego y propagación piscícola, no lo superan en el caso de aguas crudas.
- o Por último, se dispone de valores de concentración de los sólidos totales disueltos, siendo en todos los casos adecuados para la irrigación y las aguas crudas.

Además de estas condiciones, se dispone de información del plancton, en la que se reportaron 12 especies de fitoplancton (algas), entre las que es frecuente la cianofita *Lyngbya sp.* (57 células/ml, 52% de presencia); y 3 especies de zooplancton (fauna microscópica). Existe diferencia en la composición del fitoplancton de ambos sitios monitoreados y esto se debe más a la presencia del ingreso de agua dulce por el río temporal que ingresa sobre el sitio el Sauce, el cual es denominado Quebrada Chanaquila.

■ Además, Proyecto Pesquero Grupo Candelaria:

- o Según se indica en el informe, este sitio presenta una condición diferente a la Zona conocida como El Sauce, no se evidencia una estratificación térmica pero si existen cambios significativos de los parámetros después de los 14 metros de profundidad. Además, no se evidencian cambios significativos de la calidad del agua tanto fuera como dentro de la infraestructura. Situación que es muy diferente para el proyecto Pesquero El Sauce.
- o Las aguas están bien oxigenadas, cumpliendo las normas de calidad deseables para la propagación piscícola a lo largo de toda la vertical (Decreto 51).

- o El pH, de nuevo básico y similar al observado en el Proyecto Pesquero El Sauce, se mantiene dentro del rango de valores adecuado para el uso recreativo con contacto directo, y las aguas crudas que se destinen al consumo tras un tratamiento convencional e irrigación, aunque en el caso de la propagación piscícola y de la irrigación, la mayor parte de los valores se sitúan ligeramente por encima de los límites superiores establecidos por el Decreto 51 como norma de calidad deseable para ambos usos (promedio en 8.7 unidades).
- o De nuevo la temperatura se mantienen entre 25 y 30°C, lo que según la Comisión Guatemalteca de Normas es adecuado para la vida piscícola. Además, la desviación de la temperatura del agua con respecto a la ambiental no supera los 3°C, lo que de nuevo supone unas condiciones adecuadas para la ictiofauna (Decreto 51).
- o Con lo que respecta a la conductividad, no se observan tantas diferencias entre zonas (cerca y en el propio proyecto), de modo que en la mayor parte de la columna en ambas zonas se superan las tres normas deseables anteriormente comentadas. Los promedios ascienden a 1,970 $\mu\text{S}/\text{cm}$ cerca del proyecto, y a 1,983 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el proyecto.
- o Por último, se dispone de valores de concentración de los sólidos totales disueltos, siendo en todos los casos adecuados para la irrigación y las aguas crudas.
- o En cuanto al plancton, únicamente se reportaron 6 especies de fitoplancton (no hay una especie tan dominante, aunque sí codominancia de la cloroficea *Sphaerocystis sp.* con las acompañantes *Staurastrum gracile* y *Closteriopsis longissima*, junto con *Lyngbya sp.*); y 3 especies de zooplancton.

A la vista de esta información, se pone de manifiesto que no se dispone de información suficiente para valorar la idoneidad de la calidad del agua para el uso de las aguas para el consumo humano tras un tratamiento convencional. Esto se indica dado que en el lago de Ilopango hay en proyecto potabilizador de agua en fase experimental, y sería conveniente disponer de información de la calidad de las aguas. Aún así, a la vista de la composición algal observada, parece bastante probable que el lago tenga problemas de eutrofización.

4.6.2.4. PREPAC

El documento “Plan Regional de Pesca y Acuicultura Continental –PREPAC. Inventario de cuerpos de agua continentales de El Salvador, con Énfasis en la pesca y la acuicultura” (OSPESCA-TAIWAN-OIRSA-MAG, 2005), presenta los resultados de un estudio físico-químico detallado a nivel espacio-temporal en el Estero de Jaltepeque, entre octubre de 2005 y marzo de 2006 (Figura 39).



Figura 39. Sitios de muestreo en Estero de Jaltepeque, entre octubre de 2005 y marzo de 2006, en la Zona Hidrográfica II – Paz Jaltepeque (OSPESCA-TAIWAN-OIRSA-MAG, 2005).

En materia de la oxigenación, el estudio pone de manifiesto diferencias espaciales a lo largo del año, siendo lo más destacable la influencia que ejerce el río Lempa, que favorece una re-oxigenación de la zona de recepción de sus caudales, sobre todo en el mes de septiembre; además, las concentraciones de oxígeno disuelto descienden durante noviembre en todo el estero, asociado probablemente a la degradación de la materia orgánica presente en el estero por escorrentía. En diciembre el estero se diferencia en dos grandes zonas, siendo mayor la oxigenación en el extremo oriental (6-7 mg/l) y menores en el extremo occidental. A pesar de ello, **en enero (época seca), la oxigenación desciende en todo el estero hasta 4-5 mg/l**, ya que empieza a ser una concentración relativamente limitante para la vida piscícola.

En materia de DBO_5 , los máximos se han registrado en la estación 2 (Los Blancos) en diciembre de 2005, y en la estación 8 (La Colorada) en octubre del mismo año, con 6 mg/l, por lo que se puede afirmar que se trata de **valores moderados**. Además hay **presencia de aceites y grasas**, de procedencia mayoritariamente doméstica de las comunidades que habitan en las orillas de los canales, y de los motores fueraborda, lo que va en contra de las recomendaciones de la EPA, que especifica que no se deben observar en la superficie del agua para el uso recreativo y la fauna.

Se tiene conocimiento de la **existencia de grandes cantidades de bacterias y organismos mesófilos aerobios así como coliformes totales, y la presencia de *Escherichia coli*** en diciembre de 2005 en las estaciones 1-La Herradura, 6-La Bocana, 8-La Colorada y 10-El Chingo. Aun así hay **presencia de coliformes totales en todas las campañas y estaciones, siendo las más elevadas las cuantificadas en la misma campaña en 8-La Colorada**, en la que se alcanzan 75,000 NMP/100 ml, muy por encima del umbral recomendado por la OMS. Con ello, en el informe se concluye que es obvio que las aguas que llegan al estero transportan las excretas de las comunidades adyacentes, aunque aclara que las enterobacterias no sobreviven en un medio salino como el presente.

En lo que respecta a los nutrientes, **los fosfatos aumentan durante el periodo de lluvias** por el lavado de los suelos que se produce aguas arriba, y las aguas domésticas que entran al estero. De este modo, se llegan a cuantificar máximos de 2.5 mg P-PO₄/l, valor **muy superior al recomendado por EPA a partir del cual se pueden hacer perceptibles problemas en ríos y lagos**. Las formas del nitrógeno alcanzan los máximos en octubre y noviembre, siendo en el caso del nitrógeno amoniacal de 0.4-0.5 mg N-NH₃/l, aunque a partir de diciembre descienden a niveles no detectables; lo mismo sucede con el nitrito, que llega a un valor máximo de 0.16 mg N-NO₂/l; y con los nitratos, que de nuevo son mayores en la época lluviosa, llegando a un máximo de 2.6 mg N-NO₃/l.

En cuanto al pH, es en los meses lluviosos, de septiembre a noviembre, cuando se registran los valores más bajos, aunque **a partir de diciembre se hace evidente la influencia de las aguas costeras**, aumentando el pH en una parte del estero (hasta 8.4 unidades), mientras los más bajos se registran en la zona norte, alcanzándose mínimos de 6.7 unidades en la zona de El Chingo.

En cuanto a la turbiedad, los mayores valores se registran entre octubre y diciembre, con valores superiores a 20 NTU en el extremo occidental, y 160 NTU en el oriental, **por donde se realizan los aportes desde el Lempa**. De diciembre a enero, con la reducción de aportes de agua dulce, hay una reducción considerable de turbiedad en todo el estero (10 NTU).

Por otra parte, las concentraciones de **hierro** se sitúan en torno a 0.15-0.10 mg/l, salvo excepciones, como la zona 8 (La Colorada) y la 4 (Quislúa), en las que se alcanzan 0.48 mg/l. Son en todos los casos **inferiores al límite máximo establecido por EPA a partir del cual podrían aparecer efectos agudos en los peces**.

Además de estos análisis en agua, el estudio presenta resultados analíticos de muestras de metales (mercurio, arsénico y plomo) tomadas en tejido de pescado, debido al consumo que se realiza en las poblaciones aledañas, y al efecto bioacumulativo que éstos pueden presentar en la cadena trófica. Como principales conclusiones se destaca que **los valores no superan las normas sanitarias establecidas por la FDA, de 0.5 ppm**. En materia de bioacumulación, se destaca que el **pargo y el róbalo son las especies que mayores niveles de mercurio presentan, especialmente en la zona de la estación 8-La Colorada**, próxima al Lema, cuyo origen se cree natural y de la actividad industrial desarrollada aguas arriba; **en el caso del arsénico las mayores acumulaciones se registran en la chimbera, el jurel y el ruco; en el del plomo en el pargo, el ruco y la chimbera**.

También se dispone de datos de **pesticidas en sedimentos, obteniéndose en todas las muestras un resultado negativo**, con la excepción de pequeñas cantidades de DDE en las estaciones 1, 2, 4 y 8, y de beta-endosulfán en la estación 4.

Por último, se realizaron estudios de plancton que revelan se produjo un crecimiento de las algas diatomeas en diciembre que enmascaró el crecimiento que se produjo de dinoflagelados durante dicho mes. Además, se observa un comportamiento acoplado del zooplancton, presentando su máximo de densidad en diciembre.

4.6.2.5. Estudios específicos en el río Jiboa

En los trabajos de Diagnóstico de la calidad de agua en época seca en el canal principal del río Jiboa y propuesta de mitigación de fuentes contaminantes, en una zona crítica (Cordero, Franco, & Hernández, 2005), se han realizado unos **muestreos a lo largo del río Jiboa, perteneciente a la Región Hidrográfica F- Jiboa-Estero de Jaltepeque de la Zona Hidrográfica III.** En la Figura 40 se muestra la distribución de las estaciones de muestreo:

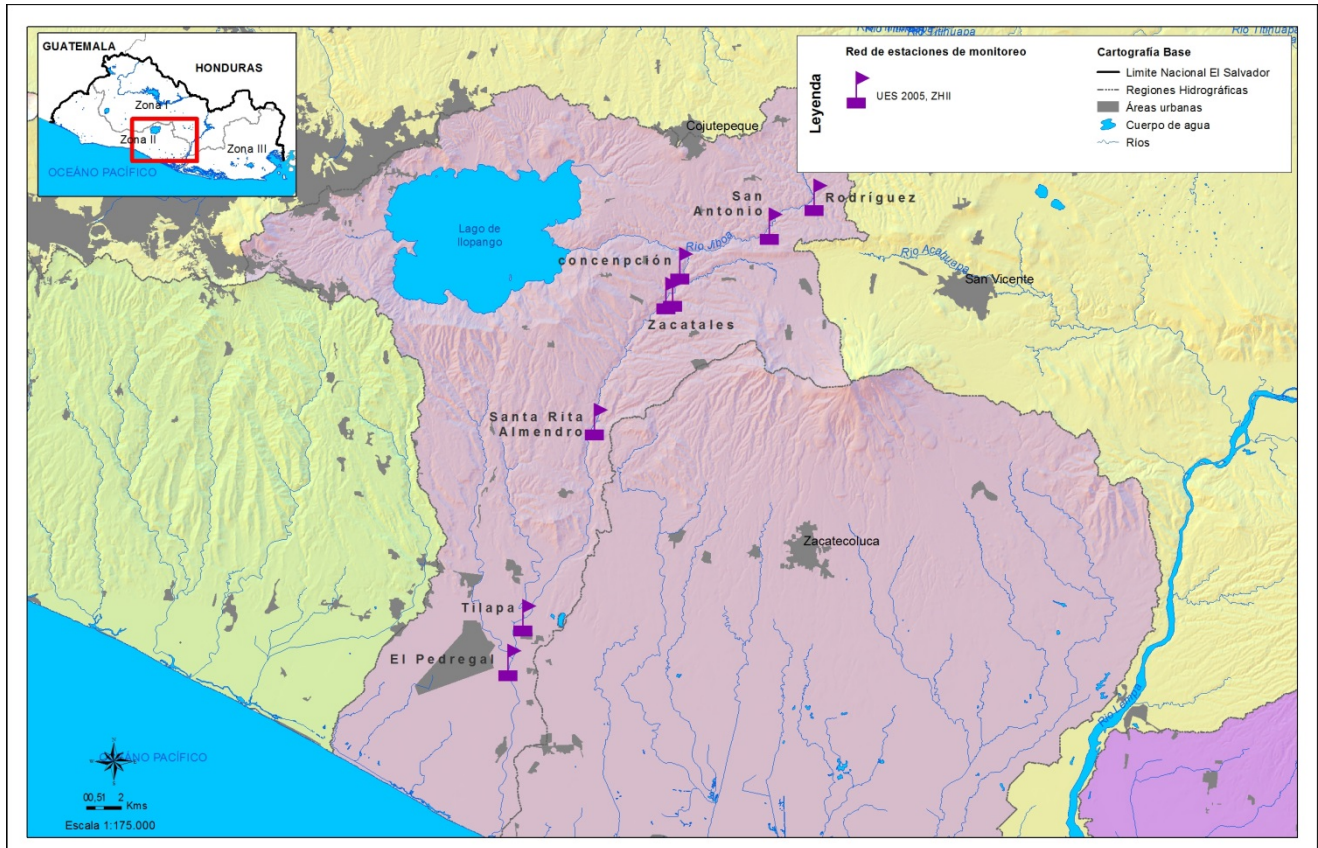


Figura 40. Sitios de muestreo en el río Jiboa (Cordero, Franco, & Hernández, 2005).

Esta información complementa la facilitada por el MARN en el periodo 2006-2011, facilitando información adicional en el caso de las formas de la materia orgánica (DQO), del nitrógeno (nitritos), y de formas como el sulfuro y los aceites y grasas, por lo que se resume a continuación las principales conclusiones extraídas a la vista de los resultados analíticos que esta fuente de información facilita:

- o El río Jiboa presenta en 2005, como ya presentara a la vista de los datos del MARN (2006-2011), unas condiciones relativamente bajas y homogéneas entre estaciones en materia de DBO_5 , manteniéndose por debajo de 4 mg/l en todas las estaciones salvo en 08JIBOA (Caserío El Pedregal: 5 mg/l). Sin embargo, **la DQO es elevada** teniendo en cuenta los estándares de calidad ambiental establecidos por la normativa peruana para las aguas crudas que sean destinadas a consumo tras un tratamiento convencional, y para uso recreativo con contacto directo (República del

Perú, 2008), sobre todo en las estaciones 03, 04 y 08JIBOA (150, 71.5 y 75.0 mg/l, respectivamente).

En cuanto a la **oxigenación se mantiene de nuevo adecuada para la vida piscícola**, siendo las concentraciones más altas en el tramo medio/medio-bajo, entre 03 y 06JIBOA (valor promedio 7.5 mg/l), habiendo cierta desoxigenación en 08JIBOA.

- o En cuanto a las concentraciones de nutrientes, al igual que se observara en los datos de MARN, **el nitrato tiende a aumentar sensiblemente de aguas arriba a aguas abajo, hasta la estación 06JIBOA (que podría considerarse homóloga a F-04-JIBOA de MARN)**; a partir de ésta desciende hasta 07JIBOA (homóloga a F-05-JIBOA de MARN). Sin embargo, los valores registrados en 2005 son superiores a los vistos en el periodo posterior, oscilando entre 1.46 mg N-NO₃/l en 02JIBOA a 8.01 mg N-NO₃/l en 08JIBOA. A pesar de ello, **los valores siguen siendo habituales en las aguas para riego según FAO**, y adecuados para el tratamiento convencional de las aguas crudas que vayan a ser destinadas a consumo, así como para el uso recreativo con contacto directo.

El nitrógeno amoniacal promedio para el río ascendió en 2005 a 0.49 mg N-NH₃/l, bastante superior al promedio para el río en 2007, de 0.18 mg N-NH₃/l, aunque siguen siendo inferiores al estándar de calidad ambiental establecido por la normativa peruana para el tratamiento convencional de las aguas crudas que se destinen a consumo (República del Perú, 2008).

Como novedad, se dispone de datos de nitritos, cuyo valor promedio asciende a 0.035 mg N-NO₂/l, siendo las máximas concentraciones las observadas en 03JIBOA, con 0.071 mg N-NO₂/l, y que por tanto, se sitúan muy por debajo de los estándares de calidad ambiental establecido por la normativa peruana para el tratamiento convencional de las aguas crudas que se destinen a consumo y para las aguas que sean destinadas a uso recreativo que impliquen contacto directo (República del Perú, 2008).

Por último, en cuanto al fosfato, las concentraciones observadas en las distintas estaciones son relativamente similares, rondando un promedio global de 0.42 mg P-PO₄/l, parecido al observado en 2011 (0.36 mg P-PO₄/l), y por tanto una vez más muy superior al establecido por EPA a partir del cual pueden ser perceptibles problemas de eutrofización en ríos.

- o **El promedio de pH para el río asciende a 8.4 unidades, diferenciándose con respecto al periodo posterior en que los valores mínimos no son próximos a la neutralidad** (mínimo en 02JIBOA con 7.82 unidades), con lo que los promedios son más altos que entonces (7.6 unidades para el periodo 2007-2011). Aun así es adecuado para los distintos usos, quizá un poco elevado para el riego (valores ligeramente por encima de 8.4 unidades establecidas por FAO como límite superior recomendable).

En materia de temperatura del agua, ésta presenta una diferencia moderada en algunas de las estaciones, siendo destacable en F-04-JIBOA en 2007 y de nuevo más destacable en su homóloga 06JIBOA, en la que la diferencia entre ambas asciende a 4.9°C en 2007 y a 5.2°C en 2005. Además, el agua se mantiene por lo general entre 25 y 30°C, rango adecuado según la Comisión Guatemalteca de Normas para la vida piscícola, aunque en el tramo bajo aumenta ligeramente por encima de 30°C.

- o **Los valores de la turbiedad y del color presentan importantes diferencias entre el tramo alto, y el tramo medio y bajo, siendo muy superiores en las estaciones 04JIBOA a 05JIBOA en el caso de la**

turbiedad (promedio para ambas estaciones de 470 NTU) y de la 03JIBOA a la 05JIBOA en el caso del color (promedio de los máximos en 1,470 ud. Co-Pt). Esta tendencia también se observa en el periodo 2006-2011, momento en el que los máximos para ambos parámetros ascendieron a 1,615 NTU en F-04-JIBOA, y 7,325 unidades de Co-Pt en F-03-JIBOA. Con estos y otros valores, la mayor parte del río presenta un color no apto para el consumo tras tratamiento convencional, así como la turbiedad en algunas estaciones.

- o Al igual que en el caso de los sólidos, la conductividad es más elevada en el tramo medio-bajo del río Jiboa, como se ha observado en el periodo reciente, aunque son adecuadas para la vida piscícola y el riego, lo que supone una importante diferencia con respecto a muestreos posteriores, en los que en el tramo medio y bajo del Jiboa, se superaron ambas normas deseables (Decreto 51) en 2007 y 2010.

En lo que respecta a las concentraciones de cloruros, son moderados por lo que no suponen afecciones para el riego y el consumo tras tratamiento convencional de las aguas crudas en ninguno de los puntos del río, lo que contrasta con algunos máximos. El valor promedio asciende a 0.16 meq/l.

- o En lo que respecta a la concentración de metales, se dispone de información de las concentraciones de zinc, que en promedio asciende a 0.04 mg/l, y que se mantiene por debajo de los límites establecidos para la vida piscícola, la irrigación y las aguas crudas destinadas a consumo tras ser objeto de un tratamiento convencional.
- o Por último, las concentraciones de fenoles en el agua vuelven a ser elevadas, superiores a la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinados a potabilización a través de un tratamiento convencional (Decreto 51), como ya se ha observado a la vista de los datos del MARN en el periodo reciente; sin embargo, además en 2005 son superiores a lo largo del río al límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l, sobre todo en 05 y 06JIBOA, con 15 mg/l en cada una. El mínimo se registra en 04JIBOA, con 2.5 mg/l, única estación en la que no se supera este límite.
- o Como novedad, se dispone de datos de sulfuros, que son muy inferiores a los establecidos como estándar de calidad ambiental por la normativa peruana para el uso recreativo con contacto directo; en promedio asciende a 0.0064 mg/l. También se han analizado muestras de aceites y grasas, resultando en ausencia de este contaminante en todas ellas.
- o Por último, la valoración del estado de las aguas a través del ICA es coincidente con los observado por MARN: “regular” en el tramo alto del río Jiboa (01 y 02JIBOA), y “mala” en el resto (estaciones de F-03-JIBOA a F-05-JIBOA). De este modo, las aguas del Jiboa podrían presentar algunas restricciones para la vida acuática y el contacto humano, menor diversidad de organismos acuáticos así como una mayor probabilidad de desarrollo de importantes crecimientos algales.

4.7. PRINCIPALES CAUSAS Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN ZONA HIDROGRÁFICA II-PAZ JALTEPEQUE

Para poder definir unas líneas con estrategias de actuación que ayuden a conservar y/o recuperar el entorno, es decir, que permitan identificar las medidas correctoras adecuadas con la priorización correspondiente, es fundamental partir de una correcta definición de las presiones asociadas a las masas de aguas.

En los apartados de este punto se realiza de forma descriptiva las presiones identificadas a nivel de región hidrográfica, siempre que sea posible.

4.7.1. Metodología

La metodología empleada es análoga a la explicada en la Zona Hidrográfica I-Lempa.

En los siguientes acápite se presenta la información sobre el tipo de las presiones antropogénicas a las que pueden verse expuestas las masas de agua superficiales relacionadas con la contaminación del agua, en especial:

- Estimación e identificación de la contaminación de fuente puntual, producida por sustancias procedentes de instalaciones y actividades urbanas, industriales, agrarias y de otro tipo. Para ello se ha partida de información bibliográfica y de los trabajos de Inventario de Vertidos en Zonas Prioritarias.
- Estimación e identificación de la contaminación de fuente difusa, producida especialmente por sustancias procedentes de instalaciones y actividades urbanas, industriales, agrarias y de otro tipo.

A pesar de estas limitaciones en la determinación de la magnitud de las presiones, sí se ha podido observar un efecto negativo probado de las presiones identificadas sobre las masas de agua superficiales, debido al deterioro generalizado observado en los principales parámetros de calidad.

4.7.2. Contaminación originada por fuentes puntuales

Tal y como ya se comentado en la Zona Hidrográfica I-Lempa, se ha observado una serie de problemas comunes a lo largo del territorio salvadoreño, que en gran medida se debe al bajo índice de cobertura de alcantarillado sanitario en el país (que se concentra en un alto porcentaje en San Salvador), y al prácticamente inexistente tratamiento de las aguas residuales urbanas e industriales antes de su vertido a las aguas superficiales y al terreno, lo que acaba contaminando seriamente las aguas superficiales y subterráneas. Esto resulta preocupante en aquellas zonas donde se usa el agua para consumo por el consecuente impacto sobre la salud.

Además de las presiones por vertidos directos a cauce de aguas residuales domésticas e industriales, otra presión de tipo puntual sobre las aguas superficiales puede ser la actividad acuícola.

A continuación se identifican las principales presiones de tipo puntual comentadas.

4.7.2.1. Vertidos ordinarios y especiales

De acuerdo a la información disponible y a la recopilada en campo durante la fase de “Actualización del Inventario de vertidos” se han identificado un total de 95 vertidos cuyo destino se produce a cauce, ya que son los que pueden producir un deterioro de las aguas superficiales. Asimismo se han incluido en este apartado aquellos vertidos de los que no se conoce su destino (32 vertidos).

Por otro lado, se cuenta con un listado de rastros aportado por el MARN, los cuales forman parte de este tipo de contaminación puntual, generando vertidos de carácter especial. De éstos únicamente se conoce el municipio al que pertenecen, pero no se dispone de ningún dato de localización y del cauce al que producen el vertido.

En los planos del Anexo III (Apéndice III.1), que se adjuntan al presente documento se visualiza la distribución de los vertidos ordinarios y especiales en el ámbito de estudio, respectivamente; incluyendo los rastros, adicionalmente se adjuntan en el Apéndice III.3 tablas detalladas con información de interés de los mismos.

El informe de la “Actualización del Inventario de Vertidos”, se incluye en el Anexo IV, donde se puede ver con más detalle la información relativa a los vertidos inventariados.



En la **Región Hidrográfica B-Paz**, el número de vertidos identificados de tipo ordinario es de 16, distribuidos en los departamentos de Ahuachapán (municipios de Ahuachapán, San Francisco Menéndez y Tacuba) y Santa Ana (San Sebastián Salitrillo y Santa Ana); mientras que de tipo especial el número desciende a 11 localizados la mayoría en el departamento de Ahuachapán, en los municipios de Ahuachapán, Concepción de Ataco y San Lorenzo, y en menor medida en el municipio de Chalchuapa perteneciente al departamento de Santa Ana. Del total de vertidos, 7 disponen de tratamiento y 3 carecen de él, mientras que de 1 no se dispone de esa información.

En lo que respecta a la **Región Hidrográfica C-Cara Sucia**, únicamente se cuenta con 9 vertidos identificados, localizados principalmente en los municipios de San Francisco Menéndez y San Pedro Puxtá (departamento de Ahuachapán). De estos vertidos, uno es de carácter especial sin tratamiento previo (municipio de San Francisco Menéndez) y el resto se trata de vertidos ordinarios sin tratamiento (en uno de ellos se desconoce si se realiza o no).

A continuación en la **Región Hidrográfica D-Grande de Sonsonate**, el número de vertidos encontrados asciende a 77, concentrados en su mayoría en el municipio de Sonsonate. De éstos, 46 son de carácter ordinario, careciendo la mayoría de un tratamiento de depurativo previo. El resto de vertidos es de tipo especial, de los cuales 2 poseen tratamiento, 9 no disponen de ello, y en 20 se desconoce si se realiza algún proceso de depuración.

En la **Región Hidrográfica E-Mandinga Comalapa** se cuenta con 21 vertidos identificados repartidos entre los departamentos de San Salvador, La Paz La Libertad. De estos vertidos 15 son de tipo ordinario, con tratamiento la mayoría y 6 de tipo especial, desconociéndose si se realizan algún tratamiento sobre los mismos.

Por otro lado, en la **Región Hidrográfica F-Jiboa - Estero de Jaltepeque**. 27 son los vertidos identificados, extendiéndose entre la parte media y baja de la región. 16 corresponden a un tipo ordinario (8 disponen de tratamiento, 9 carecen de él y 11 se desconoce) y 11 a un tipo especial (sólo 2 con tratamiento y 8 sin información al respecto).

Los informes de “Levantamiento de fuentes contaminantes del recurso hídrico. Informe final. Levantamiento mediante trabajo de campo del inventario de las principales fuentes contaminantes del recurso hídrico identificadas tanto subterráneas como superficiales” (Ventura, 2005), y “Análisis del marco técnico y jurídico de las aguas residuales (manejo, reuso de aguas, con caracterización y disposición de lodos; y propuesta de normas técnicas)” (MARN-AMBIENTEC, 2008), facilitan una información de gran interés en materia de la calidad de los vertidos que se están produciendo, en los momentos de edición de los citados informes, en el ámbito de la Zona Hidrográfica II – Paz Jaltepeque.

En la Región Hidrográfica B-Paz se ha estudiado una única fuente de contaminación, que siguiendo la nomenclatura de actividades establecidas en la **Norma Salvadoreña Obligatoria: NSO. 13.49.01:09 “Aguas. Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor”**, se dedica a la Actividad IV. Productos de las industrias alimentarias, bebidas, líquidos alcohólicos, tabaco y sucedáneos. Se denomina “Beneficio Venecia” (Código interno V106), se ubica en el municipio de San Sebastián Salitrillo (Departamento de Santa Ana), y su vertido se realiza sin tratamiento previo al subsuelo. Se tiene constancia de la calidad del vertido, que presenta altas concentraciones de **DBO₅**, **DQO** y **SS**, a valores incluso superiores a los VMP específicos de la actividad; también presenta altos niveles de **SST** en comparación con el VMP establecido para aguas de tipo ordinario.

En la Región Hidrográfica D-Grande Sonsonate-Banderas se ha estudiado cuatro fuentes de contaminación en el Departamento de Sonsonate de diversa tipología, aunque todos ellos dentro del tipo especial:

- 1 vertido procedente de una actividad relacionada con los animales vivos y productos del reino animal (Actividad I): “Pesquera Industrial S.A. de C.V.” (V118), en el municipio de Acajutla, cuyo vertido se realiza a la Quebrada Ramba, aunque se desconoce si presenta tratamiento previo. Aun así, a la vista de la calidad del vertido, podría asumirse que no dispone de depuración previa, o si dispone de ella es insuficiente, ya que presenta altos valores de DBO₅ y SS, superiores a los VMP específicos para la actividad, a lo que se le suma una DQO superior al VMP establecido para las aguas de tipo ordinario.
- 1 vertido procedente de industria cuya actividad se enmarcaría en la elaboración de productos de las industrias alimentarias, bebidas, líquidos alcohólicos, tabaco y sucedáneos (Actividad IV): “Planta de Lácteos La Salud” (V110), que se localiza en el municipio de Sonsonate, y cuyo vertido, sin depuración previa, es realizado al alcantarillado de ANDA. Los datos de calidad recabados indican que se vierten altas concentraciones de DQO y SST (superiores a los VMP específicos de la actividad), y altos niveles también de DBO₅ (por encima del VMP para ordinarias).
- 1 vertido procedente de una industria se dedica a los productos de las industrias químicas (Actividad VI): “Gasohol Acajutla” (V119), localizada en el municipio de Acajutla, y cuyo vertido, que no presenta tratamiento previo, se realiza a terreno. Los datos de calidad recabados indican que se vierten altas concentraciones de DQO (superiores a los VMP específicos de la actividad) y de SST (por encima del VMP para ordinarias).
- 1 empresa dedicada a la Actividad XIII. Metales comunes y sus manufacturas: “Inversiones Intercontinentales S.A. de C.V.” (V115), en el municipio de Sonsonate, del que se desconoce si su vertido, que se realiza al subsuelo y potreros, presenta tratamiento previo. Los datos de calidad disponibles no superan los VMP para las aguas de tipo ordinario para la DQO y los SST, y los VMP establecidos para todos los usos industriales en el caso del pH, temperatura y turbidez por lo que es probable que sí cuente con algún tipo de tratamiento.

En la Región Hidrográfica E-Mandinga-Comalapa se dispone de información relativa a tres fuentes de contaminación, todas ellas de **tipo ordinario**. Se trata de las PTAR de San José Villanueva, en el departamento de La Libertad, y las de San Juan Talpa y San Luis Talpa, en el departamento de La Paz. En los tres casos se desconoce el medio receptor de los efluentes, pero se tiene conocimiento de los tratamientos que éstos sufren antes de su destino final, que en los dos primeros casos se basa en un percolador biológico, y en el último de un filtro biológico. Gracias a ellos los efluentes estudiados presentan una calidad apropiada, dentro de los VMP establecidos para las aguas de tipo ordinario.

En la Tabla 18 se muestra un resumen de los vertidos descritos, presentándose las características principales

Tabla 18: Vertidos identificadas en la Zona Hidrográfica II – Paz Jaltepeque, de los que se dispone de información bibliográfica de calidad del mismo; se indica la ubicación espacial de cada uno, su tipología, tratamiento y destino final, así como la fuente de información del que procede.

Código interno	Código bibliografía	Nombre	Tipo	Municipio	Cuerpo receptor	Tratamiento	Fuente
V106	DA 1401	Beneficio Venecia	Especial	San Sebastián Salitrillo	Subsuelo	Sin tratamiento	Ventura, 2005/MARN-Ambientec 2008
V110	DA 2210	Planta de Lácteos La Salud	Especial	Sonsonate	Alcantarillado Anda	Sin tratamiento	Ventura, 2005
V115	DA 2174	Inversiones Intercontinentales S.A. de	Especial	Sonsonate	Subsuelo y potreros	Sin datos	Ventura, 2005

		C.V.					
VI18	DA 2404	Pesquera Industrial	Especial	Acajutla	Quebrada Ramba	Sin datos	Ventura, 2005
VI19	DA 2618	Gasohol	Especial	Acajutla	Terreno	Sin tratamiento	Ventura, 2005
VI81		San José Villanueva	Ordinaria	San José Villanueva	Sin datos	Percolador Biológico	Ambientec, 2008/ANDA
V220		San Juan Talpa	Ordinaria	San Juan Talpa	Sin datos	Percolador Biológico	MARN-Ambientec, 2008/ANDA
V235		San Luis Talpa	Ordinaria	San Luis Talpa	Sin datos	Filtro Biológico	MARN-Ambientec, 2008/ANDA

4.7.2.2. Pesca y acuicultura

En las **Región Hidrográfica B-Paz** no se tiene constancia de actividad acuícola o piscícola, a la vista de las fuentes de información consultadas.

En lo que respecta a la **Región Hidrográfica C-Cara Sucia**, de nuevo a la vista de la información disponible, no habría producción acuícola inventariada, aunque sí actividad pesquera a través de las Comunidades Pesqueras Bola de Monte, Garita Palmera y Metalío, todas comunidades costeras mixtas de pesca y agricultura, y Barra de Santiago, comunidad pesquera comercial con turismo (MARN, MOP, VMVDU, 2004).

En la **Región Hidrográfica D-Grande de Sonsonate** se tiene constancia de tres zonas de demanda de producción acuícola, en los ríos Grande de Sonsonate (Asociación de Regantes Presa San Juan), Chamalapa (Asociación cooperativa de producción Agropecuaria Siguanango de RL) y Agua Caliente (Saloma Corporation S.A. de C. V.). También se sabe de otras zonas de producción acuícola a través de la capa de usos del suelo del MARN: en el río Cuyuapa, tributario de Grande de Sonsonate; en el río Marías en Los Cóbanos y en el río el Venado, cerca de la costa. Por último, hay una comunidad pesquera mixta en el Lago Coatepeque, y varias comunidades pesqueras distribuidas a lo largo de la costa, siendo de oeste a este las siguientes: Puerto Acajutla, exclusivamente comercial, es decir, cuya principal actividad económica es la captura de peces; y Los Cóbanos y Barra Salada, ambas comerciales con turismo. Las exclusivamente comerciales no suelen presentar otras opciones de empleo (MARN, MOP, VMVDU, 2004).

En la **Región Hidrográfica E-Mandinga Comalapa** no se tiene constancia de actividad acuícola, a la vista de las fuentes de información consultadas. Únicamente dos comunidades pesqueras costeras: Metayo y Puerto La Libertad, este último caracterizado por una comunidad pesquera exclusivamente comercial.

Por otro lado, en la **Región Hidrográfica F-Jiboa - Estero de Jaltepeque** se tiene constancia de una zona de demanda de producción acuícola ubicada en el río Agua Caliente (Asociación de Regantes Madre Tierra), y otras tres asociadas a los ríos San Antonio, Acomunca y a los ríos Sapuyo o a Cañón El Pájaro, ligeramente aguas arriba de Bahía de Jiquilisco. Además, hay una comunidad pesquera mixta en el Lago Ilopango, y varias comunidades pesqueras distribuidas a lo largo de la costa y en el Estero de Jaltepeque, siendo de oeste a este las siguientes: Pimental, San Marcelino, La Herradura, Los Blancos, Estero de Jaltepeque e Isla Tasajera; los tres últimos se dedican a la explotación mixta en barcos de pesca y con extracción de moluscos. En este caso, existe un gran número de pescadores de moluscos en los manglares, superior al número de pescadores que salen en barco. La captura de los

moluscos es realizada ya sea con barcos de fueraborda relativamente grandes que se comparten entre varios pescadores o con canoas sin fueraborda.

4.7.3. Contaminación originada por fuentes difusas

Como se ha mencionado ya, las fuentes difusas pueden producir afecciones sobre las aguas superficiales debido a los lixiviados o lavados desde el terreno en época de lluvias.

Las principales fuentes difusas identificadas son en primer lugar gran cantidad de zonas de acopio de desechos sólidos en las proximidades de los cursos de agua, lo que acaba lixiviando a las aguas superficiales y provocando grandes problemas de calidad de aguas y salud pública. Este supone un serio problema en la actualidad, junto con las fuentes puntuales debidas a vertidos directos sin depurar.

A esta situación se le suman las presiones derivadas de la actividad agropecuaria, probable uso inadecuado de los fitosanitarios y abonos en los campos de cultivo, exceso de nutrientes y presencia de contaminantes persistentes en algunas zonas. Además, las explotaciones ganaderas pueden suponer una importante presión de tipo difuso, debido a la contaminación asociada a unas tareas de mantenimiento de las instalaciones y la gestión de residuos inadecuados, que pueden provocar una contaminación difusa por infiltración de los efluentes.

Por último, los usos mineros pueden por lo general suponer un importante impacto sobre el medioambiente sobre el ecosistema en general. Se dispone de poca información de las zonas de interés minero, y aunque se supone que estas explotaciones están en la actualidad paralizadas, es probable que en algunos casos se esté produciendo una explotación informal de las mismas con el consecuente impacto; y también es posible que las instalaciones abandonadas estén generando un impacto debido a la presencia de pasivos mineros sin un adecuado tratamiento.

Como ya se ha comentado para la determinación de presiones significativas es necesario disponer de parámetros y valores umbral que permitan valorar *a priori* si la presión es significativa. Para ello además de conocer el origen de la presión, sería necesario determinar su magnitud, a través de umbrales y parámetros.

4.7.3.1. Botaderos, rellenos sanitarios y suelos contaminados

Se conoce la existencia de 55 botaderos en el ámbito de la Zona Hidrográfica II – Paz-Jaltepeque, 4 de ellos cerrados. 19 de estos botaderos están ubicados en la Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque (de los cuales 5 se identifican como municipales, 2 como clandestinos, y 7 a cielo abierto), 14 en Mandinga-Comalapa (siendo 5 municipales y 4 clandestinos), 9 en Cara Sucia-San Pedro (de los que 5 se identifican como municipales y 1 clandestino), otros 9 en Paz (8 de ellos municipales) y 5 en Grande de Sonsonate-Banderas (2 de ellos municipales). Con estos datos, y según la información facilitado en el Segundo Censo Nacional de Desechos Sólidos Municipales (MARN-BID, 2009), el 44% de los botaderos identificados en la zona Hidrográfica II tendrían origen municipal, mientras un 13% tendría carácter clandestino, y otro 13% estaría dispuesto a cielo abierto.

Asimismo se han identificado 5 rellenos sanitarios distribuidos en las Regiones Hidrográficas B-Paz (1), C-Cara Sucia-San Pedro (1) y E-Mandinda-Comalapa (3).

A continuación se adjunta una tabla con información de interés de los mismos, como es el nombre del botadero, el municipio al que pertenece y su estado (abierto o cerrado). La distribución de los mismos puede visualizarse en el Plano del Anexo III (Apéndice III.1).



Por otro lado, es importante mencionar que el MARN efectuó un Inventario de Plaguicidas y Sitios Contaminados en el año 2012, en el que registró seis sitios en todo el país, en los cuales se encontraron más de 62 toneladas de plaguicidas, además de solventes, tierras y equipos contaminados, entre otros. (MARN, 2013h).

En esta zona Hidrográfica, se encontraron 5,472.39 kg de diversos plaguicidas (Etil paratión, Clordimeform y Toxafeno, principalmente) en el municipio de San Luis Talpa, de la empresa QUIMIAGRO.

Región Hidrográfica B-Paz:

En la Tabla 19 donde consta información de interés de los botaderos, como es el nombre del botadero, el municipio al que pertenece y su estado (abierto o cerrado).

Tabla 19: Inventario de botaderos identificados la Región Hidrográfica B-Paz. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009).

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	AHUACHAPAN	Ahuachapán	408081	311152	II-Paz-Jaltepeque	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	APANECA	Ahuachapán	413550	305707	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	CONCEPCION DE ATACO	Ahuachapán	408308	304977	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CANTÓN EL ROSARIO	EL PORVENIR	Santa Ana	432336	322649	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	EL REFUGIO	Ahuachapán	423099	318689	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SALCOATITAN	Ahuachapán	413550	305707	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	TACUBA	Ahuachapán	397511	310626	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	TURIN	Ahuachapán	416244	314490	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006

Asimismo se conoce la existencia de un relleno sanitario ubicado en el departamento de Ahuachapán. A continuación en la Tabla 20 se incluye además de su ubicación, datos como el área que ocupan y la fecha de inicio de operación. Adicionalmente, se puede visualizar la ubicación del mismo en el plano del Anexo III (Apéndice III.1)

Tabla 20: Inventario de rellenos sanitarios identificados en la Región Hidrográfica B-Paz, en función de la información facilitada por MARN (Información de los Rellenos Sanitarios de El Salvador)

Nombre	Extensión	Cantón	Municipio	Departamento	Inicio operación	Zona Hidrográfica
Diagnóstico Ambiental del Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos del Municipio de Atiquizaya	6.6	San Nicolás	Cinquera	Cabañas	abr-03	I-Lempa

Región Hidrográfica C-Cara Sucia:

En la Tabla 21 donde consta información de interés de los botaderos, como es el nombre del botadero, el municipio al que pertenece y su estado (abierto o cerrado).

Tabla 21: Inventario de botaderos identificados la Región Hidrográfica C-Cara Sucia-San Pedro Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009).

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
EL MAGUEY	ACAJUTLA	Sonsonate	400193	286570	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	CALUCO	Sonsonate	400193	286570	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	GUAYMANGO	Sonsonate	400193	286570	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	JUJUTLA	Ahuachapán	407008	296041	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
EL MAGUEY	NAHUILINGO	Sonsonate	400193	286570	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
EL MAGUEY	SAN ANTONIO DEL MONTE	Sonsonate	400193	286570	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN PEDRO PUXTLA	Ahuachapán	412049	292740	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SANTO DOMINGO DE GUZMAN	Sonsonate	414221	288058	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SONZACATE	Sonsonate	400193	286570	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006

Adicionalmente se conoce la existencia de un relleno sanitario ubicado en departamento de Ahuachapán. A continuación en la Tabla 22 se incluye además de su ubicación, datos como el área que ocupan y la fecha de inicio de operación. Adicionalmente, se puede visualizar la ubicación del mismo en el plano del Anexo III (Apéndice III.1)

Tabla 22: Inventario de rellenos sanitarios identificados la Región Hidrográfica B –Paz, en función de la información facilitada por MARN (Información de los Rellenos Sanitarios de El Salvador).

Nombre	Extensión	Cantón	Municipio	Departamento	Inicio operación	Zona Hidrográfica
Relleno Sanitario Municipal de San Francisco Menéndez	3.5	El Jocotillo	San Francisco Menendez	Ahuachapán	Ago-03	II-Paz Jaltepeque

Región Hidrográfica D-Grande de Sonsonate – Banderas:

En la Tabla 23 donde consta información de interés de los botaderos, como es el nombre del botadero, el municipio al que pertenece y su estado (abierto o cerrado).

Tabla 23: Inventario de botaderos identificados la Región Hidrográfica D-Grande de Sonsonate – Banderas. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009).



Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	CUISNAHUAT	Sonsonate	422135	303134	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
BOTADERO IZALCO	IZALCO	Sonsonate	435586	291450	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
LA MAJADA	JUAYUA	Sonsonate	422135	303134	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
BOTADERO IZALCO	SAN JULIAN	Sonsonate	435586	291450	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SANTA CATARINA MASAHUAT	Sonsonate	416768	295947	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006

Región Hidrográfica E-Mandinga-Comalapa:

En la Tabla 24 donde consta información de interés de los botaderos, como es el nombre del botadero, el municipio al que pertenece y su estado (abierto o cerrado).

Tabla 24: Inventario de botaderos identificados la Región Hidrográfica E-Mandinga-Comalapa. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009).

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
CLANDESTINO	CHILTIUPAN	La Libertad	449416	274533	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	CHILTIUPAN	La Libertad	449474	274302	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	CHILTIUPAN	La Libertad	449511	274090	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	CHILTIUPAN	La Libertad	449425	274694	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	EL ROSARIO	La Paz	489295	263634	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	LA LIBERTAD	La Libertad	475715	263210	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	ROSARIO DE MORA	San Salvador	478443	264721	II-Paz-Jaltepeque	Cerrado	MARN_BID_2006
EL ZOPE	SAN JUAN TALPA	La Paz	489295	263634	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
EL ZOPE	SAN LUIS TALPA	La Paz	489295	263634	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SANTA ISABEL ISHUATAN	Sonsonate	436300	276585	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
EL MANGUITO	SANTIAGO TEXACUANGOS	San Salvador	478443	264721	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
EL AMATE	TAMANIQUE	La Libertad	454659	274546	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
EL ZOPE	TAPALHUACA	La Paz	489295	263634	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	TEOTEPEQUE	La Libertad	443638	271207	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006

Asimismo se conoce la existencia de tres rellenos sanitarios ubicados en los departamentos de Sonsonate y Ahuachapán. A continuación en la Tabla 25 se incluye además de su ubicación, datos como el área que ocupan y la fecha de inicio de operación. Adicionalmente, se puede visualizar la ubicación del mismo el plano del Anexo III (Apéndice III.1).

Tabla 25: Inventario de rellenos sanitarios identificados la Región Hidrográfica E-Mandinga-Comalapa, en función de la información facilitada por MARN (Información de los Rellenos Sanitarios de El Salvador)

Nombre	Extensión	Cantón	Municipio	Departamento	Inicio operación	Zona Hidrográfica
Relleno Sanitario de la Región Metropolitana de Sonsonate	59.15	Salinas de Ayacachapa	Sonsonate	Sonsonate	Jun-01	II-Paz-Jaltepeque
Relleno Sanitario Santa Isabel Ishuatán	1.4	Acachapa	Santa Isabel Ishuatán	Sonsonate	Ene-02	II-Paz-Jaltepeque
Manejo Integral de Desechos Sólidos Municipales, a través de la construcción de un Relleno Sanitario Manual	3.01	Melara	San Antonio Los Ranchos	Chalatenango	Ago-09	II-Paz-Jaltepeque

Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque:

En la Tabla 26 donde consta información de interés de los botaderos, como es el nombre del botadero, el municipio al que pertenece y su estado (abierto o cerrado).

Tabla 26: Inventario de botaderos identificados Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009).

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	CANDELARIA	Cuscatlán	505924	283080	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CIELO ABIERTO	CUYULTITAN	La Paz	506071	274198	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	PARAISO DE OSORIO	La Paz	500178	277987	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CIELO ABIERTO	SAN ANTONIO MASAHUAT	La Paz	496015	271028	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	SAN EMIGDIO	La Paz	502488	280720	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CIELO ABIERTO	SAN JUAN NONUALCO	La Paz	509248	263232	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
LOS LIMARES	SAN LUIS LA HERRADURA	La Paz	505688	256602	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CIELO ABIERTO	SAN PEDRO MASAHUAT	La Paz	496015	271028	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CIELO ABIERTO	SAN PEDRO NONUALCO	La Paz	506071	274198	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN RAFAEL OBRAJUELO	La Paz	505688	256602	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006



Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
CASERIO LOS PLANES	SAN RAMON	Cuscatlán	508965	283039	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CIELO ABIERTO	SAN VICENTE	San Vicente	524038	271035	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
BOTADERO	SANTA MARIA OSTUMA	La Paz	508405	277503	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SANTIAGO NONUALCO	La Paz	505688	256602	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SANTO DOMINGO	San Vicente	515417	287879	II-Paz-Jaltepeque	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SANTO TOMAS	San Salvador	485543	282021	II-Paz-Jaltepeque	Cerrado	MARN_BID_2006
CIELO ABIERTO	TECOLUCA	San Vicente	521567	264120	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
EL BORBOLLON	VERAPAZ	San Vicente	513343	280596	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
LA LLANTA	ZACATECOLUCA	La Paz	504723	262803	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006

Asimismo, se ha localizado un sitio crítico con fuerte contaminación del suelo, tal y como se indica en la Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental (MARN, 2013d):

En la explanta formuladora Química Agrícola Internacional, S.A. de C.V (QUIMAGRO), ubicada en Km. 40.5, carretera del Litoral, jurisdicción de San Luis Talpa, se encuentran casi 20 toneladas de plaguicidas altamente tóxicos por contacto –Toxafeno, Etil paration y Metil paration, en donde ya se está realizando una evaluación de la calidad del agua de los pozos artesanales y de suelos de la zona, y se procederá a la destrucción de los tóxicos.

4.7.3.2. Usos del suelo (actividad agrícola)

En la Zona Hidrográfica II-Paz Jaltepeque, el uso del suelo por la actividad agrícola es de elevada importancia, ya que es una de las principales actividades económicas. Dicha actividad se centra en el cultivo de café, granos básicos y caña de azúcar.

Las plantaciones de café se encuentran ocupando una gran extensión, entre las regiones hidrográficas de B-Paz, C-Cara Sucia-San Pedro y D-Grande de Sonsonate-Banderas, así como la parte alta de la región E-Mandinga-Comalapa.

Por otro lado, el cultivo de granos básicos se distribuye por la toda la zona hidrográfica, teniendo especial relevancia en la parte media-baja de la región C-Cara Sucia-San Pedro.

Finalmente el cultivo de caña azúcar, se localiza igualmente por toda la zona hidrográfica, pero su mayor extensión se encuentra en la parte media-baja de la región hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque, así como en la zona más suroriental de la región E-Mandinga-Comalapa.

En el Plano del Anexo III (Apéndice III.1), que se adjuntan al presente documento se visualiza la distribución de los diferentes cultivos.

El uso de fertilizantes puede repercutir en la calidad de las aguas, apareciendo concentraciones elevadas de nutrientes y, que dan lugar a fenómenos de eutrofización y a la aparición de *blooms algales*, con la posible liberación de toxinas al medio. Del mismo modo el empleo de plaguicidas puede traducirse en la aparición de compuestos tóxicos para las comunidades piscícolas y otros organismos, incluso para el ser humano. Los más usados se pueden dividir en tres grupos, organoclorados, organofosforados y carbamatos. Los posibles efectos de actividad agrícola se muestran en la Tabla 27.

En los Planos del Anexo III (Apéndice III.1), que se adjuntan al presente documento se visualiza la distribución de la actividad agrícola, agrupándola por cultivo de regadío y de secano, de acuerdo a la Tabla 13. En dichos planos se ha representado el porcentaje de ocupación del suelo, por municipio, en cada región hidrográfica. En los casos en que un municipio forma parte de dos o más regiones hidrográficas, se le ha asignado un valor porcentual, en proporción al área comprendida dentro de cada región.

Tabla 27: Posibles efectos de actividad agrícola sobre las aguas superficiales. Fuente: Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Fuente: (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55) y (FAO, 1997).

Actividad agrícola	Efectos
	Aguas superficiales
Labranza/arado	Sedimentos/turbidez: los sedimentos transportan fósforos y plaguicidas adsorbidos a las partículas de los sedimentos; entarquinamiento de los lechos de los ríos y pérdida de hábitat, desovaderos, etc.
Aplicación de fertilizantes	Escorrentía de nutrientes, especialmente fósforo, que da lugar a la eutrofización y produce mal gusto y olor en el abastecimiento público de agua, crecimiento excesivo de las algas que da lugar a desoxigenación del agua y mortandad de peces
Aplicación de estiércol	Esta actividad se realiza como medio de aplicación de fertilizantes; si se extiende sobre un terreno congelado provoca en las aguas receptoras elevados niveles de contaminación por agentes patógenos, metales, fósforo y nitrógeno, lo que da lugar a la eutrofización y a una posible contaminación.
Plaguicidas	La escorrentía de plaguicidas da lugar a la contaminación del agua superficial y la biota; disfunción del sistema ecológico en las aguas superficiales por pérdida de los depredadores superiores debido a la inhibición del crecimiento y a los problemas reproductivos; consecuencias negativas en la salud pública debido al consumo de pescado contaminado. Los plaguicidas son trasladados en forma de polvo por el viento hasta distancias muy lejanas y contaminan sistemas acuáticos que pueden encontrarse a miles de millas de distancia (por ejemplo, a veces se encuentran plaguicidas tropicales o subtropicales en los mamíferos del Ártico).
Riego	Escorrentía de sales, que da lugar a la salinización de las aguas superficiales; escorrentía de fertilizantes y plaguicidas hacia las aguas superficiales, con efectos ecológicos negativos, bioacumulación en especies ícticas comestibles, etc. Pueden registrarse niveles elevados de oligoelementos, como el selenio, con graves daños ecológicos y posibles efectos en la salud humana.



Actividad agrícola	Efectos
	Aguas superficiales
Talas	Erosión de la tierra, lo que da lugar a elevados niveles de turbidez en los ríos, entarquinamiento del hábitat de aguas profundas, etc. Perturbación y cambio del régimen hidrológico, muchas veces con pérdida de cursos de agua perennes; el resultado es problemas de salud pública debido a la pérdida de agua potable.
Silvicultura	Gran variedad de efectos; escorrentía de plaguicidas y contaminación del agua superficial y de los peces; problemas de erosión y sedimentación.

4.7.3.3. Explotación ganadera

En esta zona hidrográfica, predomina la producción de tipo avícola, localizada en la parte alta de la región D-Grande de Sonsonate, y en los municipios de Tamanique y Olocuilta, en la región Mandinga-Comalapa, así como en los alrededores el lago Coatepeque y parte baja de la cuenca del río Jiboa.

Asimismo se puede destacar la presencia de ganadería de tipo bovino en la región D-Grande de Sonsonate y en el Estero de Jaltepeque.

El número de cabezas de tipo avícola es de 10,279,069; mientras que de bovino y porcino se tiene 236,866 y 37,504 cabezas respectivamente (MINEC-MAG, 2009).

En los Planos del Anexo III (Apéndice III.1) que se adjuntan al presente documento se visualiza la distribución de las cabezas de ganado por municipio para los tres tipos mencionados. Además, en el Anexo III (Apéndice III.5) se indican las cabezas de ganado por municipio.

Los efectos que la ganadería puede ocasionar sobre los cuerpos de agua, están relacionados con el transporte de nutrientes, materia orgánica y bacterias, por el lixiviado al mezclarse con la lluvia, generando eutrofización en las aguas, y la aparición de color y turbidez.

Para evaluar la presión derivada del uso ganadero, se convierten las cabezas de ganado a unidades ganaderas, con el fin de realizar una valoración global de la presión. En la Figura 41 se muestra el número de cabezas de ganado por municipio en la Zona Hidrográfica II-Paz-Jaltepeque:

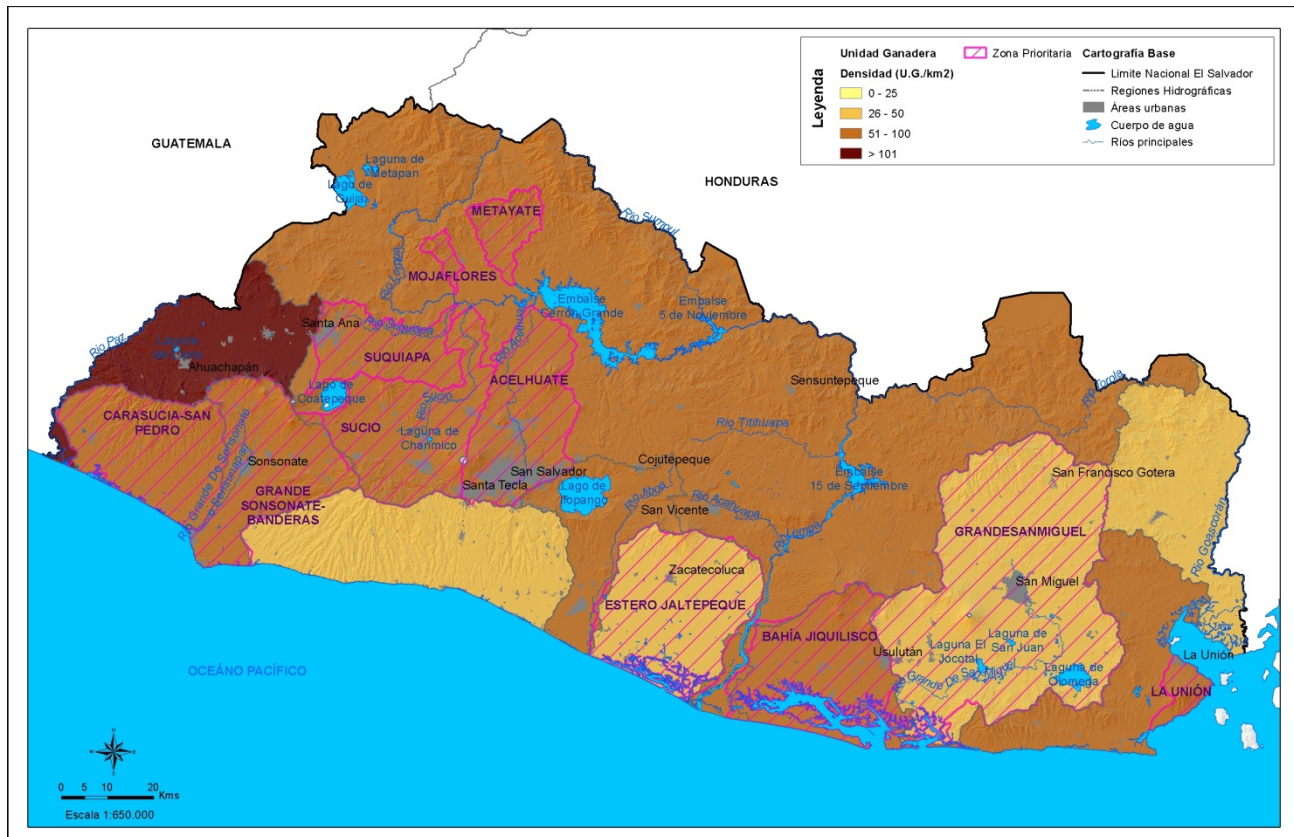


Figura 41: Distribución de la densidad de unidad ganadera (calculada a partir de las cabezas de ganado avícola, porcino y bovino). Fuente: elaboración propia.

4.7.3.1. Zonas mineras

En la Zona Hidrográfica II-Paz-Jaltepeque, no se ha identificado zonas de interés de minería metálica.

Por otro lado es importante mencionar la **minería no metálica** como una fuente de contaminación difusa, por el aporte de sólidos que se genera en las aguas, mediante procesos de escorrentía superficial. Asimismo la extracción de arenas, gravas y rodados en los lechos de los ríos para su uso en proyectos de carreteras y de urbanización del país sin que exista una cuantificación del volumen total de material extraído, que genera alteraciones morfológicas en los cauces de los ríos.

La actividad minera no metálica del país se centra, principalmente, en la producción de cemento, seguido de la explotación de agregados para la construcción obtenidos de la explotación de macizos rocosos, depósitos vulcano-sedimentarios y aluviales (canteras y graveras), la producción de sal marina y, en menor proporción, de caolín y de arcillas, siendo también destacable la industria de la cal viva que se produce artesanalmente (MARN, MOP, VMVDU, 2004).

En la Zona Hidrográfica II-Paz Jaltepeque esta presión no es muy relevante, únicamente se localizan algunos puntos de extracción de caolín y azufre en el municipio de Ahuachapán (Región Hidrográfica B-Paz); de extracción de roca



maciza en el municipio de Izalco (Región Hidrográfica D-Grande de Sonsonate – Banderas) y de extracción de arena, grava y rodados, en el municipio de La Libertad (Región E-Hidrográfica Mandinga-Comalapa).

En el plano del Anexo III (Apéndice III. 1), se puede observar la distribución de las explotaciones de minería no metálica en la Zona Hidrográfica II-Paz Jaltepeque.

4.8. VERIFICACIÓN DE LOS EFECTOS GENERADOS POR LAS PRINCIPALES CAUSAS DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA HIDROGRÁFICA II- PAZ JALTEPEQUE

Tal y como se ha comentado en el *Objetivo* del presente informe, de acuerdo a una solicitud del MARN de realizar una mejora a las Bases del Concurso en relación con la caracterización de las zonas prioritarias, en cuanto a redistribución de puntos, puntos adicionales y parámetros a medir, se han producido retrasos en los trabajos de toma de muestra y determinación analítica del cauce receptor y vertidos, no imputables a la Consultora.

Así pues, la verificación de los efectos generados por las principales causas de contaminación de las aguas, se realiza por el momento sólo en base a la información disponible. Una vez estén los trabajos de campo realizados se entregarán como adjunto al presente Documento de Trabajo.

4.8.1. Región Hidrográfica B-Paz

A la vista de los datos bibliográficos, se puede concluir que hay cierta contaminación bacteriológica, sobre todo en la estación situada en el Cantón El Portillo (Ahuachapán), aunque los niveles de coliformes fecales descienden hasta promedios inferiores a 1,000 NMP/100 ml en las dos estaciones ubicadas en el tramo bajo. A pesar de este indicador de contaminación de origen fundamentalmente doméstico, no se identifican altas concentraciones de DBO₅, manteniéndose en valor promedio para todos los muestreos ligeramente por debajo de 4 mg/l, y tampoco se identifican problemas de oxigenación. Sin embargo, sí hay altos niveles de fenoles, que en promedio se mantienen por debajo del límite máximo recomendado por EPA. En cuanto a los nutrientes, los fosfatos son altos-muy altos y los nitratos son bajos, al igual que se observara en buena parte de la Región Hidrográfica A - Lempa. También hay presencia de ciertos niveles de cobre constantes a lo largo de las distintas estaciones (0.01 mg/l); es probable que este valor sea en realidad el límite de detección de la técnica analítica, y no un valor en concreto, con lo que en realidad ese valor estaría indicando que hay ciertos niveles de cobre en el agua, pero que no han podido ser cuantificadas (<0.01 mg/l, y no = 0.01 mg/l). No hay altas concentraciones de otros metales como el arsénico, el cromo, el mercurio o el zinc.

En materia de conductividad, pH y sales (cloruros, sodio y RAS), todos los valores se sitúan en los rangos adecuados por lo que no serían esperables afecciones sobre el riego y la vida piscícola, a excepción de la presencia de coliformes en las proximidades del Cantón el Portillo, que hacen desaconsejable el uso de las aguas para el riego de productos que vayan a ser consumidos frescos. En cuanto a los sólidos totales disueltos, la turbidez y el color, los valores se mantienen bajos.

A la vista de las concentraciones de coliformes, fosfatos y fenoles, se confirma que aunque no se hayan inventariado en función de las distintas fuentes consultadas ni en las visitas a campo, gran cantidad de presiones, sí hay algunas en las proximidades del cauce que están provocando contaminación de tipo antrópico. Las únicas fuentes de presión observadas afectarían a las estaciones situadas aguas abajo de la estación hidrométrica de El Jobo, que podría estar

recibiendo aguas negras de las industrias Intradesa y Lenor, de Aldicasa SA de CV; y a aquella situada aguas abajo del Puente La Rodriguez, que podría estar recibiendo los aportes del Cantón La Hachadura.

4.8.2. Región Hidrográfica C-Cara Sucia-San Pedro

A la vista de los datos bibliográficos disponibles, se puede concluir que todos los ríos mencionados presentan contaminación bacteriológica, presentando por lo general valores altos, es decir, por encima del límite recomendado por la OMS, y por debajo del máximo registrado en el río El Naranjo, de 300,000 NMP/100 ml, en el Caserío El Tigre, aguas arriba de la Colonia San José Naranjos. Sólo el río Zapúa presenta coliformes fecales bajos. También se observan concentraciones bastante elevadas de fenoles en los ríos Cara Sucia, Guayapa, El Naranjo y El Rosario (no se dispone de datos para el resto de ríos).

A pesar de la existencia de vertidos de origen antrópico, las concentraciones de DBO_5 no son elevadas y los valores de oxígeno disuelto por lo general son adecuados, con la excepción del año 2011, que se mostró especialmente desoxigenado en todo el territorio salvadoreño, y de un máximo que indica sobresaturación en el río El Rosario en 2010, aguas abajo del puente de la carretera litoral. Ambos hechos son llamativos; en el primer caso sobre todo en las estaciones C-02-GUAYA en 2006-2007, C-01-NARAN en 2009 y C-02-NARAN en 2010, que presentan altas coliformes pero no una respuesta de los otros dos parámetros a valores altos en el caso de la DBO_5 y a valores bajos en el caso del oxígeno disuelto; en el segundo caso. La desoxigenación de 2011 no va acompañada por un aumento significativo de otros parámetros, como la DBO_5 , la conductividad o los sólidos, es por ello por lo que podría pensarse en que se haya producido algún problema técnico con el sensor de oxígeno disuelto en dicha campaña de muestreos, aunque con la información que se tiene disponible no se puede corroborar.

En cuanto a los nutrientes, los fosfatos son entre muy altos (en los ríos Hoja de Sal y Metal, entre 1.4 y 1.7 mg $P-PO_4/l$) y altos (en el resto de río, entre 0.08 y 0.80 mg $P-PO_4/l$); los nitratos son bajos en todas las estaciones (máximo de 4 mg $N-NO_3/l$). También hay presencia de ciertos niveles de cobre a lo largo de las distintas estaciones, por encima de las recomendaciones de la EPA para la vida piscícola; los mayores valores se han observado en los ríos Cara Sucia en Los Encuentros (0.05 mg/l), El Naranjo en el Caserío El Tigre y en el Cantón Capulín (0.04-0.03 mg/l) y en el Guayapa, en el cantón Loma de Guayapa y en la Hacienda Santa Ana 80.03 mg/l). En el río Cara Sucia aguas abajo del puente litoral también se detectan altos niveles de plomo (0.075 mg/l). Sin embargo, no hay altas concentraciones de metales como el arsénico, el cromo, el mercurio o el zinc en el resto de estaciones en los ríos Cara Sucia, Guayapa, El Naranjo y El Rosario (no se dispone de datos para el resto de ríos). Además se sabe que los niveles de hierro y manganeso son bajos en el río Zapúa, único río en el que se han analizado ambos parámetros.

En materia de conductividad, pH y sales (cloruros, sodio, RAS, carbonatos y bicarbonatos), los valores que se tienen disponibles (para los ríos Cara Sucia, Guayapa, El Naranjo y El Rosario, Izcanal, San Francisco –sin dato de sodio y RAS- y Zapúa –sin dato de sodio y RAS-) se sitúan en los rangos adecuados por lo que no serían esperables afecciones sobre el riego y la vida piscícola, a excepción de la contaminación que indican los niveles de coliformes que hacen desaconsejable el uso de las aguas para el riego de productos que vayan a ser consumidos frescos. Como excepción, en el río Cara Sucia se han detectado altos niveles de carbonatos. También la conductividad en los ríos Santa Rita, Faya, Ahuachapío, Tapahuashuya y San Pedro son bajos, aunque no se dispone de datos de sales. Adicionalmente se dispone de datos de sulfatos y fluoruros en El Rosario y en Zapúa, siendo bajos; el Zapúa también dispone de datos de calcio y magnesio, también bajos. No se dispone de datos de sales y conductividad para los ríos Cuilapa, Metal y Hoja de Sal.



En cuanto a los sólidos totales disueltos, la turbidez y el color, los valores se mantienen bajos en los ríos Cara Sucia, Guayapa, El Naranjo y El Rosario, con la excepción del color en el río El Rosario, que fue elevado en 2011. En los ríos Izcanal y San Francisco, no se dispone de datos de TDS, pero la turbidez y el color son de nuevo bajos. En los ríos Tapahuashuya, Zapúa y Cuilapa, solo se dispone de datos de turbidez, que es tan baja que resulta apta para el uso recreativo. No se dispone de datos en los ríos Faya, Ahuachapío, Hoja de Sal, Metal y San Pedro.

A la vista de las concentraciones de coliformes, fosfatos y fenoles, se confirma que las presiones observadas en ambos términos municipales (vertidos de tipo ordinario y especial) están suponiendo un impacto sobre las aguas superficiales analizadas. Aun así, resulta llamativa la alta frecuencia con la que hay concentraciones significativas y elevadas de fenoles. Además, la calidad de los ríos analizados podrían suponer un impacto sobre el Área de Conservación El Imposible-Barra de Santiago, constituido por una serie de áreas Naturales Protegida, como podría ser el caso de la Zona Los Encuentros por parte del río Cara Sucia.

4.8.3. Región Hidrográfica D-Grande de Sonsonate

A la vista de los datos bibliográficos analizados, se puede concluir que los ríos Grande de Sonsonate y Ceniza presentan alta contaminación bacteriológica a lo largo de su recorrido; en el caso del río Grande de Sonsonate, los valores más elevados se registran en la estación situada en el tramo bajo (6 millones de NMP/100 ml en valor promedio para todos los muestreos), ubicada aguas abajo de la antigua estación de ferrocarril en el municipio de Acajutla; en el Ceniza los máximos se registran aguas abajo del casco urbano de Sonsonate (600,000 NMP/100 ml), con lo que resulta evidente que se están realizando vertidos de tipo ordinario y especial sin la adecuada depuración; de hecho se tiene constancia que a ambos ríos se vierten las aguas de rastros, granjas, azucareras, y aguas negras municipales, entre otros, que se concentran en el área metropolitana de Sonsonate y Acajutla. De este modo resulta evidente que hay una fuerte afección por parte de los términos municipales de Acajutla y de Sonsonate sobre la calidad de ambos ríos.

Este impacto sobre la calidad se sigue poniendo de manifiesto observando las concentraciones de DBO_5 , que son elevadas en ambas zonas anteriormente comentadas, superiores a los 20 mg/l en ambos casos; los valores de oxígeno disuelto por lo general se mantienen relativamente elevadas, salvo en dichas estaciones, en las que se registra cierta desoxigenación en determinadas campañas. Aun así en el caso puntual de la estación D-04-GRAND en 2007 parece haber cierta incongruencia con los valores de materia orgánica y la oxigenación, que no parecen corresponderse con las elevadas concentraciones de coliformes. También resulta extraña la desoxigenación generalizada observada en 2011, en un año hidrológico categorizado como húmedo, y que supondría un empeoramiento de la calidad de las aguas que sin embargo no se ve reflejada en otros parámetros analizados.

En relación con los parámetros comentados, los fenoles son muy elevados a lo largo de ambos cauces, sobre todo en los muestreos ejecutados en el año 2006, que superan el límite máximo recomendado por EPA. De hecho podría pensarse que hay demasiadas campañas en las que estos valores son altos (quizá haya habido algún problema de contaminación cruzada en el laboratorio, pero no se dispone de información con la que corroborar esta hipótesis).

En cuanto a los nutrientes, los fosfatos son altos o muy altos y los nitratos son bajos. También hay presencia de ciertos niveles de cobre constantes a lo largo de las distintas estaciones (0.01 mg/l), aunque es probable que este valor sea en realidad el límite de detección de la técnica analítica, con lo que en realidad podría estar habiendo ciertos niveles de cobre en el agua, pero que son inferiores a 0.01 mg/l pero no han podido ser cuantificadas. No hay altas concentraciones de otros metales como el arsénico, el cromo, el mercurio o el zinc.

En materia de conductividad, pH y sales (cloruros, sodio y RAS), por lo general los valores se sitúan en los rangos adecuados por lo que no serían esperables afecciones sobre el riego y la vida piscícola, a excepción de la contaminación que indican los niveles de coliformes que hacen desaconsejable el uso de las aguas para el riego de productos que vayan a ser consumidos frescos. Además, en algún caso puntual el pH baja en el Ceniza por debajo de 5 unidades; esto se ha observado en la estación aguas debajo de Sonsonate, por lo que puede ser reflejo de un vertido de tipo industrial. En el caso de la conductividad, cloruros y sodio, se ha observado un aumento de la misma en el tramo bajo, con respecto al tramo alto.

Como se ha comentado, se dispone también de información del río Huiscoyolate, situada aguas arriba de la estación con peor calidad en el Ceniza, y que recorre parte del centro urbano de Sonsonate en su vertiente este. Esta estación no presenta tampoco buena calidad, ya que de nuevo presenta coliformes fecales y fosfatos altos. No se dispone de información de la carga orgánica ni de la oxigenación, ni de otros parámetros relacionados con las sales, los metales o los sólidos.

A la vista de las concentraciones de coliformes, DBO_5 , oxígeno disuelto, fosfatos y fenoles, se confirma que las presiones observadas en ambos términos municipales (vertidos de tipo ordinario y especial) están suponiendo un impacto sobre las aguas superficiales analizadas. Además, la calidad del agua en el tramo más bajo del río Grande de Sonsonate puede estar siendo una presión significativa sobre el Puerto de Acajutla y la actividad pesquera que se desarrolla en la zona. También podría suponer algún tipo de afección sobre el Parque Marino Los Cóbanos, en el Área de Conservación del mismo nombre. Aun así no se dispone de información que confirme este hecho, ante lo que se recomienda que se mantengan los controles en el río, y que se implanten las medidas necesarias para evitar que se mantengan los niveles de contaminación observados con los datos históricos procesados.

4.8.4. Región Hidrográfica E-Mandinga-Comalapa

Los ríos de la mitad oeste, Apancoyo, Mizata, Zunzal y Comasagua presentan bajos DBO_5 (inferior a 4 mg/l) y nitratos (inferior a 2 mg/l $N-NO_3/l$), y buena oxigenación (el valor más bajo se registra en el río Comasagua, con 5.9 mg/l, siendo este el valor promedio para ambas estaciones). Sin embargo presentan concentraciones altas de coliformes fecales (máximo de 30,000 NMP/100 ml en el Comasagua), altas concentraciones de fosfatos (rango de variación entre 0.09 mg $P-PO_4/l$ en Zunzal y 0.17 mg/l en el Mizata); altas concentraciones de fenoles, en algunas campañas próximos al límite establecido por la EPA, de 3.5 mg/l; así como presencia de ciertos niveles de cobre (excepto en Zunzal, donde no se ha observado). Aunque no se tienen inventariadas presiones aguas arriba distintas del uso agrícola, es evidente que se están produciendo vertidos de tipo urbano e industrial en las asentamientos poblacionales situados a lo largo de los ríos estudiados, y aguas arriba de las estaciones analizadas, como pueden ser el caso de Santa Isabel e Ishuatán en el caso del río Apancoyo.

Los ríos Chilama, El Jute, San Antonio y Comalapa presentan de nuevo altas concentraciones de coliformes fecales, superiores a las de los ríos anteriormente comentados (máximo en el río Comalapa, cerca del Cantón El Rosario, con 1.6 millones NMP/100 ml), pero también alta DBO_5 (máximo de 10 mg/l en el río San Antonio), aunque siguen presentando buena oxigenación; se observa cierta incongruencia entre los datos de coliformes y los de materia orgánica y oxígeno disuelto en la estación E-02-COMAL en 2011, ya que a pesar de la alta contaminación bacteriológica no hay alta materia orgánica ni baja oxigenación. Al igual que los ríos comentados en el párrafo anterior, presentan altas concentraciones de fosfatos llegan hasta 2.5 mg $P-PO_4/l$ en San Antonio, en Nueva Colonia Santa María); altas concentraciones de fenoles, en algunas campañas superiores al límite establecido por la EPA; así como presencia de ciertos niveles de cobre (excepto en Zunzal, donde no se ha observado). Una vez más estos ríos

presentan gran cantidad de asentamientos poblacionales a lo largo de los mismos que deben estar realizando vertidos directos sin depurar.

Resulta llamativa la desoxigenación registrada en el año 2011 a lo largo de los distintos ríos, siendo dicho año considerado hidrológicamente húmedo, y observándose que no va acompañada por un aumento significativo de otros parámetros, como la DBO_5 , la conductividad o los sólidos. También la alta frecuencia con la que se observan altas concentraciones de fenoles. En ambos casos es algo que se ha observado con carácter general en la mayor parte de las regiones hidrográficas.

En materia de conductividad, pH y sales (cloruros, sodio y RAS), los valores se sitúan en todos los ríos estudiados en los rangos adecuados por lo que no serían esperables afecciones sobre el riego y la vida piscícola; la excepción se observa en el río El Jute, en el que en 2007 y 2011 los valores de conductividad son superiores a los límites para riego y vida piscícola, así como valores de sodio algo elevados para el riego en 2009.

Por último, las concentraciones de TDS, turbidez y color se sitúan por lo general en los rangos adecuados para las aguas crudas que van a ser objeto de un tratamiento convencional previo al consumo. De nuevo hay alguna excepción, en este caso en lo que respecta al color en los ríos San Antonio y Comalapa, en ambos casos en la estación situada más aguas abajo.

A la vista de las concentraciones de coliformes, DBO_5 , fosfatos y fenoles, se confirma que aunque no se han identificado muchas presiones en las distintas fuentes de información consultadas, ni durante las visitas de campo, sí están habiendo aguas arriba de las estaciones estudiadas, lo que está suponiendo un impacto sobre las aguas superficiales analizadas. De este modo no hay ninguna estación de monitoreo inalterada y por lo tanto que sea apta para establecer las condiciones naturales del agua.

4.8.5. Región Hidrográfica F:jiboa-Estero de Jaltepeque

En lo que respecta a la calidad de los distintos ríos estudiados, todos presentan altas concentraciones de coliformes fecales, siendo más elevadas en Jalpo y San Antonio que en Jiboa y El Guayabo. A pesar de ello no se observa afección sobre los parámetros indicadores de contaminación orgánica y oxigenación, sobre todo en F-02-JALPO en 2007 y en F-01-ANTON en 2010, lo que resulta extraño teniendo en cuenta las altas concentraciones de coliformes. Lo que sí presentan son altos fenoles, sobre todo en el Jiboa en el tramo bajo, en concreto en el Cantón de Tilapa perteneciente al municipio de El Rosario. Por lo general hay buena oxigenación, aunque se detecta, al igual que en otras regiones hidrográficas, una especial desoxigenación generalizada en todas las estaciones en los muestreos del año 2011, lo que podría estar indicando algún inconveniente con la calibración o mantenimiento del sensor de oxígeno disuelto. Además, todos los ríos han presentado alguna campaña con elevada DBO_5 , aunque los valores promedios para estos ríos no superan los 4 mg/l, con lo que pueden considerarse valores bajos, con afecciones puntuales. Esto no significa que no haya altos valores de DQO, como es el caso del río Jiboa, aunque no se dispone de datos en el resto de ríos.

Las principales fuentes de contaminación que producen estas cargas de coliformes, DBO_5 y fenoles pueden estar en la gran concentración de asentamientos poblacionales en la mitad superior del ambos ríos, que con toda probabilidad están vertiendo aguas domésticas sin depurar directamente al río, o a través de fosas sépticas que acaben drenando al río.

En cuanto a los nutrientes, los nitratos se mantienen bajos; en el Jiboa se observa una tendencia a aumentar de aguas arriba a aguas abajo, alcanzando los mayores valores, 8 mg $N-NO_3/l$, a la altura del

Aeropuerto Internacional; sin embargo sí se han observado altos valores de nitrógeno total en el río Jiboa en 2009. Los fosfatos son altos o muy altos, oscilando en torno a 0.2-0.4 mg P-PO₄/l.

Con lo que respecta a los metales, no se detectan altas concentraciones de cobre, arsénico, el cromo, el mercurio y zinc.

En materia de conductividad, pH y sales (cloruros, sodio y RAS), los valores se sitúan en todos los ríos estudiados salvo en el Jiboa en los rangos adecuados por lo que no serían esperables afecciones sobre el riego y la vida piscícola. El río Jiboa presenta altas variaciones en materia de conductividad a lo largo del cauce y valores medios-altos, ambos en los años 2007 y 2010 (1,000-1,500 μ S/cm); también presenta altos cloruros en 2009.

Por último, las concentraciones de TDS, turbidez y color se mantienen elevadas en el río Jiboa, sobre todo en el tramo comprendido entre y Cantón Los Zacatales, en La Paz, hasta el Municipio El Rosario, con lo que se bene estar realizando vertidos que afectan a la coloración en dicho tramo. Se ha observado cierta falta de correlación entre las concentraciones de sólidos totales disueltos y color, ya que en las estaciones F-03-JIBOA y F-04-JIBOA en el año 2010 se han observado valores extremadamente elevados de color aparente que no se ve correspondido por valores muy elevados de TDS; sería esperable que éstos últimos fueran más altos a la vista de los valores de color aparente. En el resto de ríos se sitúan en los rangos adecuados para las aguas crudas que van a ser objeto de un tratamiento convencional previo al consumo.

Por otra parte, en lo que respecta a la calidad del lago de Ilopango, se ha podido comprobar a través de los estudios realizados en los proyectos pesqueros El Sauce y Candelaria, que operan en el lago, que hay buena oxigenación, aunque en las proximidades del proyecto El Sauce, hay cierta desoxigenación en el fondo, probablemente asociado a la actividad del propio proyecto, que suponga un exceso de aporte de materia orgánica que demande oxígeno en profundidad. En lo que respecta al pH, hay cierta tendencia a la basicidad pero por lo general se mantiene en los rangos adecuados para la vida piscícola y el riego. En cuanto a la conductividad sin embargo, los valores son elevados, rondando los 1,500-2,000 μ S/cm. Se dispone además de datos de TDS, que son bajos. Por último, se dispone de datos biológicos, que ponen de manifiesto el desarrollo de cianofíceas y clorofíceas con frecuencia, lo que está indicando que hay cierta tendencia a la eutrofización.

Por último, los estudios desarrollados en el Estero de Jaltepeque, Área de Protección Especial integrante del Área de Conservación Jaltepeque-Bajo Lempa, humedal RAMSAR, y que presenta una importante actividad pesquera mixta de barcos de pesca y con extracción de moluscos, indican que hay importantes variaciones espacio-temporales de la concentración de oxígeno disuelto, así como una clara influencia de los aportes desde el río Lempa, que reoxigenan las aguas del estero en su vertiente oriental. Las variaciones temporales se asocian al ciclo hidrológico, que entre octubre y noviembre, con el máximo de lluvias, favorecen la entrada de gran cantidad de materiales alóctonos; de hecho la desoxigenación de mantiene en el estero en torno a 4-5 mg/l hasta el mes de enero, y se observan elevadas concentraciones de DBO₅ y fosfatos, así como los mayores valores de turbidez, nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal del año, siendo éstos mucho más bajos en el resto de meses. También se observan máximas densidades de fitoplancton y zooplancton en diciembre, lo que resulta normal teniendo en cuenta que estas comunidades biológicas precisan de cierto tiempo de reacción para tomar los nutrientes disponibles del medio.

Además de estos datos, se dispone de los resultados del estudio de plaguicidas en los sedimentos del estero, detectándose pequeñas cantidades de DDE y de beta-endosulfán en varias estaciones, lo que pone de manifiesto una afección por parte de la actividad agrícola que se desarrolla en el perímetro del lago. No hay presencia de los organoclorados Heptaclor, Heptaclor Epoxido, Aldrín, Dieldrin, Endrin, Endrín Aldehído, Endrin Cetona, Endosulfan



Alfa, Endosulfan Beta, Endosulfan Sulfato, p,p'-DDD; ni de los organofosforados DDVP, Forato, Diazinón, Metil Paration, Malation, Clopirifos y Etión.

También se dispone de estudios de bioacumulación de metales en los tejidos de varias especies de pescado, obteniéndose concentraciones significativas de mercurio, arsénico y plomo, aunque a niveles inferiores de los que recomienda la FDA. Como principales conclusiones, se ha observado que el pargo y el róbalo son los que mayores acumulaciones de mercurio presentan, sobretodo cerca de la desembocadura del Lempa, por lo que se cree de origen natural y antrópico; chimbera, jurel y ruco son los que más arsénico bioacumulan; pargo, ruco y chimbera, acumulan más plomo.

Por último, otros estudios (MARN, 2008), ponen de manifiesto la existencia de un proceso de bioacumulación de coliformes fecales en el interior de especies comestibles de bivalvos recolectados en el estero, aunque no facilitan datos específicos al respecto. Con ello, la falta de depuración de las aguas residuales de las poblaciones aledañas está suponiendo un impacto sobre las poblaciones de bivalvos, que a su vez son consumidos por estas y otras poblaciones.

A la vista de las concentraciones de coliformes, DBO_5 , fosfatos y fenoles registradas en los ríos estudiados, y en el caso del Jiboa, también los sólidos y el color, se confirma que hay importantes fuentes de presión a lo largo de los mismos, cuyo efecto se está manifestando con mayor magnitud en el río Jiboa, en su tramo medio. También el Lago de Ilopango ha manifestado unas comunidades algales que pueden estar indicando cierta eutrofización; aunque no se dispone de datos de nutrientes que lo corrobore la dominancia de estas comunidades permiten estimar que con toda probabilidad hay elevadas cargas de nutrientes y posiblemente de carga orgánica. El Estero de Jaltepeque tampoco presenta un buen estado, ya que se ha observado aceites y grasas, altas concentraciones de *E. coli*, y presencia de plaguicidas en los sedimentos de ciertas zonas del estero, todos ellos parámetros de claro origen antropogénico.

4.9. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE CONTROL DE MARN (DGOA) EN LA ZONA HIDROGRÁFICA III- JIQUILISCO-GOASCORÁN

El MARN cuenta con una red nacional de sitios de muestreo, de la que se dispone información detallada a través de los informes de calidad de aguas de los ríos de El Salvador, editados por dicha institución para los muestreos realizados a los largo de los años 2009 (MARN-SNET, 2010), 2010 (MARN-DGOA, 2011) y 2011 (MARN-DGOA, 2012). También se dispone de datos analíticos recabados en los años 2006 y 2007.

En este marco, se dispone de información de un total de 4 grandes monitoreos realizados por el MARN a nivel estatal, distribuidos en los siguientes periodos:

- 114 sitios entre noviembre de 2006 y marzo del 2007.
- 124 sitios del 12 de marzo al 19 de junio del 2009.
- 124 sitios entre abril y julio del año 2010.
- 123 sitios del 26 de abril al 17 de julio de 2011.

En la Tabla 28 se relacionan los sitios de muestreo ubicados en la Zona Hidrográfica III – Jiquilisco-Goascorán, que son un total de 20 (MARN-DGOA, 2012):

Tabla 28: Sitios de muestreo en el cuerpo receptor, pertenecientes a la Red de control de la calidad de aguas de los ríos de El Salvador, de la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la Zona Hidrográfica III – Jiquilisco-Goascorán, para el periodo 2006-2011 (MARN-DGOA, 2012).

N°	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN	REGIÓN HIDROGRÁFICA
1	G-01-DIENT	Río Diente de Oro, Cooperativa Normandía, Usulután	Bahía de Jiquilisco
2	G-01-JUANA	Río Juana, cantón Santa Bárbara, antes de confluencia con Río El Molino, Usulután	Bahía de Jiquilisco
3	G-01-MOLIN	Río El Molino, Zona Verde, Usulután	Bahía de Jiquilisco
4	G-01-ROQUI	Río Roquinte, caserío El Roquinte, municipio de Jiquilisco, Usulután	Bahía de Jiquilisco
5	G-02-MOLIN	Río El Molino, cantón Santa Bárbara, Usulután	Bahía de Jiquilisco
6	G-03-MOLIN	Río El Molino, cantón Iglesia Vieja, carretera a Puerto Parada, Usulután	Bahía de Jiquilisco
7	H-01-CAÑAS	Río Las Cañas, cantón y Cooperativa San Jacinto, San Miguel	Grande de San Miguel
8	H-01-GRAND	Río Grande de San Miguel, aguas arriba de estación hidrométrica Villerías, San Miguel	Grande de San Miguel
9	H-02-GRAND	Río Grande de San Miguel, 250 mts aguas debajo de puente Moscoso, San Miguel	Grande de San Miguel
10	H-02-VILLE	Río Villerías, cantón Mayucaquín, San Miguel	Grande de San Miguel
11	H-03-GRAND	Río Grande de San Miguel, cantón y crio. La Canoa, San Miguel	Grande de San Miguel
12	H-04-GRAND	Río Grande de San Miguel, cantón Vado Marín	Grande de San Miguel
13	I-02-SIRAM	Río Sirama, debajo de puente calle a la Unión	Sirama
14	J-01-AGUAC	Río Agua Caliente, cantón Algodón, caserío Los Ventura	Goascorán
15	J-01-GOASC	Río Goascorán, cantón Molina, 5 km Rodríguez de pueblo El Sauce, La Unión	Goascorán
16	J-01-PASAQ	Río Pasaquina, aguas debajo de Pasaquina, La Unión.	Goascorán
17	J-01-SAUCE	Río El Sauce, estación hidrométrica el sauce, La Unión	Goascorán
18	J-02-GOASC	Río Goascorán, cantón y crio. Los Orcones, La Unión	Goascorán
19	J-02-PASAQ	Río Pasaquina, sitio Los Rodríguez, La Unión	Goascorán

N°	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN	REGIÓN HIDROGRÁFICA
20	J-03-GOASC	Río Goascoran, estación hidrométrica La Ceiba, La Unión	Goascorán

En la Figura 42 se muestra su distribución a lo largo de la Zona Hidrográfica III:



Figura 42. Sitios de muestreo en el cuerpo receptor, pertenecientes a la Red de control de la calidad de aguas de los ríos de El Salvador, de la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la Zona Hidrográfica III – Jiquilisco-Goascorán, para el periodo 2006-2011.

Los parámetros analizados en el marco de estos trabajos han sido los que se indican en la Tabla 29, con indicación de las unidades de los datos de origen, y de si los criterios de valoración empleados en el presente documento de diagnóstico, en función del uso y de la normativa vigente a nivel estatal y/o internacional, según el caso:

Tabla 29: Parámetros analizados por la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la Zona Hidrográfica III – Jiquilisco-Goascorán, para el periodo 2006-2011. Se indican los criterios de valoración empleados en el presente documento de diagnóstico, en función del uso y de la normativa vigente a nivel estatal y/o internacional.



PARÁMETRO	UNIDAD	AGUAS CRUDAS	IRRIGACIÓN	PROPAGACIÓN PISCÍCOLA	CONTACTO RECREATIVO DIRECTO
Boro	mg/l	-	D 51; FAO, 1986	-	-
Cloruros	mg/l	D 51	D 51; FAO, 1986	-	-
Cobre	mg/l	CONACYT NSO 13.07.01:08	FAO, 1986	EPA, 2006	-
Coliformes fecales	NMP/100 ml	OMS	-	-	OMS
Color Aparente	Unidades	D 51	-	-	-
Conductividad	µS/cm	D. Supremo 002-2008-MINAM Perú	D 51; FAO, 1986	D 51	-
DBO ₅	mg/l	D 51	-	Ministerio de Medio Ambiente de Japón	D. Supremo 002-2008-MINAM Perú
Fenoles	mg/l	D 51; EPA, 2006	-	-	-
Nitratos	mg N-NO ₃ -/L	CONACYT NSO 13.07.01:08	FAO, 1986	-	D. Supremo 002-2008-MINAM Perú
Oxígeno Disuelto	mg/L	D 51	-	D 51	-
pH	Ud. de pH	D 51	FAO, 1986	D 51	Norma OPS y OMS
RAS	adim	-	D 51	-	-
Sodio	meq/l	-	D 51; FAO, 1986	-	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	PHS Drinking Water Standard, 1962; EPA, 1986.	FAO, 1986	EPA, 1986	-
Sulfatos	meq/l	-	D 51; FAO, 1986	-	-
Turbidez	UNT	D 51	-	-	OMS
Zinc	mg/L	CONACYT NSO 13.07.01:08	FAO, 1986	EPA, 2006	-

De manera adicional a estos datos, se dispone de un informe de Diagnóstico Nacional de la Calidad Sanitaria de las Aguas Superficiales de El Salvador, realizado de nuevo por el MARN entre abril y junio de 2007 (Armida, 2007), en el marco del Programa de Contaminación de Áreas Críticas. En este diagnóstico, el MARN ha desarrollado trabajos de monitoreo en la mayor parte de las estaciones anteriormente enumeradas, en concreto en 114 sitios a nivel nacional. Las estaciones estudiadas en la Zona Hidrográfica III – Jiquilisco-Goascorán son las 20

enumeradas anteriormente, además de otra estación nueva, denominada I-01-SIRAM: Río Sirama, debajo de puente calle a la Unión, en la Región Hidrográfica I-Sirama.

Además, en el Diagnóstico de 2007 se realiza un estudio de sedimentos en 10 estaciones, 1 de ellas en la presente Zona Hidrográfica: estación H-02-GRAND (Río Grande de San Miguel, 250 mts aguas abajo de puente Moscoso, San Miguel), en la Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel. En esta estación se ha estudiado las concentraciones de los metales arsénico, mercurio, cromo y plomo (en mg/kg de peso seco de sedimento). Estas concentraciones serán comparadas en el presente documento con los valores objetivo y de intervención especificados por la normativa holandesa, así como con los valores ERL (effects range-low) y EMR (effects range median) especificados por Long et al. (1998).

4.10. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA RED DE CONTROL Y ESTUDIOS ESPECÍFICOS EN ZONA HIDROGRÁFICA III-JIQUILISCO-GOASCORÁN

4.10.1. Análisis de los resultados de la Red de control de la calidad de las aguas superficiales

4.10.1.1. Análisis paramétrico de los datos en función del uso

A la vista de los datos disponibles, puede concluirse que hay ciertos parámetros que no cumplen con los criterios de calidad especificados en función del uso, según las normas nacionales e internacionales analizadas, por lo que las aguas presentan por lo general ciertas limitaciones de uso.- A continuación se presenta un análisis general de los principales incumplimientos detectados en la Zona Hidrográfica III – Jiquilisco-Goascorán.

- En cuanto a la aptitud del Agua Cruda para potabilizar por métodos convencionales, según se especifica en las normas de calidad deseables para dicho uso en el Decreto 51:
 - En lo que respecta a las concentraciones de **oxígeno disuelto**, un 22% de las muestras analizadas por el MARN en la presente zona Hidrográfica presentan una desoxigenación destacable de las aguas, en las que los niveles de oxígeno disuelto en el agua se mantienen por debajo del límite inferior establecido en el Decreto 51, fijado en 4 mg/l. Estos problemas de oxigenación se han observado de manera más evidente en las estaciones J-01-AGUAC y I-02-SIRAM en 2009, con concentraciones inferiores a 1 mg/l. Por otra parte, en un 28% de los casos, las concentraciones se sitúan por encima de los 6.5 mg/l establecidos como límite superior por el Decreto 51 para este uso, aunque siempre que no alcancen niveles de sobresaturación (problema que se descarta a la vista de los resultados), a efectos de la calidad de las aguas general se interpreta como un dato positivo.
 - En cuanto al pH, apenas el 2.5% de las muestras presentan valores por debajo de 6.5 unidades (los mínimos rondan las 6 unidades, por lo que se descartan valores de acidez extrema), y en ningún caso se supera el umbral superior de 9.2 unidades.
 - En el 74% de los muestreos tomadas en la Zona Hidrográfica III se ha registrado bajos niveles de cloruros, por debajo de 50 mg/l, y en ningún caso se mantiene por encima de 250 mg/l, límite superior que no debe superarse para dicho uso. Es por ello por lo que se entiende que este parámetro no está suponiendo una limitación para el uso en cuestión.
 - En cuanto a la contaminación orgánica, que puede estimarse a partir de las concentraciones de **DBO₅**, es de destacar que con relativa frecuencia (alrededor del 32% de las muestras analizadas)

se observan valores altos de este parámetro, por encima de 4 mg/l establecido como límite superior para potabilización por métodos convencionales, por lo que este parámetro sí está suponiendo una limitación para el presente uso. Estos valores son especialmente altos en algunas estaciones como H-02-VILLE en 2007 y H-04-GRA en 2009, donde se rondan los 14-15 mg/l. Sin embargo, aproximadamente en un 38% de las muestras se presentan concentraciones inferiores a 3 mg/l, establecido como límite inferior, aunque a efectos de la calidad del agua, siempre es preferible que las concentraciones sean bajas, aun fuera del rango recomendado.

- o En el 37% de las muestras el **color aparente** supera el límite superior especificado por el Decreto 51 para este uso, fijado en 150 unidades, con lo que de nuevo las aguas presentan ciertas limitaciones para la potabilización con métodos convencionales. De hecho en buena parte de estas muestras, los valores son muy superiores, rondando los máximos las 3,500 unidades en J-02-PASAQ y H-02-GRA en 2010. Por otra parte, un 9% de las muestras presenta color aparente por debajo del límite inferior recomendado por el Decreto 51 (establecido en 20 unidades).
- o A pesar de la coloración del agua, se puede concluir que las aguas no son excesivamente turbias, ya que el 16% de las muestras los valores superan los 250 NTU establecidos como límite superior. En el extremo opuesto, otro 16% de las muestras analizadas presenta turbidez por debajo del límite inferior establecido en 10 NTU, lo que a pesar de estar fuera del rango establecido por el Decreto 51, se interpreta como positivo.
- o En cuanto a los **fenoles**, se destaca que el 94% de las muestras presenta concentraciones superiores a 0.005 mg/l, que es el límite superior establecido en el Decreto 51, aunque sólo el 7% del total supera el límite establecido por EPA (EPA, 1986), fijado en 3.5 mg/l. El máximo se registra en G-03-MOLIN en 2010, siendo próximo a 4 mg/l.
- o Adicionalmente a los parámetros contemplados en el Decreto 51, resulta de elevado interés analizar el contenido de **coliformes fecales**, ya que es un indicador fundamental de la contaminación orgánica de origen humano, contaminación que no se debe presentar en el agua que vaya a ser destinada a un tratamiento convencional para su posterior consumo humano, tal y como establece la OMS. En este caso, es muy destacable que casi el 95% de las muestras presentan concentraciones de coliformes fecales por encima del límite comentado, establecido en 1,000 NMP/100 ml. De hecho, el valor promedio para las muestras en las que los niveles son superiores, es de 165,000 NMP/100 ml, con lo que queda patente un problema generalizado de contaminación por aguas fecales en buena parte de la Región Hidrográfica. Las concentraciones más elevadas se registran en G01JUANA en 2010, en la que se alcanzan 1,700,000 NMP/100 ml, seguida de la estación H02GRA en 2009, con 1,300,000 NMP/ml. Si se eliminan estos datos del cómputo total, el valor promedio, aun así, se mantiene en 127,000 NMP/100 ml.
- o También resultaría de interés las concentraciones de sólidos totales disueltos, que según indica la EPA (EPA, 1986), deben mantenerse por debajo de 500 mg/l. Este es el caso en el 95% de las muestras, por lo que salvo casos puntuales, las aguas serían aptas en función de este parámetro. El máximo alcanza 770 mg/l.
- o También pueden asumirse criterios establecidos por la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, para el caso del cobre y el zinc, ya que bajo un tratamiento convencional las concentraciones de este parámetro no se verían reducidas. En este caso, el 100% de las muestras

se mantienen por debajo de los valores umbrales fijados por esta norma, establecidos en 1.3 y 5 mg/l, respectivamente. Este también es el caso de los nitratos, que en el 98.8% de las muestras se mantienen por debajo de los 50 mg NO₃/l establecidos como límite máximo permisible, superándolo en un único caso de manera muy poco significativa.

- Y parámetros como la conductividad, que en virtud del D. Supremo 0022008MINAM Perú (para la Categoría A2 – Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional), y de la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:99 deben mantenerse por debajo de 1,600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este es el caso del 100% de las muestras. En el D. Supremo 0022008MINAM Perú, también se fija un límite para el nitrógeno amoniacal, establecido en 2 mg N-NH₄/L, que se supera en casi el 5% de las muestras.
- En cuanto a la aptitud del agua para el riego:
 - En lo que respecta a la conductividad, sólo el 2.5% presentan valores por encima de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, límite superior fijado por el Decreto 51 para el presente uso. Por otra parte, el 54% de las muestras presentan valores bajos, por debajo de 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, fijado como límite inferior del rango de calidad deseable. Los mínimos rondan los 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y ha sido registrado en J-01-GOASC en 2009.
 - En cuanto al pH, apenas el 2.5% de las muestras superan las 8.4 unidades establecidas como límite superior, y otro 2.5% se sitúa por debajo del límite inferior, establecido en 6.5 unidades, ambos en el Decreto 51 para el presente uso. Además, los valores extremos no son muy bajos ni altos, respectivamente, siendo respectivamente iguales a 5.7 y 8.7 unidades, respectivamente. Esto supone un cumplimiento generalizado de este criterio de valoración de la aptitud de las aguas en lo que se refiere a este parámetro.
 - El 100% de las muestras presentan concentraciones de boro aptas para el riego, ya que en todos los casos se sitúan en el rango deseable de 0.5-2 mg/l, según el Decreto 51.
 - En cuanto al contenido de **sodio**, el 63% de las muestras presentan valores bajos, por debajo de 30 meq/l, aunque no hay incumplimientos del límite superior establecido en 60 meq/l, por el Decreto 51.
 - En relación con las sales, el RAS no presenta valores por encima de 10. Tampoco los cloruros se presentan por encima de 5.5 meq/l, por lo que ambos se presentan en el rango de las normas de calidad deseables para el agua de riego. Es también el caso de los sulfatos, que no superan los 4.1 meq/l establecidos por el Decreto 51, a excepción de en el 1% de las muestras, con desviaciones con respecto a este límite muy poco destacables.
 - Otros parámetros establecidos de interés para evitar toxicidad en las plantas (FAO, 1985), son el cobre, el arsénico, el cromo, el plomo y el zinc. En todos los casos las concentraciones de todos estos metales se mantienen por debajo de los valores recomendados establecidos.
 - También resulta de interés bajas concentraciones de sólidos disueltos totales, según esta fuente de información el límite a partir del cual podría haber complicaciones se establece en 3,000 mg/l, pero como se ha visto en la valoración de la aptitud del uso para consumo humano tras tratamiento convencional, las concentraciones son muy inferiores.

- o Y las concentraciones de nitratos, que deben mantenerse por debajo de 10 mg N-NO₃/l (FAO, 1985). Este es el caso del 98.7% de las muestras, por lo que los contenidos de nitratos serían adecuados.
 - o Por otra parte, tal y como se ha visto con anterioridad, casi el 95% de las muestras presentan concentraciones de coliformes fecales por encima de 1,000 NMP/100 ml. Es importante tener en consideración que los coliformes fecales son un indicador fundamental de la contaminación orgánica de origen humano, contaminación que no se debe presentar en el agua que vaya a ser destinada a riego, tal y como establece la OMS; de hecho, la OMS establece como límite para este uso 1,000 NMP/100 ml de coliformes totales. A la vista de los resultados analíticos disponibles de coliformes fecales, es esperable que las coliformes totales sean muy superiores a las fecales, y por tanto muy superiores también al límite establecido por OMS, motivo por el que las aguas no serían adecuadas para el riego, sobre todo de aquellos cultivos no leñosos que se vayan a consumir frescos, por el mayor riesgo de intoxicación que su consumo conllevaría.
- En cuanto a la aptitud del agua para la propagación piscícola:
 - o En lo que respecta a la **oxigenación de las aguas**, un 35% de las muestras presenta concentraciones por debajo de 7 mg/l establecidos por la OMS para este tipo de usos. El valor promedio de aquellos datos por debajo de este umbral se sitúa en 6 mg/l, por lo que se descarta la existencia de problemas graves de desoxigenación a la vista de los datos disponibles, siendo la desoxigenación moderada.
 - o Siguiendo con la físico-química básica, un 10% de las muestras presentan valores de **conductividad** por encima de 500 μ S/cm, límite superior fijado por el Decreto 51 para la propagación piscícola, siendo el valor promedio en incumplimiento próximo a 727 μ S/cm. En materia de mínimos, el 28.4% de las muestras presentan valores por debajo de 150 μ S/cm, fijado como límite inferior del rango de calidad deseable.
 - o En cuanto al pH, como ya se ha comentado anteriormente no se registran valores extremos. En este caso, sólo el 2.5% de las muestras superan las 8.6 unidades establecidas como límite superior, y otro 2.5% se sitúa por debajo del límite inferior, establecido en 6.5 unidades, ambos en el Decreto 51 para el presente uso.
 - o Además de los criterios establecidos por el Decreto 51, se estima que son de gran interés algunos parámetros contemplados por EPA en su documento National Water Criteria (2006), como es el caso de las concentraciones de sólidos totales disueltos y metales como el cobre, el mercurio, el plomo y el zinc:
 - o En lo que respecta a los sólidos totales disueltos, se produce un cumplimiento del 100%, dado que el umbral especificado por EPA es mucho más elevado que en el resto de usos, en 10,000 mg/l.
 - o En cuanto a los metales, las concentraciones medidas en cuanto al zinc se sitúan en el 100% de los casos por debajo del límite máximo para que aparezcan efectos agudos, fijado en 0.12 mg/l. En el caso del plomo y el mercurio, en el 90.5% de los casos están por debajo de 0.065 mg/l, límite máximo para que aparezcan efectos agudos para el caso del plomo, y en el 85.7 % de los casos están por debajo de 0.014 mg/l, límite

máximo para que aparezcan efectos agudos para el caso del mercurio. También se detectan concentraciones de **cobre** por encima de dicho límite a partir del cual pueden aparecer efectos agudos (0.002337 mg/l), en concreto en el 18.5% de las muestras. A pesar de ello, es muy probable que este parámetro tenga un origen natural, aspecto que se aclara con un análisis en profundidad de toda la información disponible.

- o En cuanto a la contaminación orgánica, alrededor del 26% de las muestras analizadas presentan concentraciones de **DBO₅** por encima de 3 mg/l, establecido por el Ministerio de Medio Ambiente de Japón, para uso industrial, agrícola y pesca en su documento Environmental Quality Standards for Water Pollution, como límite superior. Ya se ha expuesto con anterioridad que los valores más altos se registran en H-04-GRA en 2009, donde se alcanzan los 14 mg/l.
- Por último, se analiza a continuación la aptitud del agua para su uso recreativo por contacto directo:
 - o En lo que respecta a la **oxigenación de las aguas**, un 24% de las muestras presenta concentraciones por debajo de 7 mg/l establecidos por la OMS para este tipo de usos. El valor promedio de aquellos datos por debajo de este umbral se sitúa en 4.85 mg/l, siendo los valores mínimos próximos a 2.3 mg/l, por lo que se manifiestan bastante desoxigenados. Los mayores problemas de oxigenación se han observado de manera más evidente en las estaciones J-01-AGUAC y I-02-SIRAM en 2009, con concentraciones inferiores a 1 mg/l, como ya se ha expuesto con anterioridad.
 - o En cuanto al pH, como ya se ha comentado anteriormente apenas se registran valores extremos. En este caso, el 100% de las muestras presentan un pH entre 5 y 9 unidades establecidas como rango recomendado por la OMS.
 - o En lo que respecta a la **turbidez**, en el 58% de las muestras analizadas presentan valores por encima del límite superior establecido por la OMS, de 10 NTU, por lo que debe tomarse precauciones en caso de su uso recreativo, por baja visibilidad.
 - o Además de estas limitaciones, es de gran importancia recordar que las aguas presentan altas concentraciones de **coliformes fecales**, muy por encima de los 1,000 NMP/100 ml establecidos por la OMS como el límite recomendable. Se vuelve a incidir en el hecho que el 94% de las muestras presentan concentraciones mayores, en algunos casos en varios órdenes de magnitud, por lo que es este parámetro el que más limitaciones supone sobre la aptitud del agua para el uso recreativo por contacto directo.
 - o Otros parámetros relacionados con la contaminación de las aguas son la DBO₅ y los nitratos. En ambos casos el D. Supremo 0022008MINAM Perú establece un límite superior que no debe superarse para este tipo de usos, que se fijan en 5 mg/l y 10 mg N-NO₃/l, respectivamente. En estos casos, el 14% de las muestras mostraron DBO₅ superiores al límite, mientras el 1% lo superaron en el caso de los nitratos.

4.10.1.2. Principales observaciones a la representatividad de los datos

A continuación se muestra un análisis detallado de la representatividad de los datos disponibles a partir de la red de monitoreo de MARN (DGOA) en la Zona Hidrográfica III – Jiquilisco-Goascorán.



En primer lugar, a la vista de las elevadas concentraciones de coliformes fecales registradas en algunas estaciones, podría ser esperable valores más elevados de DBO_5 a lo largo de las distintas regiones hidrográficas, al menos en estos momentos de máximos de coliformes fecales, ya que son parámetros que suelen aumentar conjuntamente. Sin embargo, las concentraciones de DBO_5 en las estaciones G-01-JUANA en 2010 y H-02-GRAND en 2009 no parecen corresponderse a las elevadas concentraciones de coliformes fecales.

Resulta llamativa también la desoxigenación registrada en el año 2011 a lo largo de las distintas regiones hidrográficas, siendo dicho año considerado hidrológicamente húmedo, y observándose que a la vista de otros datos de calidad disponibles, este descenso generalizado no va acompañado por un aumento significativo de otros parámetros, como la DBO_5 , la conductividad o los sólidos. Es por ello por lo que podría pensarse en que se haya producido algún problema técnico con el sensor de oxígeno disuelto en dicha campaña de muestreos, aunque con la información que se tiene disponible no se puede corroborar. También hay un caso puntual en la Región Hidrográfica J-Goascorán, con concentraciones muy bajas de oxígeno sin explicación aparente; es el caso de la estación J-01-AGUAC en 2009.

En relación con todo lo anterior, resulta destacable los altos valores de concentración de fenoles observados a lo largo de las distintas regiones hidrográficas, y la alta frecuencia de muestras donde se registran altos valores. A este respecto, en zonas con alta contaminación de origen doméstico e industrial es posible detectarse esos niveles en el agua, pero resulta llamativa la frecuencia con la que éstos se presentan. Sería por tanto recomendable realizar una revisión del procedimiento seguido en el laboratorio para descartar posibles contaminaciones cruzadas que estén generando falsos positivos durante las determinaciones, ya que quizá éste podría ser, al menos en algunas ocasiones, los motivos por el que se cuantifiquen valores tan altos a lo largo de toda la cuenca del Lempa y tributarios.

En la Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque se ha observado cierta falta de correlación entre las concentraciones de sólidos totales disueltos y color, ya que en las estaciones F-03-JIBOA y F-04-JIBOA en el año 2010 se han observado valores extremadamente elevados de color aparente que no se ve correspondido por valores muy elevados de TDS; sería esperable que éstos últimos fueran más altos a la vista de los valores de color aparente.

En otras ocasiones, de nuevo con carácter puntual, se ha observado cierta falta de correlación entre las concentraciones de sólidos totales disueltos, turbidez y color, ya que en algunas ocasiones se han observado valores extremadamente elevados de color aparente y en menor medida de turbidez, que no se corresponden con los bajos valores de sólidos totales disueltos, la baja DBO o la baja conductividad. Con esto quiere ponerse de manifiesto que es probable que o bien los valores de TDS en esos casos serían más altos, o bien que la turbidez, y sobre todo, el color aparente, sería mucho más bajo que lo indicado. Un ejemplo puede observarse en las estaciones de la Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel H-01-GRAND y H-02-GRAND en el año 2010, y en la Región Hidrográfica J-Goascorán en J-01-PASAQ y J-02-PASAQ en el mismo año; todas ellas presentan muy elevados valores de color, una desviación relativamente significativa en materia de turbidez, pero una ausencia de desviación en materia de TDS. Tampoco hay por lo general desviación en materia de la materia orgánica ni de conductividad que pueda explicar ese importante aumento de los valores de color.

Por último, puntualmente y en relación con la conductividad, se ha observado una incongruencia en la estación J-01-GOASC y en J-01-SAUCA en 2011, en la Región Hidrográfica J-Goascorán, ya que los altos valores de conductividad no correlacionan con los TDS, DBO_5 ni las distintas sales. Es probable que haya habido algún error en la medición de la conductividad en ambas estaciones en esa campaña.

4.10.1.3. Análisis espacio temporal de la calidad de las aguas

Una vez presentada una síntesis general de la aptitud de las aguas en función del uso, a continuación se facilita un análisis detallado del comportamiento de los distintos parámetros que definen la calidad de las aguas, a lo largo de la Zona Hidrográfica III, dividiéndola por Región Hidrográfica: Bahía de Jiquilisco, Grande de San Miguel, Goascorán y Sirama. Los principales parámetros que definen la calidad del agua son los siguientes, cuya dinámica espacio-temporales se muestra en los **planos del Anexo II. Planos de calidad de las aguas, acápite II.3. Calidad de las aguas superficiales en la Zona Hidrográfica III – Jiquilisco-Goascorán**: contaminación orgánica (DBO_5 y oxígeno disuelto) y microbiológica (coliformes fecales); formas del nitrógeno y del fósforo (nitratos, nitrógeno amoniacal y fosfatos); acidez (pH) y temperatura; sólidos en el agua (sólidos totales disueltos, turbiedad y color aparente); conductividad y sales (cloruros, sodio, RAS, sulfatos y boro); metales (cobre, mercurio, plomo, arsénico, zinc y cromo); fenoles; e Índice de Calidad del Agua General.

- **Región Hidrográfica G-Bahía de Jiquilisco**: se dispone de estaciones en los ríos El Molino (G-01-MOLIN a G-03-MOLIN), así como en su tributario, el río Juana (G-01-JUANA); Roquinte (G-01-ROQUI) y Diente de Oro (G-01-DIENT). Todos ellos a su vez son afluentes a la Bahía de Jiquilisco.
 - En cuanto a la contaminación orgánica, **las mayores concentraciones de DBO_5 se han registrado en el río Juana y puntualmente en el tramo alto de El Molino** (estación G-01-MOLIN en 2007), con un máximo similar entre ellos de 13 mg/l. En el resto de estaciones del río El Molino, y en la estación ubicada en los ríos Roquinte y Diente de Oro, las concentraciones son inferiores, por lo general por debajo de 4 mg/l, aunque en algunos casos se supera ligeramente este umbral, por lo que por lo general no suponen un impedimento al tratamiento convencional de las aguas para su consumo (norma de calidad deseable para este uso según el Decreto 51 es 4 mg/l). **El valor promedio para el río El Molino asciende a 4.7 mg/l, siendo en los ríos Juana, Roquinte y Diente de Oro, de 7.3, 2.8 y 2.5 mg/l, respectivamente.**

En materia de oxigenación, **las menores concentraciones de oxígeno disuelto en el agua se registran en todas las estaciones en 2011** (Figura 43). El mínimo de toda la serie de datos se registra en el río Juana, con 1.5 mg/l, una concentración muy próxima a la anoxia y por tanto que puede suponer un importante impacto sobre la vida piscícola, entre otros usos. Este es de hecho el río que menores concentraciones presentan en todas las campañas, siendo el promedio para todos los muestreos de 2.5 mg/l, por lo que presenta una importante desoxigenación, que puede generar además impactos aguas abajo. En el resto de ríos los valores promedio son muy superiores, aunque siguen siendo indicadores de desoxigenación en el agua, ascendiendo a 4.9 mg/l en El Molino, 5.5 mg/l en Roquinte y 5.9 mg/l en Diente de Oro. Por tanto, las concentraciones puntuales analizadas son en determinados casos inferiores a la norma de calidad deseable para la propagación de la vida piscícola, establecida en 5 mg/l según en el Decreto 51, y bastante inferiores a las recomendadas por OMS para el uso recreativo con contacto directo (establecido en 7 mg/l), aunque por lo general se mantienen en el rango de calidad deseable para el tratamiento convencional previo al consumo (Decreto 51, entre 4 y 6.5 mg/l).

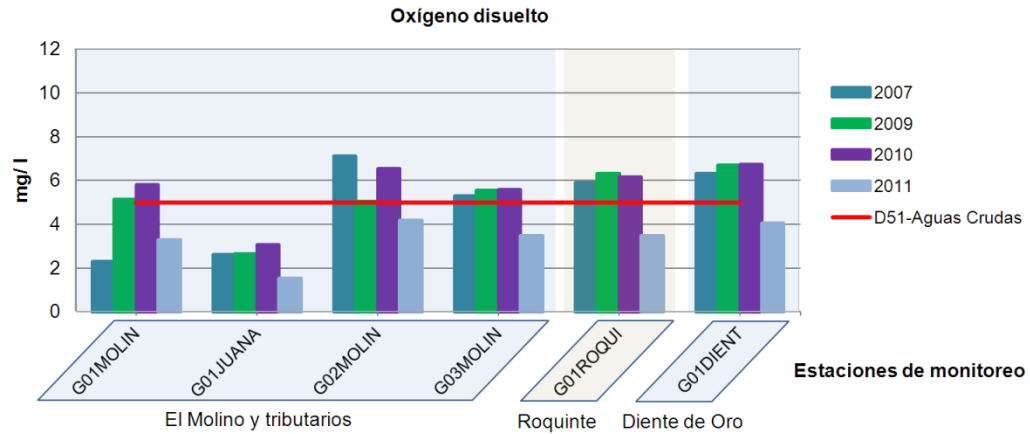


Figura 43. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de oxígeno disuelto en la Región Hidrográfica G-Bahía de Jiquilisco, en el periodo 2006-2011.

Las coliformes fecales son especialmente elevadas en el río Juana, alcanzándose un máximo de 1.7 millones de NMP/100 ml en 2010 y un valor promedio para todos los muestreos de 748,000 NMP/100 ml, con lo que queda patente un problema de contaminación microbiológica en el mismo (Figura 44). Aun así no es el único río en el que se presentan altas concentraciones de este indicador; es el caso del río El Molino en cabecera (G-01-MOLIN) en 2007, con 800,000 NMP/100 ml, aunque presenta concentraciones significativas a lo largo de las distintas estaciones en el río; y de los ríos Roquinte, que en 2009 presentó 220,000 NMP/100 ml, y Diente de Oro, que en 2009 alcanzó los 800,000 NMP/100 ml. Los valores promedio para estos tres ríos ascienden a 100,600, 70,750 y 211,450 NMP/100 ml, respectivamente.

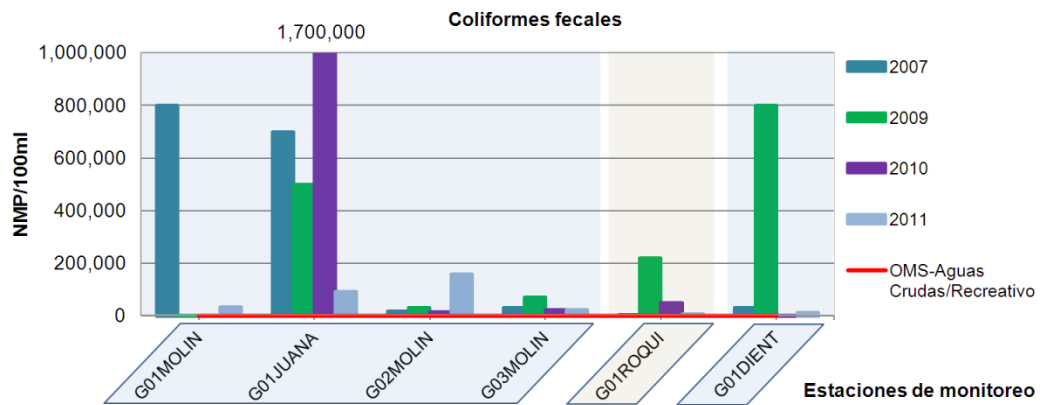


Figura 44. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de coliformes fecales en la Región Hidrográfica G-Bahía de Jiquilisco, en el periodo 2006-2011.

En materia de nutrientes, es de nuevo el río Juana el que mayor variabilidad (en el caso de los nitratos) y mayores concentraciones (en el caso de nitratos, nitrógeno amoniacal y fosfatos) presenta. Los nitratos alcanzan su máximo en 2011, superándose los 10 mg N-NO₃/l establecidos como

límite en las aguas de consumo (CONACYT NSO 13.07.01:08 establece el límite en 45 mg NO_3/l , que equivale a unos 10 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$), que también es el valor recomendado por FAO para el riego, y para el uso recreativo por contacto directo (República del Perú, 2008). En 2011 se observan también valores altos en el resto de estaciones analizadas en la presente Región Hidrográfica, aunque se muestran por debajo de 6 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$, siendo por tanto bastante más moderados. Los valores promedios de nitratos por río son las siguientes: 3.6 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$ en El Molino, 5 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$ en Juana, 2.2 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$ en Roquinte y 2.1 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$ en Diente de Oro. En la Figura 45 se muestra la dinámica de los nitratos:

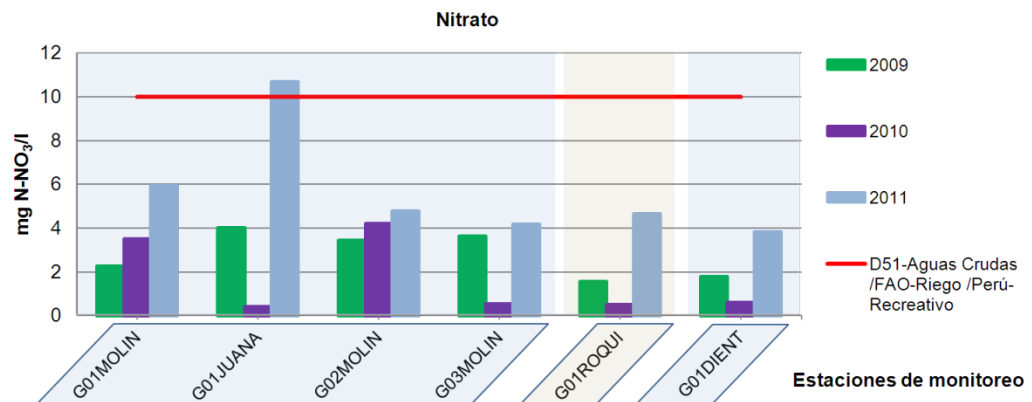


Figura 45. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de nitrato en la Región Hidrográfica G-Bahía de Jiquilisco, en el periodo 2006-2011.

En el caso del **nitrógeno amoniacal**, el máximo asciende a 5 mg $\text{N-NH}_3/\text{l}$ en Juana; es la única estación en la que se superan los 2 mg $\text{N-NH}_3/\text{l}$ establecidos como estándar de calidad ambiental para las aguas que pueden ser potabilizadas por tratamiento convencional (República del Perú, 2008).

En el caso del **fosfato** registrado en 2011, el máximo, en el río Juana, alcanza 0.86 mg $\text{P-PO}_4/\text{l}$, mientras el mínimo, observado en el río El Molino (G-01-MOLIN), asciende a 0.48 mg $\text{P-PO}_4/\text{l}$. Estos niveles son adecuados para la irrigación, ya que se sitúan en todo momento en el rango de valores recomendados por FAO para dicho uso (FAO, 1985), aunque en todas las estaciones superan ampliamente los límites máximos establecidos por EPA (EPA, 1986) a partir del cual pueden aparecer efectos perceptibles en lagos y en ríos.

- o En cuanto al pH, las aguas más ácidas se registran en G-01-MOLIN, siendo el valor promedio para todos los muestreos igual a 6.4 unidades, aunque estos valores son mayores en su tributario (río Juana) y van aumentando aguas abajo en El Molino, hasta un promedio de 7.4 unidades en G-04-MOLIN. El pH en el resto de ríos es bastante homogéneo entre sí, oscilando entre 6.9 y 7.2 unidades, y por tanto adecuado para los 4 grandes usos objeto de revisión en este documento.

Por otra parte, la temperatura del río presenta valores que difieren sensiblemente de las ambientales, pero no se prevén alteraciones sobre la propagación piscícola en esta materia, ya que con los datos disponibles, las desviaciones son inferiores a los 3°C especificados por el Decreto 51 para

este uso. **La excepción se observa en el río Molino, donde las diferencias entre ambas ascienden a 5.9°C.**

- o **La concentración de sólidos totales disueltos (en adelante TDS) en El Molino es variable, tendiendo a aumentar de aguas arriba a aguas abajo.** Los promedios ascienden de 337 mg/l en G-01-MOLIN hasta 405 mg/l en G-03-MOLIN. Su tributario, el río Juana, presenta un promedio de 286 mg/l, algo superior al del río Roquinte, que presenta 254 mg/l, y a su vez que en el río Diente de Oro, donde ascienden a 227 mg/l. Los valores no hacen necesario ninguna restricción en el riego (FAO, 1985), y serían adecuados para el consumo humano (EPA, 1986).

La turbiedad es sin embargo bastante homogénea, siendo el promedio para todas las estaciones ligeramente superior a 10 NTU, umbral fijado por OMS como deseable para el uso recreativo (promedio de 11.4 NTU). Y el color es en promedio superior en el río Juana y aguas abajo de la confluencia de éste en el río El Molino (103 unidades Co-Pt en G-01-JUANA y 71 unidades en G-02-MOLIN), aunque estos promedios se ven afectados en gran medida por los máximos registrados en 2010, próximos a 200 unidades. En el resto de estaciones en la Región Hidrográfica, las concentraciones de color aparente son inferiores, en torno a 36 unidades Co-Pt, y por tanto en el rango de valores adecuado para el tratamiento convencional de las aguas crudas previo al consumo (establecido hasta 150 unidades Co-Pt según el Decreto 51).

- o **En materia de sales, la conductividad en los ríos El Molino y Juana es superior que en los ríos Roquinte y Diente de Oro.** En el primer caso los promedios ascienden a 452.7 y 409.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente para el primer grupo, y a 283.6 y 253.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente para el segundo. Son valores, a excepción de en 2011 en El Molino, acordes con la norma de calidad deseable para la propagación piscícola (Decreto 51), y en todos los casos, adecuados para el riego (Decreto 51).

Con estas diferencias en los valores de conductividad, **también se observan divergencias en lo que respecta a los niveles de cloruros,** aunque todos ellos son inferiores al mínimo establecido en la norma de calidad deseable para las aguas crudas que hayan de ser objeto de un tratamiento convencional (Decreto 51): los valores son superiores en Juana (20.9 mg/l), seguido de El Molino (16.1 mg/l), y por último de los ríos Roquinte y Diente de Oro (6.3-6.4 mg/l).

En materia de concentraciones de sodio y en RAS, éstos presentan menos diferencias entre ríos: los promedios varían entre 22.8 meq Na/l en el río Diente de Oro y 16.9 meq Na/l en Roquinte en el caso del sodio, y entre 0.54 en Roquinte y 0.74 en El Molino y Juana en el caso del RAS. Son valores adecuados para el riego según criterios de FAO, aunque en el caso del sodio, pueden ser incluso inferiores al límite inferior establecido como norma de calidad deseable para este uso en función del Decreto 51.

En cuanto a los sulfatos, sólo en el río El Molino se registran concentraciones ligeramente superiores a la norma deseable para el riego (Decreto 51), aunque en todos los casos son apropiados para este uso según FAO. En el caso del boro en todos los casos es bajo, incluso inferior al límite inferior del rango deseable para dicho uso.

- o En lo que respecta a la concentración de metales, **las concentraciones de cobre, mercurio, plomo, zinc y arsénico están en todos los casos por debajo del LMP especificado por EPA (EPA, 1986)** a partir del cual se pueden producir efectos agudos sobre los peces, ya que presentan niveles



inferiores a aquellos detectables por la técnica analítica empelada para su cuantificación en gran parte de los muestreos; la única excepción se ha observado en la estación G-01-JUANA en 2010, en la que se han cuantificado 0.01 mg de cobre/l, lo que supera el LMP específico. Por otra parte, plomo, zinc, arsénico y cromo se mantienen dentro del rango de valores recomendados para el riego (FAO, 1985).

- o Por último, se dispone de información de la **concentración de fenoles en el agua, que son relativamente similares entre campañas y estaciones, y cuyo valor promedio asciende a 2.4 mg/l, siendo por tanto muy elevados.** Este valor promedio es muy superior a la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinados a potabilización a través de un tratamiento convencional (Decreto 51), aunque sin embargo es inferior al límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l.
 - o Cerrando la valoración del estado de las aguas de esta Región Hidrográfica, se concluye que, a partir de las concentraciones analizadas de coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, variación de temperatura, turbiedad, TDS y oxígeno disuelto, los ICA obtenidos oscilan entre los estados “regular” y “malo”, aunque **predomina el estado “malo” en todos ellos sobre el “regular”.** Con ello, las aguas en este tramo por lo general pueden suponer **importantes restricciones para la vida acuática, que podrá presentar con alta probabilidad una baja diversidad y que se esté experimentando problemas de contaminación. Además debería aplicarse medidas de restricción al contacto humano.** Este mal estado puede estar afectando negativamente a la Bahía de Jiquilisco, receptora de todos los aportes anteriormente analizados.
- Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel: hay disponible información del río Grande de San Miguel (H-01-GRAND a H-03-GRAND) y de dos de sus tributarios, los ríos Villerías (H-02-VILLE) y Las Cañas (H-01-CAÑAS).

Existen diferencias en las concentraciones de DBO₅ a lo largo del río Grande de San Miguel y sus tributarios, **ascendiendo el valor promedio para todas las estaciones y campañas a 4.4 mg/l** (Figura 46). Las mayores concentraciones se han observado en Villerías en 2007, con 15 mg/l, y en el tramo bajo del río Grande de San Miguel en 2009, en H-04-GRAND, con 14 mg/l. En el resto de estaciones, hay monitoreos con valores por debajo de 4 mg/l, y otros ligeramente por encima de dicho valor, por lo que se pueden considerar cargas moderadas de materia orgánica, y en ocasiones adecuadas para el tratamiento convencional de las aguas crudas antes de su consumo.

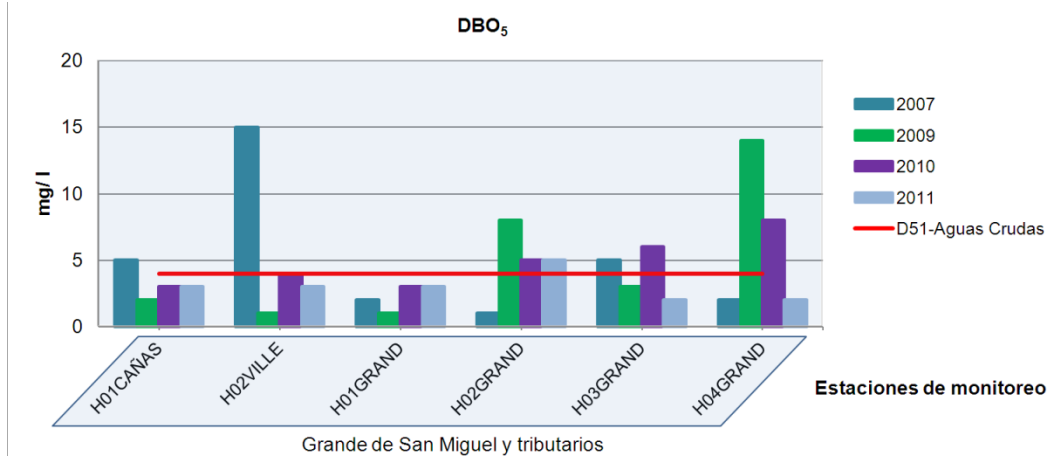


Figura 46. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de DBO₅ en la Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel, en el periodo 2006-2011.

La oxigenación también es variable entre estaciones (Figura 47), y los mínimos, por debajo de 2 mg/l, se observan en H-01-GRAND y H-04-GRAND; debido a este factor la Laguna El Jocotal, ubicada aguas abajo de la estación H-04-GRAND, podría haberse visto perjudicada, sobre todo en 2009 y 2011, momento en que se registraron estos mínimos. Los máximos superan ligeramente los 7 mg/l, pero por lo general se puede afirmar que las aguas están entre parcialmente y muy desoxigenadas, según el caso, con la posible afección a la vida piscícola y a otros usos, según el caso. De este modo el valor promedio en Villerías asciende a 6.1 mg/l, el tramo alto de Grande de San Miguel a 3.0 mg/l, en Las Cañas asciende a 6.1 mg/l, a 5.9 aguas abajo, hasta el tramo bajo, en que vuelve a desoxigenarse a un valor promedio de 2.7 mg/l en H-04-GRAND.

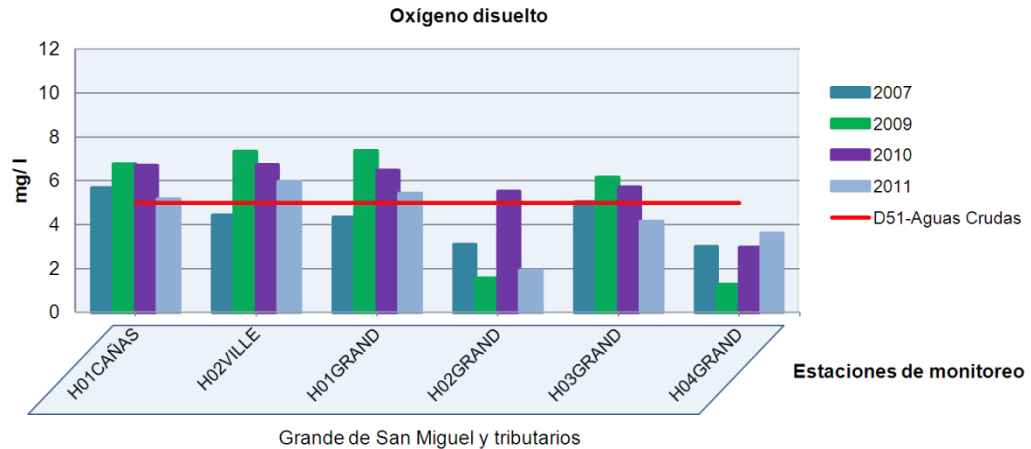


Figura 47. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de oxígeno disuelto en la Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel, en el periodo 2006-2011.

Por último, se registran importantes máximos de coliformes fecales en H-02-GRAND, estación que presenta altos niveles en todos los muestreos, y que alcanza 1.3 millones de NMP/100 ml en

2009 y 800,000 NMP/100 ml en 2007 (Figura 48). La siguiente estación en rango de valores y en valor promedio es la ubicada en Villerías, que alcanza un máximo en 2007 de 500,000 NMP/100 ml, y un valor promedio de 226,750 NMP/100 ml. Las estaciones situadas aguas abajo en el río Grande de San Miguel presentan promedios y máximos más moderados, aunque no por ello dejan de ser elevados; las concentraciones aguas arriba de la Laguna El Jocotal son las más bajas registradas en esta Región Hidrográfica, con un valor promedio de 733 NMP/100 ml, y un máximo de 1,300 NMP/100 ml, con lo que se prevé una baja o moderada contaminación por este parámetro en la laguna.

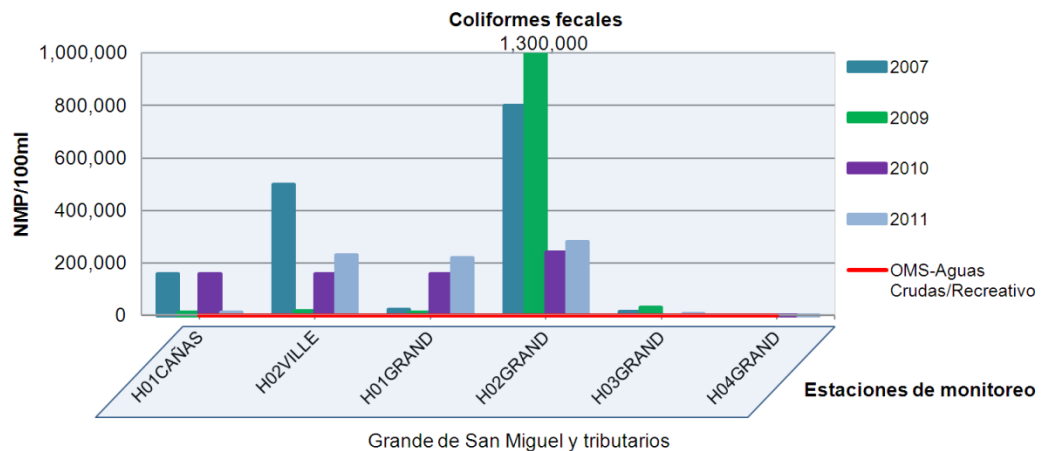


Figura 48. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de coliformes fecales en la Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel, en el periodo 2006-2011.

- o En materia de nutrientes, las diferencias son menos acusadas entre estaciones, y las concentraciones son moderadas, de modo que los nitratos se mantienen por debajo de 2.7 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$ (máximo registrado en H-02-GRAND en 2009), el nitrógeno amoniacal por debajo de 1.6 mg $\text{N-NH}_3/\text{l}$ (máximo registrado en H-02-GRAND en 2007), y los fosfatos por debajo de 0.4 mg $\text{P-PO}_4/\text{l}$ (máximo en 2011 en la misma estación). Con estas concentraciones, las formas del nitrógeno parecen adecuadas para el aprovechamiento en los regadíos, consumo humano tras tratamiento convencional y recreativo con contacto directo. Los fosfatos también parecen adecuados para el riego, pero son muy superiores a los umbrales especificados por EPA a partir de los que pueden detectarse efectos negativos perceptibles por exceso de este parámetro en ríos y lagos.
- o El pH presenta cierta variabilidad entre estaciones y campañas, aunque no se observan valores extremos. El rango de valores está entre 6.7 unidades (mínimo observado en 2009 en H-04-GRAND) y 8.7 unidades (máximo registrado en el río Las Cañas en 2007), por lo que se sitúan en el rango de valores adecuados para la vida piscícola y otros usos como la irrigación, el consumo humano tras tratamiento convencional y el recreativo con contacto directo.

La temperatura del río también presenta un comportamiento variable en su relación con la temperatura atmosférica. De este modo en algunas estaciones la temperatura atmosférica es superior a la del río, y en otras estaciones sucede al contrario. Independientemente de ello, en aquellas estaciones en las que la temperatura del río es inferior a la ambiental, las diferencias son superiores

a 3°C. Es el caso de las estaciones H-02-VILLE (5°C), H-01-CAÑAS (4.1°C) y H-03-GRAND (4.2°C), por lo que habría alguna probabilidad de que se pudiera producir algún tipo de alteración sobre la propagación piscícola en esta materia (Decreto 51).

- o La concentración de TDS, que tiende a aumentar de aguas arriba a aguas abajo en la Región Hidrográfica, se mantiene por debajo de 500 mg/l, registrándose el máximo en H-04-GRAND en 2010, siendo de 439 mg/l. Son por tanto valores en su mayoría adecuado aparas el riego sin restricciones, y para el consumo.

La turbiedad y el color aparente manifiestan unas concentraciones relativamente similares entre estaciones, con la excepción del año 2010, en la que hay importante diferencias y valores muy elevados, principalmente en las estaciones H-02-VILLE, H-02-GRAND y H-01-GRAND. Los máximos de turbiedad (ver Figura 49) y color ascienden respectivamente a 634 NTU y 3,925 unidades Co-Pt en H-02-VILLE, 685 NTU y 3,537 unidades en H-02-GRAND, y a 308 NTU y 1,850 unidades en H-01-GRAND. Obviando estos máximos, los promedios para los monitoreos restantes ascienden respectivamente a 46.2 NTU y 256 unidades, con lo que con frecuencia las aguas no son adecuadas para el tratamiento convencional de las aguas previo al consumo, sobre todo en lo que respecta al color.

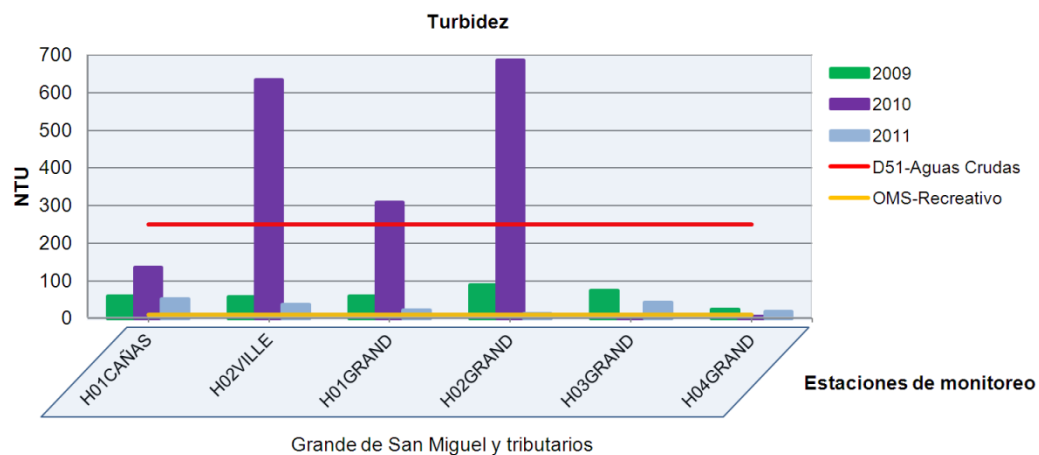


Figura 49. Dinámica espacio-temporal de la turbidez en la Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel, en el periodo 2006-2011.

- o Por otra parte, se puede afirmar que las concentraciones de sales son bajas, de modo que el sodio, boro y los cloruros están incluso por debajo del rango inferior establecido por las normas de calidad deseables para el riego y para las aguas crudas que van a ser objeto de tratamiento convencional, respectivamente. Las mayores concentraciones se registran en la estación H-04-GRAND, con 36.8 meq Na/l en 2011 y 43.8 mg/l de cloruros en 2010. Lo mismo sucede con el RAS, que mantiene mayores valores en H-04-GRAND (1.38 en 2010), aunque en este caso se mantiene en el rango adecuado para el riego. La conductividad sí presenta variaciones más acusadas entre estaciones a lo largo del río, tendiendo a aumentar de aguas arriba a aguas abajo. En H-04-GRAND el máximo asciende a 510 $\mu S/cm$ en 2007, aunque se mantiene adecuada para

el riego y la propagación de la vida piscícola. Los sulfatos se mantienen en el rango adecuado para el riego en todas las estaciones, con un valor promedio que asciende a 0.40 meq/l.

- o En cuanto a los metales, las concentraciones plomo están en todos los casos por debajo del LMP especificado por EPA (EPA, 1986) a partir del cual se pueden producir efectos agudos sobre los peces, ya que presentan niveles inferiores a aquellos detectables por la técnica analítica empleada para su cuantificación. Este es el caso de la mayor parte de los muestreos en el caso del cobre, aunque en este caso sí se han identificado niveles por encima de los LMP respectivos en el caso de los ríos Villerías, Las Cañas y Grande de San Miguel (estación H-02-GRAND) en 2010, y en el caso de Grande de San Miguel, también en 2009 (Figura 50). También es el caso del mercurio (Figura 51), que ha podido ser cuantificado por encima del límite de detección en todas las estaciones en 2007, con excepción de H-04-GRAND, aunque sólo en H-02-GRAND y H-03-GRAND están ligeramente por encima del LMP. Adicionalmente, se registran bajos niveles de zinc, arsénico y cromo.

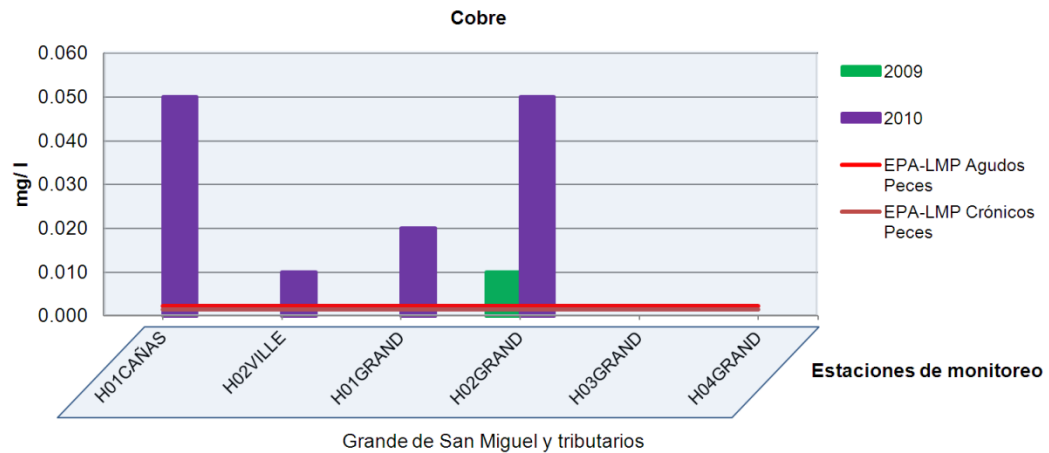


Figura 50. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de cobre en la Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel, en el periodo 2006-2011.

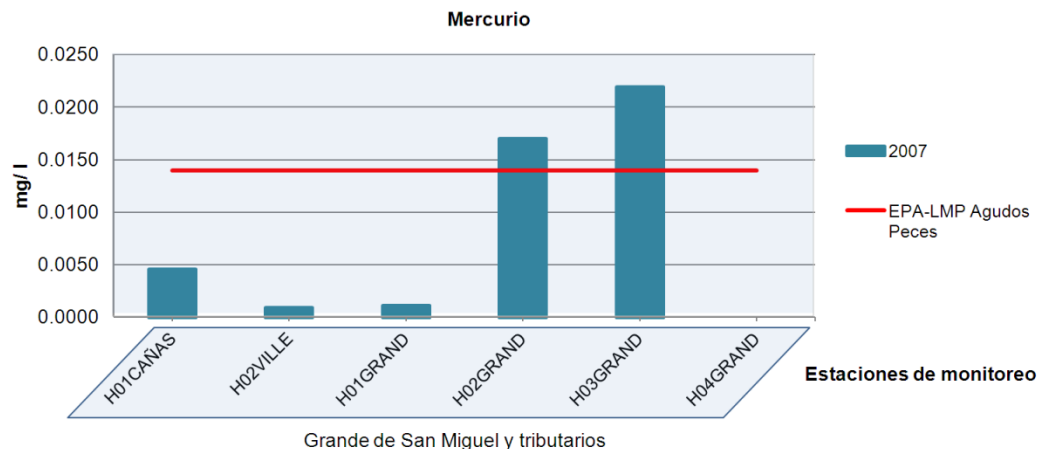


Figura 51. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de mercurio en la Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel, en el periodo 2006-2011.

Además de datos de concentración de los principales metales en las aguas, se dispone de información referente a las cargas en sedimentos de arsénico, cromo, mercurio y plomo en la estación H-02-GRAND para el año 2007. Es de destacar que las cargas de arsénico, plomo y cromo son inferiores a los límites por encima de los cuales pueden esperarse efectos a largo (ERL) y a medio plazo (EMR) sobre los sistemas biológicos asociados al sedimento (Long, Field, & MacDonald, 1998). También son inferiores a los valores objetivo y por tanto también de intervención, establecidos en la norma holandesa (Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Netherland, 2000), y su actualización, sobre todo en materia de valores de intervención, en la denominada “Soil Remediation Circular 2009” de EDSAT.

La carga de mercurio es superior al ERL (0.31 mg Hg/kg de materia seca) y ligeramente mayor al valor objetivo establecido por la normativa holandesa; aunque se mantiene muy por debajo de los ERM y valor de intervención, por lo que se estima que la carga puede considerarse como propia de un sedimento sin afección.

- o Por último, la concentración de fenoles en el río Grande de San Miguel es superior a la de los tributarios, siendo el promedio para todas las estaciones de dicho río en todas las campañas igual a 2 mg/l. En el río Villerías se sitúan en torno a 1.3 mg/l, y en Las Cañas en 1.4 mg/l. Estos valores promedio son muy superiores a la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinados a potabilización a través de un tratamiento convencional (Decreto 51), aunque sin embargo son inferiores al límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l.
- o Cerrando la valoración del estado de las aguas de esta Región Hidrográfica, se concluye que los ICA obtenidos oscilan entre los estados “regular” y “malo”: el tramo alto del río Grande de San Miguel presenta una calidad “mala” de las aguas en todas las campañas, que se mantiene principalmente en dicho estado en las estaciones aguas abajo, y alcanzando un estado predominantemente “regular” en la estación H-03-GRAND. Los tributarios Villerías y Las Cañas presentan un agua principalmente “regular”. Con ello, las aguas en esta Región Hidrográfica pueden presentar restricciones para la vida acuática, que con elevada probabilidad supondrá una baja diversidad en organismos acuáticos, problemas de contaminación y desarrollo de explosiones algales en determinados momentos. Además debería aplicarse ciertas medidas de restricción al contacto humano en los tramos más afectados.

Del informe de calidad ambiental de los ríos obtenido tras el muestreo y análisis de insectos acuáticos como indicadores (UES, 2010), se extrae que la cuenca del río Grande de San Miguel, los tres puntos de muestreo están clasificados dentro de las categorías “regular-pobre” y “pobre” debido al efecto de las actividades antropogénicas, que se evidencian principalmente aguas abajo del área urbana de San Miguel.

- **Región Hidrográfica J-Goascorán:** la presente Región Hidrográfica dispone de estaciones ubicadas a lo largo del río Goascorán (J-01-GOASC a J-03-GOASC), y de algunos de sus tributarios, como es el caso del río El Sauce (J-01-SAUCE), Agua Caliente (J-01-AGUAC) y Pasaquina (J-01-PASAQ y J-02-PASAQ).
 - Los máximos de DBO_5 se han registrado en los años 2007 y 2011, rondando los 6 mg/l en casi todas las estaciones en alguno de estos dos muestreos. Sin embargo, en el resto de monitoreos las concentraciones son inferiores, por lo que se puede decir que **la contaminación orgánica es moderada** a lo largo del río Goascorán y sus tributarios. **En materia de oxigenación, por lo general las concentraciones son superiores a 5 mg/l, aunque se registra un mínimo muy próximo a la anoxia en la estación del río Agua Caliente (0.5 mg/l en 2009), que puede haber supuesto un importante impacto sobre la vida piscícola, pero que sin embargo no parece afectar a la estación inmediatamente aguas abajo, J-01-PASAC. Por último, hay evidente contaminación por coliformes fecales, ya que se observan cantidades significativas de este parámetro en todos los muestreos y estaciones. Las mayores concentraciones se registran en el tramo bajo del río Pasaquina (J-02-PASAQ), donde ascienden en promedio a 222,000 NMP/100 ml. El río que menor promedio presenta es Agua Caliente, con 21,250 NMP/100 ml.**
 - En materia de nutrientes, **las concentraciones de nitratos y nitrógeno amoniacal son relativamente similares entre muestreos y estaciones, y las de fosfatos también son bastante parecidas a lo largo del curso del río y tributarios.** De este modo, los valores oscilan entre 0.34 y 1.52 mg $\text{N-NO}_3/\text{l}$, entre 0.17 y 0.32 mg $\text{N-NH}_3/\text{l}$, y entre 0.12 y 0.33 mg $\text{P-PO}_4/\text{l}$. Con estas concentraciones, las aguas son aptas para el riego, el uso recreativo y el consumo tras tratamiento convencional, aunque las concentraciones de fosfatos pueden suponer algún tipo de afección para la vida piscícola en los ríos.
 - En cuanto al pH, **hay ciertas diferencias entre estaciones, aunque en todos los casos el pH es más elevado en el año 2007, y el más bajo en 2011.** Los valores máximo y mínimo se han registrado respectivamente en J-01-AGUAC y J-01-GOASC, siendo de **8.4 y 6.7 unidades**, adecuado por tanto para los distintos usos.

En ningún muestreo la temperatura del agua presenta una diferencia importante con respecto a la ambiental, siendo en todos los casos inferior a 3°C , por lo que no sería esperable efectos sobre la vida piscícola a este respecto.
 - A pesar de las anteriores similitudes, en materia de TDS, turbiedad y color hay importantes variaciones a lo largo del río Goascorán y tributarios, así como a lo largo de los distintos monitoreos. Por lo general, **los máximos de la serie de datos se observan en las campañas ejecutadas los años 2009 y 2010, aunque también se observan valores elevados en otros monitoreos.** De aguas arriba a aguas abajo, la estación J-01-GOASC presenta valores moderados de TDS, siendo el promedio de 120.25 mg/l; a pesar de ello, ya presenta valores elevados de turbiedad y color aparente, que en promedio ascienden a 204.7 NTU y 747.7 unidades de Co-Pt. Aguas abajo en el río El Sauce, las condiciones son relativamente moderadas, en comparación con el resto de estaciones, siendo los promedios para los tres parámetros de 148.9 mg/l, 104.3 NTU y 631.5 unidades, respectivamente. Sin embargo, aguas abajo en el río Goascorán los valores de turbiedad y color suben a 330.7 NTU y 1,090 unidades Co-Pt, respectivamente. En Agua Caliente las concentraciones son similares a las registradas en El Sauce; sin embargo en **Pasaquina se observan los máximos para todos los parámetros, en 2010, que ascienden a 729.3 mg/l de TDS,**

634 NTU y 3132 unidades de Co-Pt (valores promedio para las dos estaciones en 2010). Aguas abajo en Goascorán también se registran importantes máximos, aunque más bajos que en Pasaquina. Son por lo general **aguas poco aptas para su consumo a partir de un tratamiento convencional**. En la Figura 52 y Figura 53 pueden consultarse las dinámicas espacio-temporales para los parámetros TDS y turbidez, respectivamente:

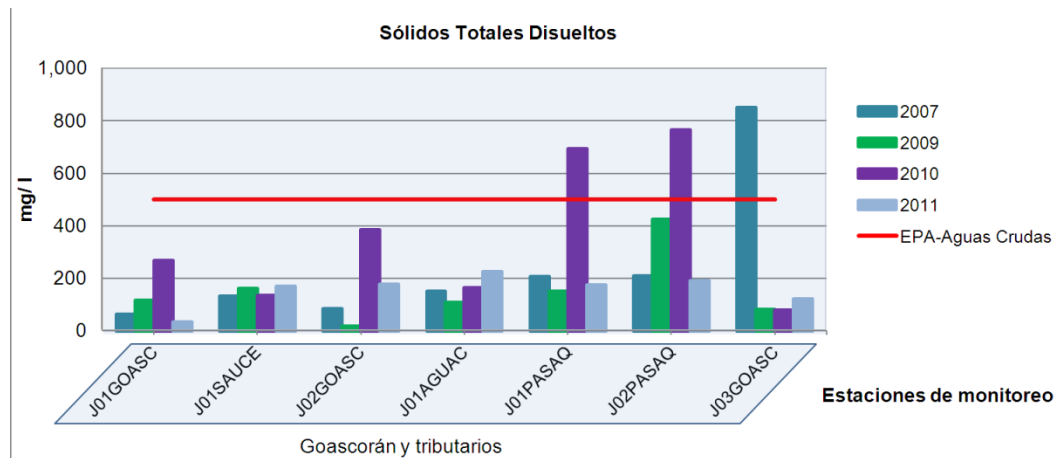


Figura 52. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de TDS en la Región Hidrográfica J-Goascorán, en el periodo 2006-2011.

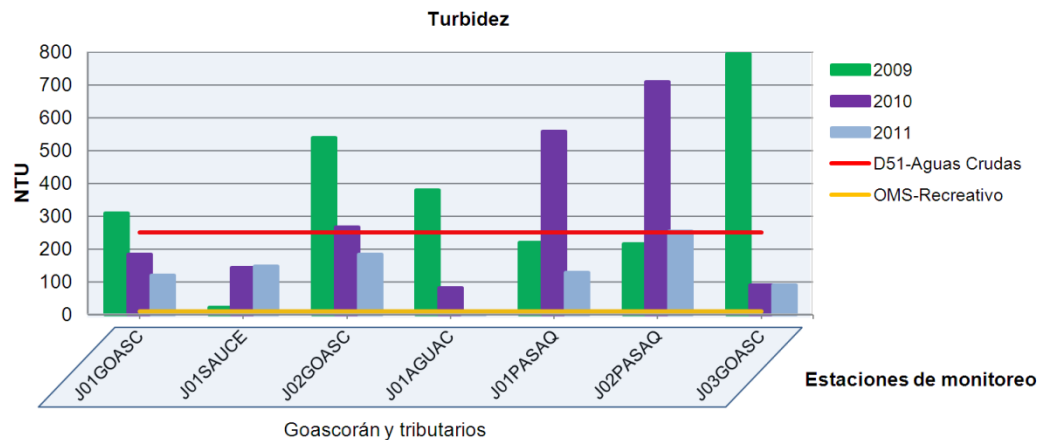


Figura 53. Dinámica espacio-temporal de la turbidez en la Región Hidrográfica J-Goascorán, en el periodo 2006-2011.

- o Sin embargo, en materia de sales por lo general las distintas concentraciones y la conductividad se mantienen bajas y adecuadas para el riego (en el caso del sodio incluso bajas para la norma deseable establecida por el Decreto 51), salvo algunas excepciones, como el máximo de conductividad observado en 2011 en J-01-GOASC y en J-01-SUACE, que superan los 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; también se observan máximos en materia de sodio en el mismo año en J-01-AGUAC y en J-03-GOASC que, a pesar de ser máximos, no superan los 50 meq/l en promedio; o en

materia de RAS, de nuevo en 2011 en J-01-AGUAC, que alcanza un valor de 1.36. Obviando los máximos comentados, en el resto de estaciones y campañas los valores son bastante parecidos, siendo los promedio para los tres parámetros en la Región Hidrográfica de 148.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 3.6 mg/l de cloruros, 15 meq/l de sodio y 0.44 de RAS. También hay bajas concentraciones de boro y sulfatos, que en el primer caso no han podido ser cuantificados al estar por debajo del límite de detección de la técnica analítica, y que en el segundo caso asciende a 0.31 meq/l.

- o Por otra parte, hay ciertos metales que presentan concentraciones por encima de los LMP especificados por EPA (EPA, 1986) a partir del cual se pueden producir efectos agudos sobre los peces, aunque en la mayor parte de los casos los niveles de metales son bajos, inferiores al límite de detección de la técnica analítica. En lo que respecta al cobre, son tres las estaciones que puntualmente han presentado niveles por encima del LMP: J-01-GOASC y J-03-GOASC en 2009, y J-01-AGUAC en 2010. En lo que respecta al mercurio, se supera el LMP en la estación J-01-PASAQ en 2007 (Figura 54). Y en el caso del plomo, de nuevo en 2007 en las estaciones J-01-SAUCE y J-02-PASAQ, aunque las concentraciones son bastante próximas al LMP (Figura 55). Las concentraciones del zinc son con elevada frecuencia inferiores al límite de la técnica, y los de cromo y arsénico bajos. Con todos estos datos se puede concluir que salvo las excepciones anteriormente comentadas, los metales no son elevados para el riego y la vida piscícola.

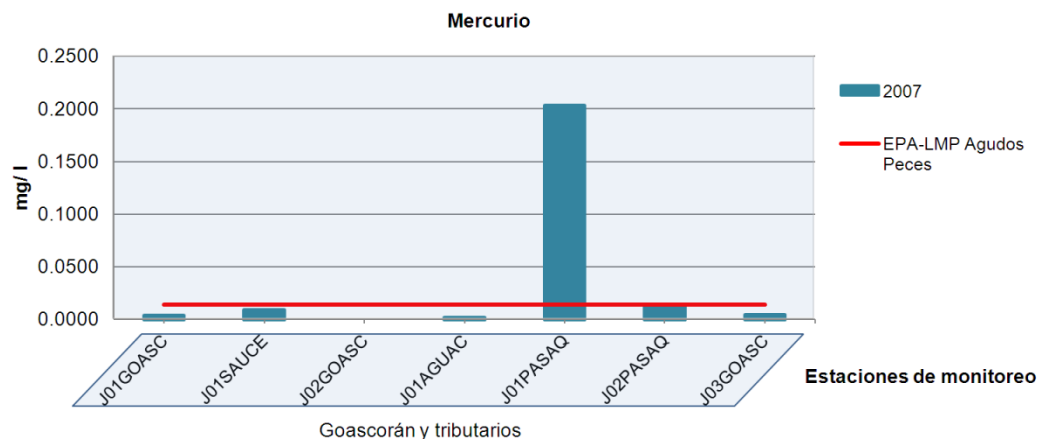


Figura 54. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de mercurio en la Región Hidrográfica J-Goascorán, en el periodo 2006-2011.

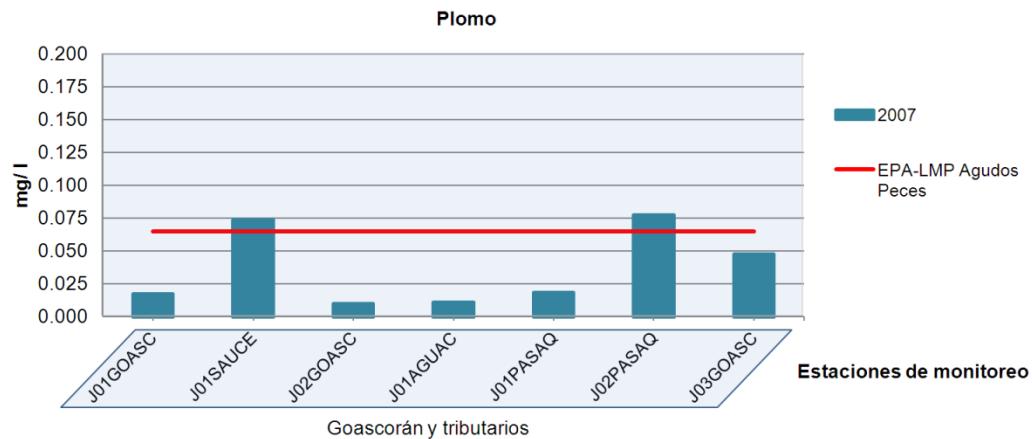


Figura 55. Dinámica espacio-temporal de las concentraciones de plomo en la Región Hidrográfica J-Goascorán, en el periodo 2006-2011.

- o Por último, se dispone de información de la **concentración de fenoles en el agua asciende en promedio a 2.0 mg/l**. Hay pocas diferencias entre estaciones y campañas, y se supera una vez más a la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinados a potabilización a través de un tratamiento convencional (Decreto 51), aunque sin embargo son inferiores al límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l.
 - o Cerrando la valoración del estado de las aguas de esta Región Hidrográfica, se concluye que las aguas presentan un estado general en función de ICA entre “regular” y “malo”, aunque predomina la valoración de “mal estado”. Con esta valoración, las aguas analizadas en esta Región Hidrográfica pueden presentar destacables **restricciones para la vida acuática**, que con elevada probabilidad supondrá una **baja diversidad en organismos acuáticos y problemas de contaminación**. Además debería aplicarse ciertas medidas de restricción al contacto humano.
- Región Hidrográfica I-Sirama: se dispone de una única estación en el río Sirama (I-02-SIRAM).
 - o La **contaminación orgánica registrada es baja**, dado que la concentración máxima de DBO_5 se registra en 2007, siendo de 4 mg/l. A pesar de esta baja concentración, **se ha registrado un monitoreo con muy baja concentración de oxígeno disuelto**, concretamente en 2009, momento en que apenas se alcanza 1 mg/l, una concentración que puede haber supuesto un **importante impacto sobre los peces**; en el resto de monitoreos los valores son muy superiores, entre 5.8 y 6.8 mg/l. Por último, **hay contaminación microbiológica**, ya que el mínimo de coliformes fecales, registrado en 2007, asciende a 14,000 NMP/100 ml, y el máximo, en 2010, a 54,000 NMP/100 ml.
 - o Las concentraciones observadas de **nitratos, nitrógeno amoniacal y fosfatos son relativamente moderados, sobre todo en el caso del nitrógeno**; en el primer caso el rango de valores oscila entre 0.45 y 1.65 mg N- NO_3 /l, en el segundo asciende a 0.21 mg N- NH_3 /l (dato de 2007), y en el tercero a 0.22 mg P- PO_4 /l (dato de 2011). De este modo las aguas son aptas para el riego, el uso



recreativo y el consumo tras tratamiento convencional, pero las concentraciones de fosfatos pueden suponer algún tipo de afección para la vida piscícola en los ríos.

- o **El pH es neutro**, variando entre 7.2 unidades en 2009 y 7.6 unidades en 2011, y por tanto también adecuado para los 4 usos principales. La diferencia entre la temperatura ambiental y del agua es muy inferior a 3°C, con lo que se descartan afecciones sobre la fauna íctica.
- o **La concentración de TDS no es elevada**, rondando los 200 mg/l, aunque sí se detectan altos niveles de turbiedad y de color aparente, por encima de las normas de calidad deseables para las aguas crudas que sean destinadas a consumo previo tratamiento convencional, sobre todo en los monitoreos ejecutados en los años 2009 y 2010, en el que se alcanzan los 300 NTU de turbiedad, y se superan las 1,300 unidades de Co-Pt. Ambos parámetros se moderan en 2011, presentando valores muy inferiores a los de años anteriores.
- o **La conductividad es variable de un año al siguiente**, aunque son valores bajos, adecuados para la propagación de la vida piscícola y el riego. **Las concentraciones de cloruros y de sodio también son bajas, inferiores a los rangos inferiores establecidos por el Decreto 51** como deseables para las aguas crudas y el riego. Los máximos observados ascienden a 9.35 mg/l de cloruros, y 17.74 meq/l de sodio, ambos en 2011. **También el RAS es bajo**, siendo el máximo igual a 0.50 también en 2011; el boro, que no es cuantificable; y los sulfatos, que alcanzan un valor promedio de 0.39 meq/l.
- o En materia de los metales analizados, **hay ciertos muestreos en los que las concentraciones de cobre se presentan por encima del LMP especificados por EPA (EPA, 1986)** a partir del cual se pueden producir efectos agudos sobre los peces. Es el caso de los muestreos de 2009 y sobre todo de 2010, momento en el que se alcanzan 0.06 mg/l. En el caso del mercurio y del plomo, se han observado concentraciones significativas en 2007, pero se mantienen por debajo de los LMP correspondientes. También hay bajos niveles de zinc, arsénico y cromo, en los dos primeros casos inferiores al LMP de efectos agudos en los peces, y en los dos últimos, inferiores al límite recomendado para el riego.
- o Por último, **la concentración de fenoles promedio asciende a 2.0 mg/l. Se observa una tendencia al descenso en las concentraciones año tras año**, partiendo de 2.9 mg/l en 2007 y llegando a 0.7 mg/l en 2011. Se supera una vez más la norma deseable para las aguas crudas que vayan a ser destinados a potabilización a través de un tratamiento convencional (Decreto 51), aunque sin embargo son inferiores al límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l.
- o Cerrando la valoración del estado de las aguas de esta Región Hidrográfica, se concluye que las aguas presentan un estado general en función de ICA entre “regular” y “malo”, por lo que las aguas analizadas en esta Región Hidrográfica pueden presentar **restricciones para la vida acuática, que con elevada probabilidad supondrá una baja diversidad en organismos acuáticos, problemas de contaminación y desarrollo de ciertos crecimientos algales. Además debería aplicarse ciertas medidas de restricción al contacto humano**

4.10.2. Análisis de los resultados de otros estudios específicos de la calidad de las aguas superficiales

4.10.2.1. Estudios específicos en el Golfo de Fonseca

El estudio en el Golfo de Fonseca realizado en el año 2006 (MARN-JICA-BIOTEC, 2006) facilita información de coliformes fecales, DBO₅ y DQO, detergentes (SAAM) y sólidos sedimentables, para ciertos monitoreos realizados en marzo de 2006 en los ríos Goascorán (Región Hidrográfica J-Goascorán), y Santa Cruz, Managua y Sirama (en la Región Hidrográfica I-Sirama). Así mismo, facilita cargas de algunos metales (arsénico, cobre, mercurio, níquel y plomo) y plaguicidas (2,4' DDE, 2,4' DDT, 4,4' DDE, 4,4' DDD, aldrín, clordano (alfa y gamma), diazinón, dieldrín, endosulfan I y II, endrín, etión, heptaclor, heptaclor epóxido, hexaclorobenceno, lindano, malatión, metil paratión y paratión) en los sedimentos en varias zonas en la Región Hidrográfica I-Sirama: Isla Conchaguita, Ciudad La Unión, Isla Meanguera, Puerto La Unión, y en los ríos Santa Cruz, Managua y Sirama; así como en el río Goascorán en la Región Hidrográfica homónima, de nuevo para marzo de 2006 (Figura 56).

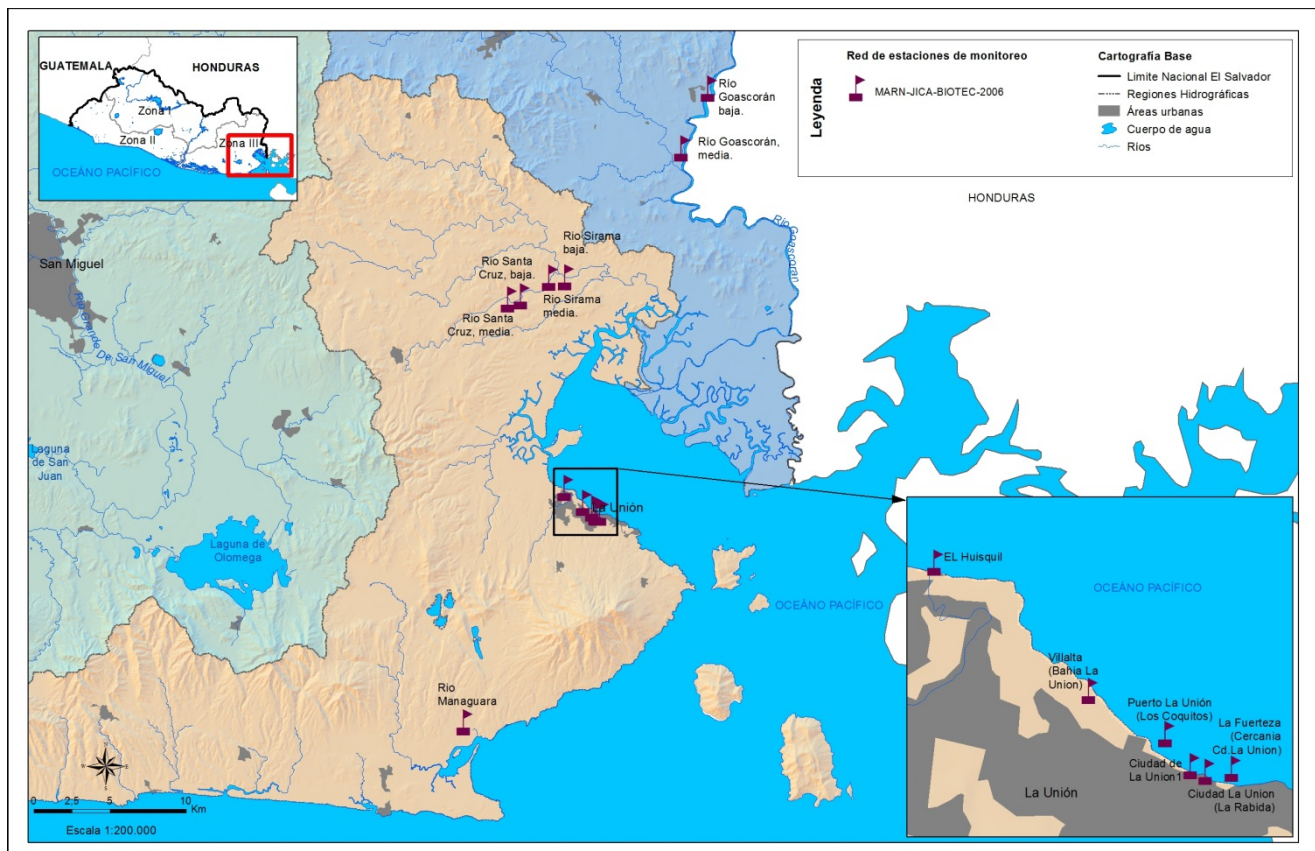


Figura 56. Sitios de muestreo en el golfo de Fonseca, en la Zona Hidrográfica III – Jiquilisco-Goascorán, para el año 2006 (MARN-JICA-BIOTEC, 2006).

En primer lugar, se presentan los principales resultados observados en materia de calidad de aguas y sedimentos en el río **Goascorán**. A raíz del muestreo realizado en las cuencas media y baja, se observan valores similares entre ambos, siendo **bajas las concentraciones de coliformes fecales (16 NMP/100 ml) y de DBO₅ (1.3 mg/l)**, en ambos casos inferiores a los registrados por MARN a lo largo del río en el periodo 2007-2011; sin embargo, **la DQO**

supera los estándares de calidad ambiental establecidos para las aguas crudas que vayan a ser destinadas a consumo tras pasar por un tratamiento convencional, y para uso recreativo con contacto directo, establecidos por la normativa peruana (República del Perú, 2008), siendo el promedio para ambos muestreos próximo a 30 mg/l.

En materia de sedimentos, se destaca que todos los metales y plaguicidas están por debajo del valor de intervención establecido por EDSAT en 2009. En la cuenca media, sólo en el caso del mercurio la carga supera el EMR (Long, Field, & MacDonald, 1998) (2.96 mg Hg/kg). Sin embargo, en algunos casos las cargas en este tramo están por encima de los valores objetivo establecidos por la normativa holandesa, lo que podría estar indicando que las cargas son algo superiores a lo esperable en un sedimento sin afección. Es el caso del aldrín (1.49 µg/kg), clordano (3.62 µg/kg), dieldrín (1.64 µg/kg), endosulfán (3.81 µg/kg), endrín (0.98 µg/kg), heptaclor (2.13 µg/kg), heptaclor hepóxido (1.46 µg/kg), lindano (3.72 µg/kg) y mercurio (2.96 mg/kg). Por último, en el caso del plomo la carga se sitúa por debajo del valor objetivo, pero no del ERL (46.88 mg/kg).

En la cuenca baja, los metales y plaguicidas están por debajo de los respectivos valores de intervención así como de los EMR, aunque de nuevo hay parámetros que superan los valores objetivo y ERL. Los parámetros que superan los valores objetivos correspondientes son los siguientes, que en su mayoría ya superaban los valores objetivo aguas arriba, en la cuenca media, y que en el tramo bajo han aumentado en todos los casos: aldrín (1.63 µg/kg), clordano (3.97 µg/kg), dieldrín (1.8 µg/kg), endosulfán (4.20 µg/kg), endrín (1.08 µg/kg), heptaclor (2.33 µg/kg), heptaclor hepóxido (1.60 µg/kg), lindano (4.09 µg/kg), y cobre (67.72 mg/kg). Por último, sólo el níquel presenta una carga superior al ERL (23.8 mg/kg).

Con lo que respecta a los monitoreos realizados en la Región Hidrográfica I-Sirama, se dispone información de los ríos Sirama, Santa Cruz y Managua:

- Los principales resultados observados en materia de calidad de aguas y sedimentos en el río Sirama, indican altas concentraciones de coliformes fecales tanto en la cuenca media como en la baja (2,400 y 16,000 NMP/100 ml, respectivamente), por encima de lo recomendado por OMS como ya se observara en los datos recabados por MARN en el periodo 2007-2011; y alta DQO (30.5 y 20 mg/l, respectivamente), por encima de los estándares de calidad ambiental establecidos para las aguas crudas que vayan a ser destinadas a consumo tras pasar por un tratamiento convencional, y para uso recreativo con contacto directo. La DBO₅ sin embargo es moderada (3.4 mg/l), similar a la monitoreada por MARN en el periodo 2007-2011.

En materia de sedimentos, se destaca que todos los metales y plaguicidas están por debajo del valor de intervención establecido por EDSAT en 2009. En la cuenca media, sólo el níquel presenta una carga superior al EMR (Long, Field, & MacDonald, 1998) (51.79 mg Ni/kg). Sin embargo, algunos parámetros tienen cargas superiores a los valores objetivo establecidos por la normativa holandesa, siendo el caso del aldrín (1.32 µg/kg), clordano (3.22 µg/kg), dieldrín (1.46 µg/kg), endosulfán (3.40 µg/kg), endrín (0.87 µg/kg), heptaclor (1.89 µg/kg), heptaclor hepóxido (1.30 µg/kg), lindano (3.32 µg/kg), cobre (55 mg/kg) y níquel (44.17 mg/kg). Por último, en el caso del mercurio la carga se sitúa por debajo del valor objetivo aunque por encima del ERL (0.23 mg/kg).

En cuanto a las cargas en la cuenca baja, los metales y plaguicidas siguen manteniéndose por debajo de los respectivos valores de intervención así como de los EMR, aunque de nuevo hay parámetros que superan los valores objetivo y ERL. Los parámetros que superan los valores objetivos son los que se enumeran a continuación, que han aumentado en todos los casos con respecto a los vistos aguas arriba: aldrín (1.57 µg/kg), clordano (3.80 µg/kg), dieldrín (1.73 µg/kg), endosulfán (4.02 µg/kg), endrín

(1.03 $\mu\text{g}/\text{kg}$), heptaclor (2.24 $\mu\text{g}/\text{kg}$), heptaclor hepóxido (1.54 $\mu\text{g}/\text{kg}$), lindano (3.92 $\mu\text{g}/\text{kg}$) y cobre (58.72 mg/kg). Además, en el caso del sumatorio de las formas 2,4' DDE, 2,4' DDT, 4,4' DDE y 4,4' DDD, la carga total ha aumentado con respecto aguas arriba, y se sitúa ligeramente por encima del valor objetivo (10.87 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Por último, sólo el mercurio presenta una carga superior al ERL (0.20 mg/kg).

- En cuanto al río Santa Cruz, tributario del Sirama (aunque se desconoce si aguas arriba o agua abajo del lugar monitorizado en el Sirama), **de nuevo hay altas concentraciones de coliformes fecales tanto en la cuenca media como en la baja** (1,300 y 24,000 NMP/100 ml, respectivamente), y **alta DQO** (28.6 y 38.2 mg/l, respectivamente). La **DBO₅ de nuevo es baja** (1.01 y 2.41 mg/l).

En materia de sedimentos, **los metales y plaguicidas analizados están por debajo de los valores de intervención y los EMR, tanto en la cuenca media como en la baja**. Además, **en algunos parámetros las cargas están por encima de los valores objetivo establecidos por la normativa holandesa**. En la cuenca media son los plaguicidas aldrín (1.15 $\mu\text{g}/\text{kg}$), clordano (2.78 $\mu\text{g}/\text{kg}$), dieldrín (1.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$), endosulfán (1.44 $\mu\text{g}/\text{kg}$), endrín (0.76 $\mu\text{g}/\text{kg}$), heptaclor (1.64 $\mu\text{g}/\text{kg}$), heptaclor hepóxido (1.12 $\mu\text{g}/\text{kg}$), lindano (2.87 $\mu\text{g}/\text{kg}$); en cuanto a los metales, el cobre (80.55 mg/kg). Por último, en el caso del níquel la carga se sitúa por debajo del valor objetivo, pero no del ERL (21.85 mg/kg).

En la cuenca baja, los parámetros aumentan su concentración, siendo los mismos los que superan los valores objetivos correspondientes: aldrín (1.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$), clordano (3.09 $\mu\text{g}/\text{kg}$), dieldrín (1.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$), endosulfán (3.26 $\mu\text{g}/\text{kg}$), endrín (0.84 $\mu\text{g}/\text{kg}$), heptaclor (1.82 $\mu\text{g}/\text{kg}$), heptaclor hepóxido (1.25 $\mu\text{g}/\text{kg}$), lindano (3.18 $\mu\text{g}/\text{kg}$); en cuanto a los metales, el cobre (80.55 mg/kg). De nuevo es el níquel el que presenta una carga superior al ERL (24.3 mg/kg).

- En el río Managua se dispone de datos para la cuenca baja, siendo **muy altas las concentraciones de coliformes fecales** (5 millones NMP/100 ml), **DQO** (317 mg/l), y **DBO₅** (245 mg/l).

En materia de sedimentos, **los plaguicidas están por debajo del valor de intervención establecido por EDSAT en 2009** (no se dispone de información sobre los metales), **aunque sí por encima de los valores objetivo establecidos por la normativa holandesa para el aldrín** (2.28 $\mu\text{g}/\text{kg}$), **clordano** (5.55 $\mu\text{g}/\text{kg}$), **dieldrín** (2.52 $\mu\text{g}/\text{kg}$), **endosulfán** (5.86 $\mu\text{g}/\text{kg}$), **endrín** (1.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$), **heptaclor** (3.26 $\mu\text{g}/\text{kg}$), **heptaclor hepóxido** (2.24 $\mu\text{g}/\text{kg}$) y **lindano** (5.71 $\mu\text{g}/\text{kg}$).

Además de los ríos Sirama, Santa Cruz y Managua, se dispone de información de sedimentos para la zona sureste de la Región Hidrográfica I-Sirama. En todos los casos, las cargas observadas para **los metales y plaguicidas vuelven a estar por debajo del valor de intervención establecido por EDSAT en 2009, así como por debajo de los EMR, con alguna excepción de carácter muy puntual** (Long, Field, & MacDonald, 1998). A continuación se presentan los principales resultados por zona estudiada:

- Ciudad La Unión: se superan los valores objetivo para el aldrín (1.64 $\mu\text{g}/\text{kg}$), clordano (4.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$), dieldrín (1.78 $\mu\text{g}/\text{kg}$), endosulfán (4.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$), endrín (1.08 $\mu\text{g}/\text{kg}$), heptaclor (2.34 $\mu\text{g}/\text{kg}$), heptaclor hepóxido (1.60 $\mu\text{g}/\text{kg}$), lindano (4.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$), mercurio (0.39 mg/kg), níquel (24.46 mg/kg) y cobre (63.50 mg/kg). Además, en el caso del sumatorio de las formas 2,4' DDE, 2,4' DDT, 4,4' DDE y 4,4' DDD, se sitúa ligeramente por encima del valor objetivo (11.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$).
- Puerto La Unión: se superan los valores objetivo para el aldrín (1.48 $\mu\text{g}/\text{kg}$), clordano (3.58 $\mu\text{g}/\text{kg}$), dieldrín (1.63 $\mu\text{g}/\text{kg}$), endosulfán (3.79 $\mu\text{g}/\text{kg}$), endrín (0.97 $\mu\text{g}/\text{kg}$), heptaclor (2.11 $\mu\text{g}/\text{kg}$), heptaclor hepóxido (1.49 $\mu\text{g}/\text{kg}$), lindano (3.70 $\mu\text{g}/\text{kg}$), y cobre (54.75 mg/kg). Además, en el caso del sumatorio de las formas 2,4' DDE, 2,4' DDT, 4,4' DDE y 4,4' DDD, se sitúa ligeramente por encima del valor objetivo

(10.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$). El níquel y el plomo se sitúan por debajo del valor objetivo, pero por encima del ERL (22.82 mg Ni/kg y 39.58 mg Pb/kg).

- **Isla Conchaguita:** de los metales arsénico, cobre, mercurio, níquel y plomo, se supera el valor objetivo para el cobre (69.80 mg/kg).
- **Isla Meanguera:** de los metales arsénico, cobre, mercurio, níquel y plomo, se supera el valor objetivo para el cobre (49.03 mg/kg).

4.10.2.2. Estudios específicos en la Bahía de Jiquilisco

Los estudios realizados en la Bahía de Jiquilisco entre junio de 2008 (MARN, 2008) y junio de 2012 (MARN, 2013), se han centrado en un total de 8 estaciones en la citada bahía (indicadas con codificación entre paréntesis en la Figura 57), y otras 10 ubicadas mayoritariamente en los principales aportes a la misma, en las que se han analizado las concentraciones de coliformes fecales en agua y en bivalvo, así como diversos metales y pesticidas tanto en sedimento como en bivalvo, como se detallará en los siguientes párrafos. A continuación se muestra una imagen de las citadas estaciones:

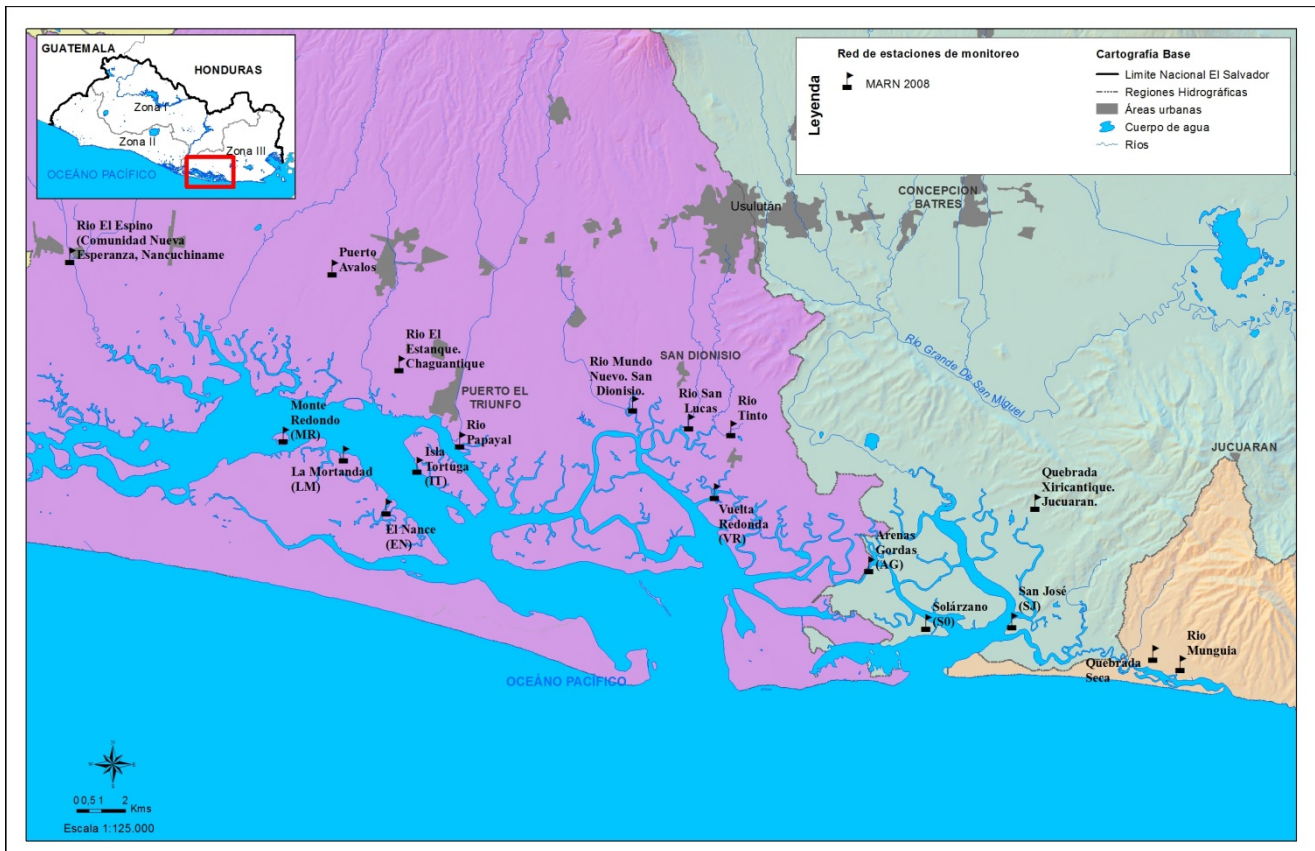


Figura 57. Sitios de muestreo en el Acuífero San Miguel, pertenecientes a la Red de control de la calidad de aguas subterráneas de El Salvador, de la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la Zona Hidrográfica III – Jiquilisco-Goascorán, para el año 2008 (MARN, 2008).

Estos estudios reflejan por lo general concentraciones de coliformes fecales en el agua dentro del rango de recomendación de la OMS, establecido hasta 1,000 NMP/100 ml, a pesar de los elevados aportes que se han observado en años anteriores en las estaciones del MARN ubicadas en los ríos El Molino, Roquinte y Diente de Oro; aunque sin embargo en el informe se pone de manifiesto que *“estos niveles superan el límite de coliformes fecales en agua para zonas de extracción de bivalvos comestibles propuesto por UNEP.”*

Esto sucede en el lado oeste, en las estaciones de medida MR, EN y IT, que “puede asociarse a una menor influencia de asentamientos humanos grandes, lagunas extensas y a que los ríos de poco caudal que confluyen a este sector de la bahía no atraviesan asentamientos humanos considerables (>10,000 habitantes). En el caso de isla Tortuga, que se ubica frente a Puerto El Triunfo, se considera que presentó niveles bajos debido a que el lado Norte de ésta actúa como barrera física, también, ocurre dilución de las aguas residuales en las lagunas estuarinas, así como el hecho que esta ciudad concentra gran parte de sus aguas residuales en una descarga sin tratamiento en el sector de la colonia Las Brisas, al este de la ciudad, donde no se realizó muestreo (MARN, 2008).”

En el lado este, pasa algo similar en las estaciones VR, AG y SO. Por el contrario, la estación SJ (San José) supone una excepción, ya que la concentración registrada en ella en dicho muestreo de junio de 2012 asciende casi a 13,000 NMP/100 ml. *El alto nivel registrado en esta estación puede asociarse a la circulación del río Grande de San Miguel, el cual recibe altas cantidades de aguas residuales de la zona urbana de San Miguel y que es incapaz de degradarlas en su recorrido hacia la bahía de Jiquilisco (MARN, 2008).*

Por otra parte, se dispone de datos de concentración bioacumulada de coliformes fecales en el tejido blando de organismos del género *Anadra* (*Anadra similis* o curil, y *Anadra tuberculosa* o concha negra) y en un organismo denominado “ostra” (se interpreta que la información hace referencia al género *Ostrea*), obteniéndose resultados negativos para *Anadra* en las estaciones VR, SO y EN (<1.8 NMP/g), pero positivos para *Anadra* en las estaciones AG, SJ, IT y EP (siendo el rango de valores entre el máximo en EP con 130 NMP/g y el mínimo en IT con 4.5 NMP/g), y para *Ostra* en EN y PP (6.8 y 22 NMP/g, respectivamente). Según se indica en el informe, *estos resultados son menores a las medias geométricas detectadas por Melara-Pérez (2006) en los mismos bivalvos recolectados en Barra de Santiago, Estero de Jaltepeque y El Tamarindo: 6.3, 19.9, 102.5 NMP/g, respectivamente. Lo cual indica una menor contaminación por material fecal en las muestras de Anadara spp. (concha negra y curil) de este estudio, permitiendo asumir que la bahía de Jiquilisco presenta una mejor calidad ambiental, probablemente favorecida por su mayor superficie e hidrodinámica que facilita la dilución de contaminantes.*

Además de los datos de coliformes fecales en agua y bioacumuladas, se dispone de información analítica referente a los metales arsénico, mercurio y plomo, tanto en sedimento como bioacumulado. En lo que respecta a las cargas en el sedimento, es de destacar que las cargas de los tres metales en las 10 estaciones son inferiores a los límites por encima de los cuales pueden esperarse efectos a medio plazo (EMR) sobre los sistemas biológicos asociados al sedimento (Long, Field, & MacDonald, 1998), y a los valores de intervención actualizados en la “Soil Remediation Circular 2009” de EDSAT. A pesar de ello, sí se registran cargas superiores a los límites por encima de los cuales pueden esperarse efectos a largo plazo (ERL), en materia de arsénico en las estaciones EN, LM y VR (en los tres casos también por encima de los valores objetivos de la normativa holandesa), y en el caso del mercurio en AG, LM y PP (en este caso el valor objetivo sólo se supera en LM); en el caso del plomo no se supera el ERL específico, y por tanto tampoco el valor objetivo, ya que son superiores en el segundo caso con respecto al primero.

En relación con lo anterior, como se ha puesto de manifiesto se dispone de información analítica de estos metales bioacumulados en *Anadra* y *Ostrea*, de los que se ha obtenido concentraciones distintas de cero en los casos

siguientes: para el arsénico, en todas las estaciones salvo en VR; el máximo se observa en IT, con 1.44 mg As/kg en *A. tuberculosa*, y en SJ con 1.32 mg As/kg en *A. similis*. En el caso del plomo, se han observado concentraciones distintas de cero en VR (0.05 mg Pb/kg en *A. tuberculosa*), y en SJ (0.18 mg Pb/kg en *A. similis*). En el caso del mercurio, sólo se ha realizado muestreo en Ostrea en PP, siendo el resultado no significativo (en este caso igual a cero). Con ello, se confirma cierta bioacumulación de metales en estos organismos, sobre todo en el caso del arsénico.

También se dispone de datos de pesticidas en ambos medios, sedimentos y en *Anadra spp.* En este caso, no se han detectado los contaminantes siguientes ni en los sedimentos estudiados ni en *Anadra spp.*: 2,4' DDE, 2,4' DDT, 4,4' DDE, 4,4' DDD, aldrín, clordano (alfa y gamma), diazinón, dieldrín, endosulfan I y II, endrín, etiión, heptaclor, heptaclor epóxido, hexaclorobenceno, lindano, malatión, metil paratión y paratión. Sin embargo, sí se ha observado 4,4' DDE en sedimentos en las estaciones CHA (6.72 µg/kg), RMN (7.56 µg/kg) y RPA (43.5 µg/kg), aunque no en *Anadra spp.* El valor objetivo según la norma holandesa se establece para el sumatorio de las formas DDT, DDE y DDD es igual a 10 µg/kg, por lo que se puede considerar que las concentraciones en CHA y RMN están por debajo de dicho valor, pero no en el caso de RPA, en el que se supera ampliamente, aunque se mantiene por debajo de valor de intervención (4 mg/kg).

4.10.2.3. Estudios específicos en Jocotal y Olomega

Se dispone de información analítica facilitada por MARN para las lagunas de Jocotal (estaciones de monitoreo en la Figura 58) y Olomega (estaciones en la Figura 59), más concretamente parámetros básicos de calidad de aguas como la conductividad, el oxígeno disuelto, el pH, la temperatura y la turbidez; las coliformes fecales; los sólidos disueltos totales y los detergentes. Los estudios se han llevado a cabo en las campañas de abril, mayo (sólo en Olomega), julio (sólo en Jocotal) y octubre de 2010; enero, abril y julio de 2011; marzo (sólo en Olomega), abril (sólo en Jocotal), agosto y noviembre de 2012 (sólo en Jocotal); y febrero de 2013 (sólo en Jocotal).



Figura 58. Sitios de muestreo en la laguna El Jocotal, para el periodo comprendido entre abril de 2010 y febrero de 2013 (MARN, 2013).

Observando los resultados analíticos disponibles en la laguna El Jocotal, y siguiendo el formato de presentación de resultados de los estudios del MARN, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- o **La contaminación microbiológica es alta**, obteniéndose valores por encima de los 1,000 NMP/100 ml recomendados por OMS para el consumo humano y el uso recreativo con contacto directo, en las estaciones LJ1 (Muelle zona El Borbollón, con 5,000 NMP/100 ml), LJ2 (Agua clara, El Borbollón, con 9,000 NMP/100 ml) y LJ3 (Puerto Viejo, con 1,700 NMP/100 ml) para abril de 2010 (única campaña con dato).
- o **La oxigenación de las aguas no es buena**, ya que se muestran por lo general bastante desoxigenadas. Teniendo en consideración que según el Decreto 51 las aguas deben presentar un oxígeno disuelto superior a 5 mg/l, **el valor promedio alcanzado para todas las estaciones y campañas asciende a 4.84 mg/l**; observándose los valores puntuales, es destacable que este criterio se incumple con frecuencia, registrándose valores mínimos próximos a la anoxia en abril de 2010 en LJ3, aunque por lo general los valores se mantienen en torno a 3.8 mg/l (valor promedio para los muestreos en los que la concentración se mantiene por debajo de 5 mg/l).

Con estas concentraciones, las aguas no suelen resultar aptas para consumo tras tratamiento convencional de esta agua crudas. Además, el porcentaje de oxígeno, junto con los valores de concentración, son también inferiores a los recomendados para el uso recreativo con contacto directo.

- o El pH promedio para la serie de datos disponibles asciende a 7.6 unidades, aunque los valores puntuales registrados tienden hacia valores básicos más que a los ácidos. El rango de variación oscila entre 8.9 unidades registrados en la estación en UJ6 (Rincón de Los Brujos) en abril de 2011, y 6.6 unidades en la estación “Desagüe Laguna San Juan” en julio de 2011. Por tanto por lo general el pH presenta valores adecuados para los 4 usos principales: aguas crudas destinadas a consumo humano tras un tratamiento convencional, irrigación y propagación piscícola, superándose con carácter puntual y principalmente en la zona central de la laguna, el límite superior de las normas de calidad deseables para la irrigación y la propagación piscícola (Decreto 51).
- o La temperatura del agua se mantiene por encima de 25°C y en ocasiones ligeramente por encima de 30°C, norma de calidad deseable según el Decreto 51 para la propagación de la vida piscícola, pero no se desvían mucho de dicho valor (máximo 1.5°C), por lo que se puede considerar que en términos generales se encuentra en el rango de valores adecuado para la vida piscícola. Se observan dos excepciones de gran relevancia en abril de 2012, en las estaciones “Ausoles en camino a Laguna agua caliente” y “Laguna agua caliente, parte sur”, en las que se alcanzan 43.7 y 42.6°C, respectivamente, con el consecuente impacto que estas temperaturas en el agua pueden suponer sobre la vida piscícola.
- o La concentración de TDS promedio para la laguna asciende a 303 mg/l, siendo los valores extremos el valor mínimo registrado en UJ3 en julio de 2011, con 88 mg/l, y el máximo registrado en la estación denominada “Ausoles en camino a Laguna agua caliente” en abril de 2012, de 2,909 mg/l, aunque se produce un segundo máximo destacable en “Laguna agua caliente, parte sur” en la misma fecha, con 1,572 mg/l. En el resto de estaciones, las concentraciones se mantienen por debajo de 500 mg/l, por lo que salvo en estas dos excepciones, las aguas son aptas para el consumo tras un tratamiento convencional en materia de este parámetro (EPA, 1986), así como para el riego (FAO, 1985) y la propagación de la vida piscícola (EPA, 1986), que presentan valores umbral muy superiores al anterior.

En relación con lo anterior, la turbiedad se mantiene entre cero y el valor máximo registrado en UJ5 en abril de 2011, de 502.3 NTU, ascendiendo el promedio a 52.4 NTU. Salvo algún máximo adicional puntual, los valores se mantienen por debajo de 250 NTU, por lo que serían aptas para su consumo una vez hayan pasado por un tratamiento convencional en lo que a este parámetro se refiere (Decreto 51).

- o La conductividad promedio para todos los datos disponibles asciende a 555 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y el rango de valores se sitúa entre 704 $\mu\text{S}/\text{cm}$ observados en UJ1 en agosto de 2012 y 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en UJ3 en julio de 2011. Se observan, al igual que con el caso de la temperatura del agua, dos excepciones muy significativas, en abril de 2012, en las estaciones “Ausoles en camino a Laguna agua caliente” y “Laguna agua caliente, parte sur”, en las que se registran 5,940 y 3,210 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Obviando estos dos máximos, la conductividad resultaría apta para las aguas crudas y el riego; es de destacar que en algunos casos los valores se sitúan incluso por debajo del rango inferior de la norma de calidad deseable para el riego según el Decreto 51, fijado en 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En otros casos, los valores superan el rango superior fijado para dicho Decreto para la propagación de la vida piscícola.

- Por último, se dispone de datos de detergentes (SAAM) para abril de 2010, y que se manifiestan en las estaciones UJ3, UJ4 y UJ5 por encima del estándar de calidad ambiental establecido por la normativa peruana para el uso de aguas crudas para el consumo tras un tratamiento convencional y el uso recreativo por contacto directo (República del Perú, 2008), superándose ampliamente en las dos últimas estaciones (5.7 y 5.9 mg/l, respectivamente).

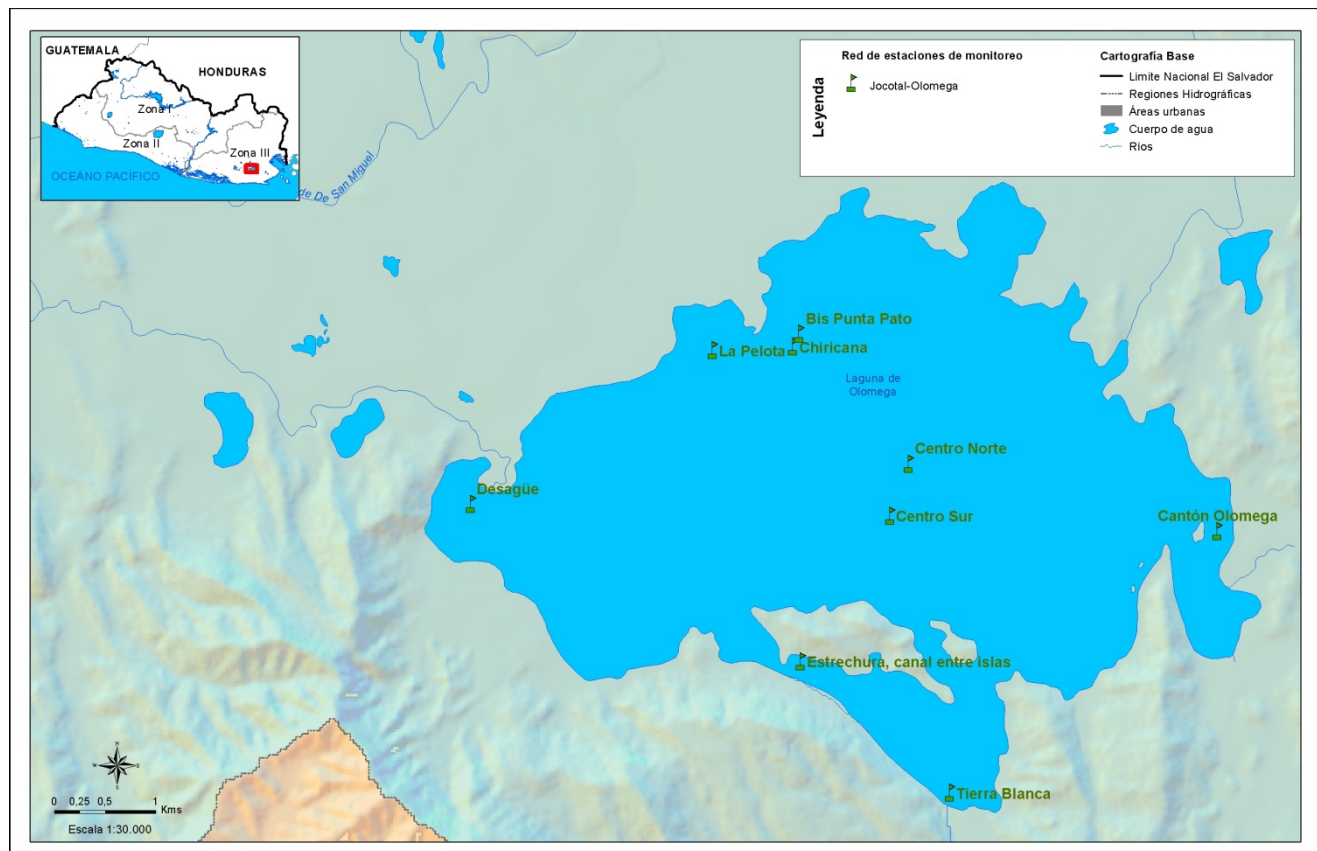


Figura 59. Sitios de muestreo en Laguna de Olomega, para el periodo comprendido entre abril de 2010 y agosto de 2012 (MARN, 2013).

Estudios adicionales desarrollados en la laguna de Olomega (CHF-FUNDE, 2004), destacan los problemas ambientales identificados, como los de la contaminación de las aguas por el uso de detergentes, lejías, agroquímicos, desechos sólidos y excretas de animales y humanos por la falta de letrinas y la presencia de ganado en el perímetro del lago, asociado a la presencia de una granja avícola sin control fitosanitario; deforestación, erosión, y manejo adecuado de los desechos sólidos.

Por otra parte, la laguna de Olomega presenta las siguientes características, por lo general más moderadas que en la laguna El Jocotal:

- La contaminación microbiológica, medida en abril de 2010, es relativamente baja ya que en todas las estaciones se obtienen valores inferiores a 1,000 NMP/100 ml, por lo que las aguas resultarían

adecuadas para el uso recreativo con contacto directo y el consumo tras tratamiento convencional (OMS).

- o La oxigenación promedio de las aguas asciende a 5.8 mg/l, por lo que es superior que en la Laguna El Jocotal. El rango de valores oscila entre 9 mg/l (OL3 en mayo 2010) y 1.9 mg/l (OL6 en marzo 2012). Teniendo en consideración que según el Decreto 51 las aguas deben presentar un oxígeno disuelto superior a 5 mg/l, con cierta frecuencia se manifiestan por debajo de dicho umbral. Los mínimos más destacables son el anteriormente mencionado en OL6 en marzo de 2012, y en OL1 en la misma campaña con 2.87 mg/l, o los 2.08 mg/l registrados en OL2 en agosto de 2012.

Dado que la mayor parte de los valores inferiores a 5 mg/l, son sin embargo superiores a 4 mg/l, la oxigenación resultaría por lo general apta para las aguas de consumo tras tratamiento convencional. Sin embargo, el porcentaje de oxígeno, junto con los valores de concentración, son por lo general inferiores a los recomendados para el uso recreativo con contacto directo.

- o El pH promedio para la serie de datos disponibles asciende a 7.6 unidades, aunque los valores puntuales registrados tienden hacia valores básicos más que a los ácidos, al igual que se observara en la laguna El Jocotal. El rango de variación oscila entre 8.7 y 6.8 unidades, por lo que por lo general el pH presenta valores adecuados para las aguas crudas destinadas a consumo humano tras un tratamiento convencional, la irrigación y la propagación piscícola.
- o La temperatura del agua se mantiene por encima de 25°C y con relativamente frecuencia se superan los 30°C. Aun así el valor máximo se sitúa en 33.8°C en OL3 en julio de 2011, por lo que no supone una desviación muy elevada con respecto a la norma de calidad deseable para la propagación piscícola (Decreto 51).
- o La concentración de TDS promedio para la laguna asciende a 111.5 mg/l, siendo los valores extremos el valor mínimo registrado en OL2 en julio de 2011, con 81 mg/l, y el máximo registrado en OL6 en abril de 2010, de 137.5 mg/l, por lo que por lo que las aguas son aptas para el consumo tras un tratamiento convencional en materia de este parámetro (EPA, 1986), así como para el riego (FAO, 1985) y la propagación de la vida piscícola (EPA, 1986).

En relación con lo anterior, la turbiedad se mantiene entre 8.2 y 258.6 NTU (máximo registrado en OL5 en julio 2011), ascendiendo el promedio a 32.8 NTU. Salvo este máximo puntual, los valores se mantienen por debajo de 250 NTU, por lo que serían aptas para su consumo una vez hayan pasado por un tratamiento convencional en lo que a este parámetro se refiere (Decreto 51).

- o La conductividad promedio para todos los datos disponibles asciende a 222.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, muy inferior a la registrada en El Jocotal; el rango de valores se sitúa entre 286 y 165.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Con estos datos, la conductividad resultaría apta para las aguas crudas, la propagación piscícola y el riego, aunque es de destacar que con relativa frecuencia los valores se sitúan incluso por debajo del rango inferior de la norma de calidad deseable para el riego según el Decreto 51.
- o Por último, se dispone de datos de detergentes (SAAM) para abril de 2010. Se destaca que en las estaciones OL1, OL2, OL3, OL6 y OL7 las contracciones están por encima del estándar de calidad ambiental establecido por la normativa peruana para el uso de aguas crudas para el consumo tras un tratamiento convencional (República del Perú, 2008), aunque a valores inferiores a los observados en El Jocotal (máximo en OL6 con 2.44 mg/l).

Estudios adicionales desarrollados en la laguna (CHF-FUNDE, 2004), ponen de manifiesto la existencia de gran cantidad de fuentes contaminantes, entre las que se destaca la presencia de aguas residuales, basura, desechos agroindustriales, humanos y de animales, lejías y jabones, pesticidas y plaguicidas, y la actividad de maceración del henequén, cuyas pirracha (agua lechosa resultante del proceso), va directamente a la laguna. Además, se pone de manifiesto que hay un uso inadecuado del suelo y los recursos y una falta de conciencia ambiental y de información técnica, que no beneficia a un posible proceso de recuperación. Esto está conllevando a la pérdida de diversidad faunística, la disminución del espejo de agua, la pérdida estética de la zona, la eutrofización y la proliferación de enfermedades debido a la ausencia de servicios básicos de agua potable y alcantarillado, como las dermatitis alérgicas, problemas intestinales por el parásito *Giardi lamblia*, gastritis y colitis, hepatitis virales y trastornos renales.

En materia de calidad de aguas, se ha observado en el marco del citado informe, presencia de coliformes, fosfatos elevados propios de sistemas eutróficos y huevos de áscaris, tenias, quistes de ameba y otras microalgas que sólo crecen en medios contaminados.

4.11. PRINCIPALES CAUSAS Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN ZONA HIDROGRÁFICA III-JIQUILISCO-GOASCORÁN

Para poder definir unas líneas con estrategias de actuación que ayuden a conservar y/o recuperar el entorno, es decir, que permitan identificar las medidas correctoras adecuadas con la priorización correspondiente, es fundamental partir de una correcta definición de las presiones asociadas a las masas de aguas.

Las presiones se establecerán tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo, es decir presiones relacionadas con cantidad o regulación del recurso (extracción de agua, regulación, etc.) y con la calidad del agua (contaminación puntual y difusa).

En los apartados de este punto se realiza de forma descriptiva las presiones identificadas a nivel de región hidrográfica, siempre que sea posible.

4.11.1. Metodología

La metodología empleada es análoga a la explicada en la Zona Hidrográfica I y II.

En los siguientes acápite se presenta la información sobre el tipo de las presiones antropogénicas a las que pueden verse expuestas las masas de agua superficiales relacionadas con la contaminación del agua, en especial:

- Estimación e identificación de la contaminación de fuente puntual, producida por sustancias procedentes de instalaciones y actividades urbanas, industriales, agrarias y de otro tipo. Para ello se ha partida de información bibliográfica y de los trabajos de Inventario de Vertidos en Zonas Prioritarias.
- Estimación e identificación de la contaminación de fuente difusa, producida especialmente por sustancias procedentes de instalaciones y actividades urbanas, industriales, agrarias y de otro tipo.

A pesar de estas limitaciones en la determinación de la magnitud de las presiones, sí se ha podido observar un efecto negativo probado de las presiones identificadas sobre las masas de agua superficiales, debido al deterioro generalizado observado en los principales parámetros de calidad.

4.11.2. Contaminación originada por fuentes puntuales

Se ha observado una serie de problemas comunes a lo largo del territorio salvadoreño, que en gran medida se debe al bajo índice de cobertura de alcantarillado sanitario en el país (que se concentra en un alto porcentaje en San Salvador), y al prácticamente inexistente tratamiento de las aguas residuales urbanas e industriales antes de su vertido a las aguas superficiales y al terreno, lo que acaba contaminando seriamente las aguas superficiales y subterráneas. Esto resulta preocupante en aquellas zonas donde se usa el agua para consumo por el consecuente impacto sobre la salud.

Además de las presiones por vertidos directos a cauce de aguas residuales domésticas e industriales, otra presión de tipo puntual sobre las aguas superficiales puede ser la actividad acuícola.

Como ya se ha comentado para la determinación de presiones significativas es necesario disponer de parámetros y valores umbral que permitan valorar *a priori* si la presión es significativa. Para ello además de conocer el origen de la presión, sería necesario determinar su magnitud, a través de umbrales y parámetros. Entre los parámetros correspondientes a vertidos ordinarios y especiales, cabe mencionar el caudal ($m^3/año$, m^3/mes y $m^3/día$), habitantes equivalentes (vertidos ordinarios) y contaminantes autorizados (mg/l y $g/año$), para el caso de existencia de autorizaciones de vertido, entre otros. En el caso de la presión acuícola, además del caudal ($m^3/año$, m^3/mes , $m^3/día$) sería necesario conocer la concentración y carga de nutrientes y biocidas (mg/l y $g/año$).

A continuación se identifican las principales presiones de tipo puntual comentadas.

4.11.2.1. Vertidos ordinarios y especiales

De acuerdo a la información disponible y a la recopilada en campo durante la fase de “Actualización del Inventario de vertidos” se han identificado un total de 35 vertidos cuyo destino se produce a cauce, ya que son los que pueden producir un deterioro de las aguas superficiales. Asimismo se han incluido en este apartado aquellos vertidos de los que no se conoce su destino (11 vertidos).

Por otro lado, se cuenta con un listado de rastros aportado por el MARN, los cuales forman parte de este tipo de contaminación puntual, generando vertidos de carácter especial. De éstos únicamente se conoce el municipio al que pertenecen, pero no se dispone de ningún dato de localización y del cauce al que producen el vertido.

En los planos del Anexo III (Apéndice III.1 referentes a la Zona Hidrográfica III-Jiquilisco-Goascorán), que se adjuntan al presente documento se visualiza la distribución de los vertidos ordinarios y especiales en el ámbito de estudio, respectivamente; incluyendo los rastros, adicionalmente se adjuntan en el Apéndice III.3 tablas detalladas con información de interés de los mismos.

El informe de la “Actualización del Inventario de Vertidos”, se incluye en el Anexo IV, donde se puede ver con más detalle la información relativa a los vertidos inventariados.

En cuanto a la **Región Hidrográfica G-Bahía de Jiquilisco**, se dispone de 13 vertidos inventariados, de los cuales 8 son ordinarios y 5 especiales. Se distribuyen en los municipios de Usulután, San Dionisio, Puerto del Triunfo y Jiquilisco.

La zona de la bahía de Jiquilisco donde confluye el río Grande de San Miguel, presenta una afección por coliformes fecales, que puede deberse a los contaminantes orgánicos que transporta el río. En relación al tratamiento, 9 no disponen de él, 2 presentan algún tipo de proceso depurativo y del resto no se tiene información.

En relación a la **Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel**, se han identificado 37 vertidos (10 ordinarios y 27 especiales), principalmente en torno al área urbana de San Miguel. Lamentablemente sólo un vertido cuenta con tratamiento previo conocido, ya que de 22 no se cuenta con esta información; sobre los 14 restantes no se realiza ningún tratamiento.

De acuerdo a la información disponible, las aguas del río Grande de San Miguel, presentan elevadas concentraciones de coliformes fecales y otros contaminantes, así como de DBO_5 y sólidos totales disueltos, lo que limita su uso. Esto se puede relacionar con el aporte de contaminantes que generan los vertidos sin tratamiento o tratamiento insuficiente, derivados de las actividades antrópicas.

En el caso de la **Región Hidrográfica I-Sirama**, la mayor parte de los vertidos identificados (16), se realizan al Goyo de Fonseca, desde el municipio de La Unión. En total se cuenta con información de 20 vertidos, de los cuales 13 son de tipo ordinario y 7 de tipo especial. Únicamente 5 disponen de un tratamiento previo, mientras que de 6 se desconoce.

Para finalizar, en la Región Hidrográfica **J-Goascorán**, únicamente se han identificado 3 vertidos, en el municipio de Santa Rosa de Lima, lo cuales son de tipo especial y no se cuenta con información sobre si reciben algún tipo de tratamiento previo.

Los informes de “Levantamiento de fuentes contaminantes del recurso hídrico. Informe final. Levantamiento mediante trabajo de campo del inventario de las principales fuentes contaminantes del recurso hídrico identificadas tanto subterráneas como superficiales” (Ventura, 2005), y “Análisis del marco técnico y jurídico de las aguas residuales (manejo, reuso de aguas, con caracterización y disposición de lodos; y propuesta de normas técnicas)” (MARN-AMBIENTEC, 2008), facilitan una información de gran interés en materia de la calidad de los vertidos que se están produciendo, en los momentos de edición de los citados informes, en el ámbito de la Zona Hidrográfica III – Jiquilisco-Goascorán.

En la **Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel** se han estudiado un total de 5 fuentes de contaminación, cuyos vertidos son de diversa índole, que se presentan a continuación siguiendo la nomenclatura de actividades establecidas en la **Norma Salvadoreña Obligatoria: NSO. 13.49.01:09 “Aguas. Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor”, establecida en el Acuerdo N° 249, Diario Oficial del 11 de Marzo de 2009**. Cuatro de los vertidos analizados se concentran en el término municipal de San Miguel:

- **1 de aguas de tipo ordinario:** “Agave S.A. de C.V.” (V131), ubicada en el municipio de Mocagua, vierte sus aguas residuales sin depurar al río Villerías. Los datos de calidad disponibles indican que hay un exceso de **DQO** en comparación con el VMP establecido para las aguas ordinarias.
- **1 procedente de una actividad relacionada con los animales vivos y productos del reino animal (Actividad I):** “Avícola Campestre” (V130), ubicada en el municipio de San Miguel, vierte sus aguas residuales sin tratamiento a un campo de riego y a una fosa séptica. El vertido presenta altas concentraciones de **DBO_5 , SS y SST** (superiores a los VMP específicos para la actividad), y alta **DQO** (por encima del VMP para aguas ordinarias).
- **1 procedente de una actividad relacionada con productos del reino vegetal (Actividad II):** ingenio azucarero denominado “Ingenio Chaparrastique S.A.” (V132), ubicado en el municipio de San Miguel, y cuyo vertido, que presenta altas concentraciones de materia orgánica (**DBO_5 y DQO** superiores a los VMP específicos de la actividad) y sólidos (**SS** por encima del VMP específico, y **SST** por encima del VMP para las aguas de tipo ordinario), es realizado a terreno tras un tratamiento en unas lagunas de oxidación.

- 1 vertido procedente de una Industria de bebidas no alcohólicas y aguas gaseosas (Actividad IV): “Envasadora El Sol de Oriente” (V135), en San Miguel, que vierte al alcantarillado de ANDA, aunque no se sabe si con previo tratamiento. El vertido presenta alta concentración de SST (los valores superan el VMP específico de la actividad).
- 1 vertido procedente de una industria se dedica a los productos de las industrias químicas (Actividad VI): “Baterías El León” (anteriormente “Baterías Migueleñas”) (), que se dedica a la fabricación de baterías; también se ubica en el término municipal de San Miguel, y vierte al alcantarillado de ANDA, sin datos sobre si dispone de previo tratamiento, aunque a la vista de los datos de calidad, es probable que disponga de alguno, ya que sólo se identifica cierto exceso de SST, por encima del VMP para las aguas de tipo ordinario.

En la Región Hidrográfica I-Sirama, en el departamento de La Unión, se han estudiado un total de 4 fuentes de contaminación:

- 2 fuentes con vertido de tipo ordinario:
 - “Destacamento Militar N°3 La Unión” (V232), cuyo vertido se realiza en el municipio de Conchagua en un lugar desconocido tras pasar por un RAFA. A pesar de ello, el vertido presenta una concentración de SST superior al VMP especificado para las aguas de tipo ordinario, y altos niveles de **coliformes fecales**.
 - “Base Naval La Unión” (V245), ubicada en La Unión y que vierte sin tratamiento previo al Golfo de La Unión. Sus aguas residuales presentan concentraciones de DBO₅ y SST superiores a los VMP establecidos para las aguas de tipo ordinario. También tienen altos niveles de **coliformes fecales**.
- 2 procedentes de actividades relacionadas con los animales vivos y productos del reino animal (Actividad I):
 - Procesadora de atún “Industrias Calvo” (V259), que vierten al Golfo de Fonseca tras una PTAR basada en lodos activados. A pesar de ello las concentraciones de **aceites y grasas, DBO₅, DQO y SST** no llegan a presentar las condiciones adecuadas para las aguas de tipo ordinario, aunque sí se cumplen los VMP específicos para el tipo, muy permisivos para asegurar unas condiciones adecuadas en el medio receptor. Además, presentan altas concentraciones de **coliformes fecales**, muy por encima del VMP establecido para todos los vertidos de tipo especial.
 - “Verlmar S.A. de C.V.” (V144), que disponen de un muelle y varadero en La Unión, y que vierten a terreno (fosa séptica) sin tratamiento previo. Las aguas residuales presentan altos niveles de DBO₅, DQO y SS, incluso por encima de los VMP específicos de la actividad.

En la Tabla 30 se muestra un resumen de los vertidos descritos, presentándose las características principales:

Tabla 30: Vertidos identificadas en la Zona Hidrográfica III – Jiquilisco-Goascorán, de los que se dispone de información bibliográfica de calidad del mismo; se indica la ubicación espacial de cada uno, su tipología, tratamiento y destino final, así como la fuente de información del que procede.

Código interno	Código campo	Nombre	Tipo	Municipio	Cuerpo receptor	Tratamiento	Fuente
V130	DA 4539	Avícola Campestre	Especial	San Miguel	Campo de riego	Sin Tratamiento (Fosa séptica)	Ventura, 2005
V131	DA 2272	Agave SA de CV	Especial	San Miguel	Río Villerías	Sin tratamiento	Ventura, 2005
V132	DA 2046	Ingenio Chaparrastique	Especial	San Miguel	A terreno	Lagunas de oxidación	Ventura, 2005/MARN-

							Ambientec 2008
V135	DA 3456	Envasadora El Sol de Oriente	Especial	San Miguel	Alcantarillado ANDA	Sin datos	Ventura, 2005
V138	DA 2795	Baterías El León (ex B. Migueleñas)	Especial	San Miguel	Alcantarillado	Sin datos	Ventura, 2005
V144	DA 3124	Muelle y Varadero Veramar S.A de C.V.	Especial	La Unión	A terreno	Sin Tratamiento (Fosa séptica)	Ventura, 2005
V232		Destacamento Militar N°3 La Unión	Ordinaria	La Unión	Sin datos	RAFA	MARN-Ambientec, 2008
V245		Base naval, La Unión	Ordinario	La Unión	Golfo de Fonseca	Sin tratamiento	MARN-Ambientec, 2008
V259		Industrias Calvo	Especial	La Unión	Golfo de Fonseca	PTAR (lodos activados)	MARN-Ambientec, 2008

4.11.2.2. Pesca y acuicultura

En cuanto a la **Región Hidrográfica G-Bahía de Jiquilisco**, existe una fuerte actividad acuícola, desarrollada en la Bahía de Jiquilisco. La especie cultivada es principalmente el camarón marino. La producción total en el año 2012 ascendió a 680,433 kg (MAG, 2013k). En la Bahía de Jiquilisco la actividad acuícola se desarrolla en estanques y en granjas de agua salada, que originalmente fueron salineras. Los sistemas de cultivo predominantes son el extensivo, semi-intensivo y el artesanal. Los sistemas artesanal y extensivo se caracterizan por las bajas densidades de siembra (larva silvestre) y un limitado o inexistente manejo de la calidad de agua. El recambio de agua que se realiza es por la diferencia en el nivel de las mareas y en el segundo caso se usa fertilizante para mejorar la alimentación natural (MINEC-BID, 2011). Por otro lado, en el sistema semi-intensivo las unidades productoras son abastecidas por bombeo accionado por motores diesel, lo que les permite no depender tanto de las mareas. Los estanques se pueblan únicamente con larva de laboratorio a densidades entre 10-20 post larvas por metro cuadrado. Asimismo se ponen en práctica algunas medidas de prevención de enfermedades (MINEC-BID, 2011).

El aumento de los proyectos de acuicultura en la Bahía de Jiquilisco, están reduciendo de forma importante la cobertura arbórea. En la Bahía de Jiquilisco las zonas acuícolas se ubican los municipios de Jiquilisco (La Canoa-Las Mesitas; Salinas de Sisihuayo, El Zompopero y El Potrero-Cuche de Monte), Puerto El Triunfo (El Jobal en la Isla El Espíritu Santo y Salinas El Mapachín -Hacienda. La Carrera-), San Dionisio (Puerto Parada y Puerto El Flor), así como en Jucuarán (La Ringleira e Isla Arco del Espino). En estas zonas existen 32 núcleos productores de camarón, de los que 28 pertenecen a asociaciones cooperativas y cinco son de propietarios individuales (UCA-FIAES, 2010).

En relación a la **Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel**, no se tiene constancia de actividad acuícola, a la vista de las fuentes de información consultadas. Sí hay dos importantes comunidades pesqueras mixtas en las lagunas de Jocotal y Olomega.

En el caso de la **Región Hidrográfica I-Sirama** se tiene constancia de actividad acuícola en las proximidades de la Quebrada El Pozo. Además hay varias comunidades distribuidas entre las islas y la costa continental del Golfo de Fonseca, básicamente comunidades pesqueras comerciales con o sin turismo.

Para finalizar, en la **Región Hidrográfica J-Goascorán**, no se tiene constancia de actividad acuícola o piscícola.

4.11.3. Contaminación originada por fuentes difusas

De igual forma que en las zonas hidrológicas I y II, las fuentes difusas identificadas son acopio de desechos sólidos en las proximidades de los cursos de agua, lo que acaba lixiviando a las aguas superficiales, actividades agropecuarias y usos mineros.

Para la determinación de presiones significativas es necesario disponer de parámetros y valores umbral que permitan valorar *a priori* si la presión es significativa. Para ello además de conocer el origen de la presión, sería necesario determinar su magnitud, a través de umbrales y parámetros. Entre los parámetros correspondientes a botaderos y rellenos sanitarios, cabe mencionar el caudal lixiviado y sustancias peligrosas y contaminantes que pueden incorporar al medio, para los suelos contaminados, sería imprescindible conocer el porcentaje de extensión respecto de la cuenca y las sustancias peligrosas y contaminantes existentes; en el caso de la agricultura, además de la diferenciación entre agricultura de riego y secano, habría que conocer el porcentaje cultivado respecto a la cuenca, así como los nutrientes y plaguicidas utilizados; finalmente en lo que respecta a las zonas mineras, también sería necesario disponer del dato de porcentaje de área respecto a la cuenca y las sustancias peligrosas y contaminantes existentes

4.11.3.1. Botaderos, rellenos sanitarios y suelos contaminados

Se conoce la existencia de 40 botaderos en el ámbito de la Zona Hidrológica III – Jiquilisco-Goascorán, 9 de ellos cerrados. La mayor concentración de botaderos se registra en la Región Hidrológica Grande de San Miguel, con un total de 23, lo que supone un 58% del total. La mayor parte de los mismos son municipales según la información facilitada en el Segundo Censo Nacional de Desechos Sólidos Municipales (MARN-BID, 2009). Las siguientes Regiones Hidrológicas en abundancia de botaderos son Goascorán, con un total de 8 botaderos, 2 de ellos cerrados, y todos municipales; y Sirama, con 7 botaderos, de los cuales sólo 2 permanecen abiertos. La Región con menor número de botaderos registrados es Bahía Jiquilisco, con 2 botaderos, uno de ellos municipal.

Con estos datos, y, el 83% de los botaderos identificados en la zona Hidrológica III tendrían origen municipal, mientras sólo 1 de ellos, el 2.5%, tendría carácter clandestino.

Por otro lado, es importante mencionar que el MARN efectuó un Inventario de Plaguicidas y Sitios Contaminados en el año 2012, en el que registró seis sitios en todo el país, en los cuales se encontraron más de 62 toneladas de plaguicidas, además de solventes, tierras y equipos contaminados, entre otros. (MARN, 2013h).

En esta zona Hidrológica, se encontraron 42,660.00 kg del plaguicida toxafeno en el municipio de San Miguel, lo que ocasionó un caso crítico de suelos contaminados.

A continuación se muestra por región hidrológica la información de interés de los mismos, como es el nombre del botadero, el municipio al que pertenece y su estado (abierto o cerrado). La distribución de los mismos puede visualizarse en el Plano del Anexo III (Apéndice III.1).

Región Hidrológica G-Bahía de Jiquilisco:

En la Tabla 31 consta la información de interés de los botaderos de la región hidrológica.

Tabla 31: Inventario de botaderos identificados Región Hidrológica G-Bahía de Jiquilisco. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009)

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
BOTADERO	OZATLAN	Usulután	553421	251962	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SANTIAGO DE MARIA	Usulután	555809	261216	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006

Asimismo se conoce la existencia de un relleno sanitario ubicado en el departamento de Usulután. A continuación en la Tabla 32 se incluye además de su ubicación, datos como el área que ocupan y la fecha de inicio de operación. Adicionalmente, se puede visualizar la ubicación del mismo en el Plano del Anexo III (Apéndice III.1):

Tabla 32: Inventario de rellenos sanitarios identificados la Región Hidrográfica G –Bahía de Jiquilisco, en función de la información facilitada por MARN (Información de los Rellenos Sanitarios de El Salvador)

Nombre	Extensión	Cantón	Municipio	Departamento	Inicio operación	Zona Hidrográfica
Disposición Final de los Desechos Sólidos de los Municipios de Usulután, Puerto El Triunfo, Concepción Batres y Ereaguayquin	42	El Trillo	Usulután	Usulután	Dic-03	III-Jiquilisco-Goascorán

Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel:

En la Tabla 33 consta la información de interés de los botaderos de la región hidrográfica.

Tabla 33: Inventario de botaderos identificados Región Hidrográfica H-Grande de Sonsonate. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009)

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	CACAOPELA	Morazán	598410	278403	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	CALIFORNIA	Usulután	558213	257267	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
LA CRUCITA	CHAPELTIQUE	San Miguel	578741	279792	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	CHILANGA	Morazán	598410	278403	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	CIUDAD BARRIOS	San Miguel	578702	289424	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
BOTADERO	EL CARMEN	San Miguel	597454	261327	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	EL DIVISADERO	Morazán	598410	278403	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	EL TRANSITO	Usulután	570234	247939	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	GUATAJIAGUA	Morazán	586270	280633	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006



Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	JOCORO	Morazán	598410	278403	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	LOLOTIQUILLO	Morazán	598410	278403	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	MONCAGUA	San Miguel	580295	269823	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN ANTONIO	San Miguel	597454	261327	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN CARLOS	Morazán	598410	278403	III-Jiquilisco-Goascorán	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN FRANCISCO GOTERA	Morazán	598410	278403	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN JORGE	San Miguel	571067	254551	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN MIGUEL	San Miguel	597454	261327	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	SAN RAFAEL ORIENTE	San Miguel	569687	250977	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
QUEBRADA EL ZAPOTE	SANTA ELENA	Usulután	564147	250959	III-Jiquilisco-Goascorán	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SOCIEDAD	Morazán	598410	278403	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	ULUAZAPA	San Miguel	597454	261327	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	YOLOAIQUIN	Morazán	598410	278403	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	YUCUAIQUIN	San Miguel	597247	261327	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006

Asimismo se conoce la existencia de un relleno sanitario ubicado en el departamento de San Miguel. A continuación en la Tabla 34 se incluye además de su ubicación, datos como el área que ocupan y la fecha de inicio de operación. Adicionalmente, se puede visualizar la ubicación del mismo en el Plano del Anexo III (Apéndice III.1):

Tabla 34: Inventario de rellenos sanitarios identificados la Región Hidrográfica H –Grande de San Miguel, en función de la información facilitada por MARN (Información de los Rellenos Sanitarios de El Salvador)

Nombre	Extensión	Cantón	Municipio	Departamento	Inicio operación	Zona Hidrográfica
Diagnóstico Ambiental de la Gestión Municipal de Desechos Sólidos de la ciudad de San Miguel	19	Las Delicias	San Miguel	San Miguel	Dic-07	III-Jiquilisco-Goascorán

Por otro lado se ha identificado un caso de suelo contaminado:

San Miguel (Carretera Panamericana, km 144): contaminación por el plaguicida toxafeno, debido al abandono de numerosos barriles en las instalaciones de la exfábrica formuladora de plaguicidas AGROJEL. Esta empresa dejó 42.6 toneladas del plaguicida, altamente tóxico, que se encontraba al aire libre y en contacto con los pobladores que residían en los alrededores de la instalación.

El MARN atendió este caso eliminando los desechos los cuales fueron tratados a través de coprocesamiento en hornos cementeros, incluyendo los suelos que habían tenido contacto con los mismos, se desarrollaron otras medidas como la atención de salud a las familias afectadas, el análisis de frutos y cultivos en la zona y el suministro de agua potable. (MARN, 2013h).

Región Hidrográfica I-Sirama:

En la Tabla 35 consta la información de interés de los botaderos de la región hidrográfica.

Tabla 35: Inventario de botaderos identificados Región Hidrográfica I-Sirama. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009)

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	BOLIVAR	La Unión	613886	272014	III-Jiquilisco-Goascorán	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	CHIRILAGUA	San Miguel	596104	231292	III-Jiquilisco-Goascorán	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	CONCHAGUA	La Unión	620161	234735	III-Jiquilisco-Goascorán	Cerrado	MARN_BID_2006
EL SALTO LAS FLORES	INTIPUCA	La Unión	601710	229989	III-Jiquilisco-Goascorán	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	LA UNION	La Unión	627873	244148	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
PASAQUINA	PASAQUINA	La Unión	624146	263387	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN ALEJO	La Unión	613199	256695	III-Jiquilisco-Goascorán	Cerrado	MARN_BID_2006

Asimismo se conoce la existencia de un relleno sanitario ubicado en el departamento de La Unión. A continuación en la Tabla 36 se incluye además de su ubicación, datos como el área que ocupan y la fecha de inicio de operación. Adicionalmente, se puede visualizar la ubicación del mismo en el plano del Anexo III (Apéndice III.1):

Tabla 36: Inventario de rellenos sanitarios identificados la Región Hidrográfica I-Sirama, en función de la información facilitada por MARN (Información de los Rellenos Sanitarios de El Salvador)

Nombre	Extensión	Cantón	Municipio	Departamento	Inicio operación	Zona Hidrográfica
Sitio de Disposición Final de Santa Rosa de Lima	4.9	La Chorrera	Santa Rosa de Lima	La Unión	May-07	III-Jiquilisco-Goascorán

Región Hidrográfica J-Goascorán:

En la Tabla 37 consta la información de interés de los botaderos de la región hidrográfica.

Tabla 37: Inventario de botaderos identificados Región Hidrográfica J-Goascorán. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009).



Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	ANAMOROS	La Unión	619800	277150	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	CONCEPCION ORIENTE	La Unión	619800	277150	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	EL SAUCE	La Unión	619800	277150	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	LISLIQUE	La Unión	618666	297927	III-Jiquilisco-Goascorán	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	NUEVA ESPARTA	La Unión	619800	277150	III-Jiquilisco-Goascorán	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	POLOROS	La Unión	619800	277150	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN JOSE	La Unión	619800	277510	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SANTA ROSA DE LIMA	La Unión	619800	277150	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006

Asimismo se conoce la existencia de un relleno sanitario ubicado en el departamento de Morazán. A continuación la Tabla 38 se incluye además de su ubicación, datos como el área que ocupan y la fecha de inicio de operación. Adicionalmente, se puede visualizar la ubicación del mismo en el plano del Anexo III (Apéndice III.1):

Tabla 38: Inventario de rellenos sanitarios identificados la Región Hidrográfica I-Sirama, en función de la información facilitada por MARN (Información de los Rellenos Sanitarios de El Salvador).

Nombre	Extensión	Cantón	Municipio	Departamento	Inicio operación	Zona Hidrográfica
Relleno Sanitario de la Ciudad de Corinto	3.86	Corralito	Corinto	Morazán	Sin datos	III-Jiquilisco-Goascorán

Asimismo, se ha localizado un sitio crítico con fuerte contaminación del suelo, tal y como se indica en la Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental (MARN, 2013d):

...en la mina San Sebastián, localizada en el caserío El Comercio, Cantón San Sebastián, de la jurisdicción de Santa Rosa de Lima, del departamento de La Unión, que fue abandonada después de ser explotada para la extracción de oro y plata. En mayo de 2012, se identificaron los puntos de descarga de aguas procedentes del interior de túneles de la mina, y se procedió a la medición de parámetros de calidad en la corriente de agua procedente del afloramiento antes mencionado, la cual descarga al río San Sebastián a unos 500 metros del sitio, encontrándose un drenaje ácido (pH menor de 3) y contaminación por cianuros.

4.11.3.2. Usos del suelo (actividad agrícola)

En la Zona Hidrográfica III-Jiquilisco-Goascorán, al igual que en el resto del país, la actividad agrícola se centra en la cultivo de café, granos básicos, y caña de azúcar, y en menor medida en la siembra de árboles frutales. Aun así, gran parte de la superficie del suelo, en torno al 50%, conserva su cobertura forestal y vegetación arbórea no cultivada, sobre la que no se realizan tratamientos fitosanitarios

Los cafetales se encuentran en la parte alta de la Bahía de Jiquilisco, y en la cuenca media del río Grande de Sonsonate.

Por otro lado las zonas de cultivo de granos básicos, se distribuyen por toda la cuenca del río Grande de San Miguel, principalmente en su margen derecha, así como en la parte media de la región hidrográfica Bahía de Jiquilisco. La mayor parte de la superficie cultivada a este respecto, corresponde a superficie no regada.

Por último, los campos de caña de azúcar, se sitúan en mayor medida en la zona media baja de la Bahía de Jiquilisco, en los municipios de Jiquilisco y Puerto de El triunfo, al igual que en el tramo bajo del río Grande de Sonsonate.

Es de destacar la fuerte presión sobre el recurso bosque dulce y salado en la Bahía de Jiquilisco, debido al crecimiento de la frontera agrícola que está reduciendo de forma importante la cobertura arbórea (MARN, 2013).

En los Planos del Anexo III (Apéndice III.1), que se adjuntan al presente documento se visualiza la distribución de la actividad agrícola, agrupándola por cultivo de regadío y de secano, de acuerdo a la Tabla 13. En dichos planos se ha representado el porcentaje de ocupación del suelo, por municipio, en cada región hidrográfica. En los casos en que un municipio forma parte de dos o más regiones hidrográficas, se le ha asignado un valor porcentual, en proporción al área comprendida dentro de cada región.

El uso de fertilizantes puede repercutir en la calidad de las aguas, apareciendo concentraciones elevadas de nutrientes y, que dan lugar a fenómenos de eutrofización y a la aparición de *blooms algales*, con la posible liberación de toxinas al medio. Por infiltración en el terreno, los nutrientes, pueden llegar a las aguas subterráneas. Del mismo modo el empleo de plaguicidas puede traducirse en la aparición de compuestos tóxicos para las comunidades piscícolas y otros organismos, así como para el ser humano. Los más usados se pueden dividir en tres grupos, organoclorados, organofosforados y carbamatos.

De forma general los efectos que la actividad agrícola puede ocasionar sobre los cuerpos de agua superficiales, se resumen en la Tabla 39:

Tabla 39: Posibles efectos de actividad agrícola sobre las aguas superficiales. Fuente: Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Fuente: (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55) y (FAO, 1997).

Actividad agrícola	Efectos
	Aguas superficiales
Labranza/arado	Sedimentos/turbidez: los sedimentos transportan fósforos y plaguicidas adsorbidos a las partículas de los sedimentos; entarquinamiento de los lechos de los ríos y pérdida de hábitat, desovaderos, etc.
Aplicación de fertilizantes	Escorrentía de nutrientes, especialmente fósforo, que da lugar a la eutrofización y produce mal gusto y olor en el abastecimiento público de agua, crecimiento excesivo de las algas que da lugar a desoxigenación del agua y mortandad de peces
Aplicación de estiércol	Esta actividad se realiza como medio de aplicación de fertilizantes; si se extiende sobre un terreno congelado provoca en las aguas receptoras elevados niveles de contaminación por agentes patógenos, metales, fósforo y nitrógeno, lo que da lugar a la eutrofización y a una posible contaminación.



Actividad agrícola	Efectos
	Aguas superficiales
Plaguicidas	La escorrentía de plaguicidas da lugar a la contaminación del agua superficial y la biota; disfunción del sistema ecológico en las aguas superficiales por pérdida de los depredadores superiores debido a la inhibición del crecimiento y a los problemas reproductivos; consecuencias negativas en la salud pública debido al consumo de pescado contaminado. Los plaguicidas son trasladados en forma de polvo por el viento hasta distancias muy lejanas y contaminan sistemas acuáticos que pueden encontrarse a miles de millas de distancia (por ejemplo, a veces se encuentran plaguicidas tropicales o subtropicales en los mamíferos del Ártico).
Riego	Escorrentía de sales, que da lugar a la salinización de las aguas superficiales; escorrentía de fertilizantes y plaguicidas hacia las aguas superficiales, con efectos ecológicos negativos, bioacumulación en especies ícticas comestibles, etc. Pueden registrarse niveles elevados de oligoelementos, como el selenio, con graves daños ecológicos y posibles efectos en la salud humana.
Talas	Erosión de la tierra, lo que da lugar a elevados niveles de turbidez en los ríos, entarquinamiento del hábitat de aguas profundas, etc. Perturbación y cambio del régimen hidrológico, muchas veces con pérdida de cursos de agua perennes; el resultado es problemas de salud pública debido a la pérdida de agua potable.
Silvicultura	Gran variedad de efectos; escorrentía de plaguicidas y contaminación del agua superficial y de los peces; problemas de erosión y sedimentación.

4.11.3.3. Explotación ganadera

En la zona Hidrográfica III-Jiquilisco-Goascorán, la actividad ganadera se encuentra dispersa por toda la superficie, siendo el número de cabezas de ganado muy inferior a los registrados en las otras zonas hidrográficas.

En este caso, el ganado de tipo avícola, tiene muy baja representación en comparación con las otras zonas hidrográficas, siendo el número de cabezas de 647,268; sin embargo el número de cabezas de ganado bovino, aun siendo inferior al de aves, resulta destacable, llegando a 356,818, concentradas principalmente en los municipios de Jiquilisco, San Miguel y Pasaquina. Por último el ganado porcino tiene una escasa presencia siendo el número de cabezas de con 32,926 durante el año 2007 (MINEC-MAG, 2009).

En los Planos del Anexo III (Apéndice III.1) que se adjuntan al presente documento se visualiza la distribución de las cabezas de ganado por municipio para los tres tipos mencionados. Los efectos que la ganadería puede ocasionar sobre los cuerpos de agua, están relacionados con el transporte de nutrientes, materia orgánica y bacterias, por el lixiviado al mezclarse con la lluvia, generando eutrofización en las aguas, y la aparición de color y turbidez. En el Apéndice III.5, las cabezas de ganado por municipio.

Los efectos que la ganadería puede ocasionar sobre los cuerpos de agua, están relacionados con el transporte de nutrientes, materia orgánica y bacterias, por el lixiviado al mezclarse con la lluvia, generando eutrofización en las aguas, y la aparición de color y turbidez.

Para evaluar la presión derivada del uso ganadero, se convierten las cabezas de ganado a unidades ganaderas, con el fin de realizar una valoración global de la presión. En la Figura 60 se puede observar la distribución de las cabezas de ganado para los tres tipos representados como una única unidad ganadera.

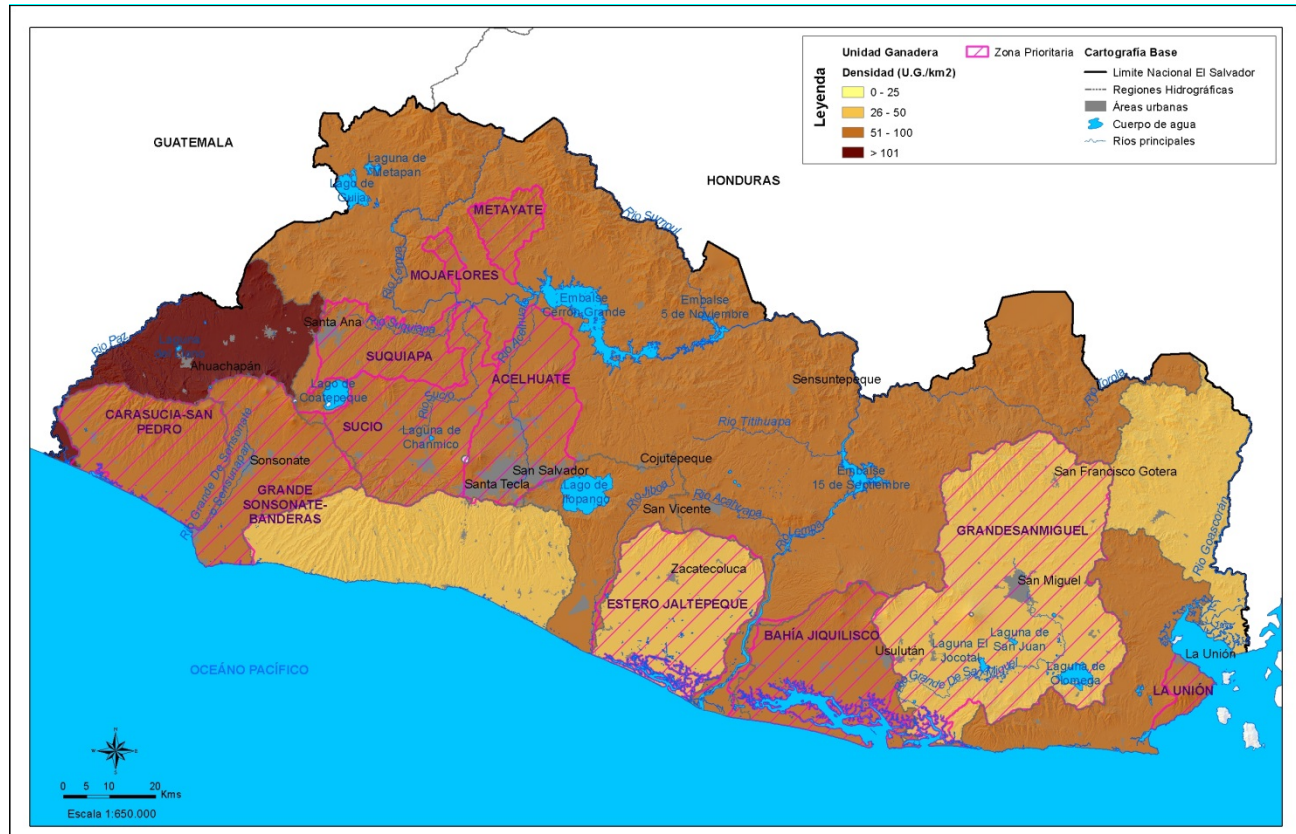


Figura 60: Distribución de la densidad de unidad ganadera (calculada a partir de las cabezas de ganado avícola, porcino y bovino). Fuente: elaboración propia.

4.11.3.4. Zonas mineras

En El Salvador la actividad minera ha pasado por diferentes periodos de crecimiento y recesión. Alcanzó su mayor auge a mediados del siglo XX, con la explotación de metales preciosos, como oro y plata, con la llegada de grandes empresarios extranjeros que vieron la oportunidad de expansión y de generar grandes beneficios. Posteriormente se produjo un receso durante el conflicto armado (1980-1992). En 1996 la expedición de la ley minera, la cual reemplazó el antiguo código de minas que se hallaba en vigencia desde 1922, contribuyó a la reactivación de la actividad (MINEC, 2011).

La nueva Ley de Minería y sus Reglamentos, aprobados en los últimos años constituyen un marco regulador moderno para el desarrollo de la actividad minera. Dado que estas actividades se desarrollan principalmente en el medio rural, ello podría suponer una fuente de empleo y consecuentemente de ingresos que contribuirían a mejorar la situación socioeconómica de una proporción de la población rural, actualmente muy empobrecida.



Se desconoce con detalle el potencial minero del país, únicamente se ha investigado el 8% del territorio nacional (MARN, MOP, VMVDU, 2004).

Actualmente la minería en El Salvador se encuentra casi y exclusivamente en fase de exploración, estando las licencias para tal fin próximas a su extinción, y no existiendo ninguna de explotación.

El principal problema en relación con los recursos mineros de El Salvador es el desconocimiento del estado de los mismos. Existe cierta información de los yacimientos explotados históricamente en el país, pero actualmente no se dispone de un análisis exhaustivo los recursos disponibles con una evaluación de su explotación potencial.

Por otro lado, la investigación de este tipo de recursos recae en la Dirección General de Hidrocarburos y Minas del MINEC. No obstante, esta Dirección General parece presentar ciertas limitaciones económicas y de personal para asumir independientemente este cometido y recurre al apoyo de Proyectos de Cooperación para ampliar el conocimiento de los recursos mineros del país.

Debe destacarse igualmente que no existen instituciones docentes de nivel superior en relación a la materia por lo que no hay en el país técnicos preparados para investigar y desarrollar las actividades del sector minero (MARN, MOP, VMVDU, 2004).

Los recursos mineros conocidos en el país hasta la fecha se pueden dividir en minerales metálicos: oro, plata, cobre, plomo y zinc, entre otros; y recursos no metálicos: arcillas, calizas, puzolana 4, perlita, diatomitas, pómez, gravas, arenas, lavas, etc.

El interés suscitado en el país por la explotación de metales preciosos e industriales, tales como Au, Ag, Cu, Fe, Pb y Zn, ha generado la creación de minas en zonas que son susceptibles de explotación, conocidas como zonas de interés minero o distritos mineros, en las cuales existió actividad en un pasado y que en un futuro podrían reactivarse si se dieran las condiciones económicas, técnicas y administrativas necesarias.

Se han identificado zonas de interés minero en las regiones hidrográficas A-Lempa, H-Grande de San Miguel, J-Goascorán e I-Sirama.

En la **Región Hidrográfica H- Grande de San Miguel**, existe existen algunos distritos mineros. Dos de ellos se situarían en el departamento de San Miguel y otros dos en el de Morazán, siendo los metales de interés la plata y el oro (ver Tabla 40).

Tabla 40: Inventario de zonas de interés mineras identificadas en la Región Hidrográfica H- Grande de San Miguel. Fuente: (MINEC, 2011) y (MARN, MOP, VMVDU, 2004).

Nº	Zona de interés minero	Superficie (Km ²)	Departamento	Región Hidrográfica	Minerales	Fuente
1	Yamabal-El Hormiguero	176,21	Morazán	H-Grande de San Miguel/I-Sirama	Au, Ag	MINEC, 2001 I
2	Chapeltique-Sesori	175,00	San Miguel	H-Grande de San Miguel	Au, Ag	MINEC, 2001 I/Capa de Usos del Suelo
1	Jocoro	316,59	Morazán	H-Grande de San	Au, Ag	MINEC,

⁴ Puzolana: Sustancia rica en ácido silícico que al contacto con el agua desarrolla cualidades cementantes.

Nº	Zona de interés minero	Superficie (Km ²)	Departamento	Región Hidrográfica	Minerales	Fuente
				Miguel		2001 I
3	Minitas	Se desconoce	San Miguel	H-Grande de San Miguel	Se desconoce	MARN, MOP, VMVDU, 2004.

La ubicación de las mismas se presenta en los Planos del Anexo III (Apéndice III.1).

Las principales minas presentes en las zonas de interés minero de la Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel-Lempa, se describen a continuación (MARN, MOP, VMVDU, 2004):

▪ Distrito minero Yamabal-El Hormiguero:

- **Mina Hormiguero:** este yacimiento de oro y plata presenta tres vetas principales, Gallardo, Guadalupe y Hormiguero, todas ellas emplazadas en lavas andesíticas de granos gruesos. Las vetas son de cuarzo y calcita bandeada y crestiforme con óxidos de manganeso y con escasa mineralización en pirita, esfalerita, galena y calcopirita. Las paredes de las vetas están fuertemente propilitizadas y acompañadas de abundante pirita.
- **Zonas de Barrios:** El depósito contiene oro y plata. Las vetas de cuarzo se presentan casi siempre acompañadas de sulfuro (esfalerita, galena, pirita y calcopirita). Se reconoce que las rocas encajantes son principalmente interestratificaciones de tobas básicas y andesíticas con tobas ácidas. En lo referente al sistema de vetas, el depósito posee características similares a los de Montecristo y Los Encuentros.

▪ Distrito minero Chapeltique-Sesori:

La única mina de oro del distrito es la mina de El Potosí que se describe a continuación:

- **El Potosí:** el yacimiento se localiza en las lavas andesíticas de la Formación Morazán, las cuales están cubiertas por depósitos piroclásticos de composición intermedia pertenecientes a la misma formación.

▪ Distrito minero de Iocoro:

En él se distinguen las siguientes minas y prospectos mineros principales:

- **Gigante:** esta mina fue productora de oro y plata.
- **Montecristo:** esta mina es rica en metales preciosos. Las rocas encajantes son esencialmente rocas volcánicas basálticas, capas gruesas de andesitas augíticas y tobas interestratificadas. El sistema de cuarzo aurífero se presenta en las andesitas.
- **El Divisadero:** rica en plata y oro, sus características estructurales y mineralógicas son similares a las de la mina de Montecristo.
- **Los Encuentros:** las formaciones productivas de esta mina son una prolongación de las ya descritas para la mina de Montecristo.
- **Tabanco:** la mina se encuentra en el extremo sur del lineamiento de Montemayor, presentando mineralización de oro y plata en depósitos de difícil acceso.

- **Loma Larga:** en esta mina no se ven afloramientos claros exceptuando un alineamiento de botaderos y trabajos superficiales cubiertos, en gran parte, por la vegetación. Sin embargo, el material de los botaderos sugiere que las vetas son estrechas y que el cuarzo y la calcita rellenan las fracturas. Afloran en el sector grandes cantidades de galena, esfalerita, pirita y calcopirita.
- **San Pedro:** los cerros de San Pedro en su flanco Sur presentan abundantes rocas volcánicas andesíticas fuertemente silicificadas y rocas argilizadas cortadas por vetas y vetillas de cuarzo que presentan ciertas cantidades de oro y plata pero de baja ley. Gran parte del área está propilitizada (clorita, epidota, pirita y cilica) y silicificada, siendo los sulfuros principales la esfalerita de cristales gruesos, la galena, la pirita y la calcopirita.
- **Barridos Viejos:** Parece presentar oro y plata.

Por otro lado en la **Región Hidrográfica I-Sirama** (departamentos de Morazán y La Unión), se adjunta la Tabla 41 que contiene información de las zonas de interés minero, así como su ubicación espacial en los Planos del Anexo III (Apéndice III.1).

Tabla 41: Inventario de zonas de interés minero identificadas en la Región Hidrográfica I-Sirama. Fuente: (MINEC, 2011).

Nº	Zona de interés minero	Superficie (Km ²)	Departamento	Región Hidrográfica	Minerales	Fuente
I	Yamabal-El Hormiguero	176,21	Morazán	H-Grande de San Miguel/ I-Sirama	Au, Ag	MINEC, 2001 I

Por último para la **Región Hidrográfica J-Goascorán** (departamentos de La Unión), se adjunta la Tabla 42 que contiene información de las zonas de interés minero, así como su ubicación espacial en los Planos del Anexo III (Apéndice III.1).

Tabla 42: Inventario de zonas de interés minero identificadas en la Región Hidrográfica J-Goascorán. Fuente: (MINEC, 2011).

Nº	Zona de interés minero	Superficie (Km ²)	Departamento	Región Hidrográfica	Minerales	Fuente
I	Santa Rosa de Lima	470	La Unión	J-Goascorán	Au, Ag	MINEC, 2001 I

Las principales minas presentes en la zona de interés de la Región Hidrográfica J-Goascorán, se resumen a continuación (MARN, MOP, VMVDU, 2004):

- Distrito minero de Santa Rosa de Lima.

Se distinguen las siguientes minas principales:

- **Montemayor:** Está compuesta por un grupo de minas pequeñas alineadas a lo largo de una serie de vetas paralelas con rumbo suroeste donde existe oro y plata. La zona mineralizada no es continua, subdividiéndose en tres sectores. La mineralización está confinada en vetas de cuarzo, algunas veces calcita, presentando cierta diseminación débil de pirita y cantidades pequeñas de calcopirita, esfalerita y galena.
- **Lola:** La mineralización es de oro y plata. Está acompañada de vetas de cuarzo donde aparecen también pirita, esfalerita, galena y calcopirita.
- **Las Piñas:** Las vetas que contienen oro y plata presentan, en general, dos pies de espesor y están compuestas de cuarzo de color claro a gris oscuro, pirita, calcopirita y esfalerita.

- **San Sebastián:** La mineralización se presenta en un sistema de vetas estrechas, irregulares, de cuarzo con sulfuros.
- **Flamenco-Pavón:** Su mineralización de oro y plata se concentra en dos fuertes vetas orientadas en dirección norte-sur con varias vetas subsidiarias. Todas ellas cortan un bloque de tobas intermedias y de ignimbritas que yacen sobre las andesitas de la Formación Morazán.

Las actividades asociadas a la extracción de minerales metálicos son causa de importantes alteraciones en los sistemas naturales y generan en muchas ocasiones impactos ambientales importantes de carácter irreversible. La minería metálica es la más compleja de todas las minerías. Se lleva a cabo tanto en interior como en exterior. En interior se construyen galerías, cámaras, rampas, etc. En el exterior se explotan grandes cortas, canteras y yacimientos de placeres (MINEC, 2011).

Uno de los principales pasivos ambientales generados por la minería metálica en El Salvador, de los que se tiene constancia, es el del drenaje ácido de la mina de San Sebastian, en el municipio de Santa Rosa de Lima, el cual aporta altos niveles de sustancias contaminantes (cianuro, hierro, aluminio, y cadmio). La actividad de esta mina se suspendió hace 30 años, y 15 años después comenzó a producirse el drenaje. Se tiene conocimiento de la existencia de personas realizando labores de minería metálica de tipo artesanal, de acuerdo a un estudio realizado por el MARN en el 2012 (MARN, 2012k), lo que podría agravar la situación. Las aguas de este río resultaron no aptas para el consumo humano, pero a pesar ello se utilizan para el lavado de ropa y, ocasionalmente, para baño.

Asimismo en las minas ubicadas en Jocoro los residuos eran depositados en cauce del río Seco, cuya agua servía para abrevar ganado, para uso doméstico, así como para la recreación local.

Por otro lado es importante mencionar la **minería no metálica** como una fuente contaminación difusa, por el aporte de sólidos que se genera en las aguas, mediante procesos de escorrentía superficial. Asimismo la extracción de arenas, gravas y rodados en los lechos de los ríos para su uso en proyectos de carreteras y de urbanización del país sin que exista una cuantificación del volumen total de material extraído, lo que genera alteraciones morfológicas en los cauces de los ríos.

El arrastre de sedimentos en los ríos varía según el caudal de agua que transporta. En la época lluviosa, el arrastre de sedimentos es grande, pero cuando pierde energía (caudales de época seca) deposita parte de sus sedimentos más gruesos en medio del cauce y da lugar a la formación de barras o “islotas” a lo largo del mismo. Estas barras son comunes en las zonas donde la pendiente es baja y ocasiona la formación de meandros. En las partes cóncavas el flujo tiene una gran cantidad de energía, lo que ocasiona la erosión de taludes y de terrenos aledaños, mientras que la parte convexa se depositan los sedimentos al perder energía (MARN, 2013).

La actividad minera no metálica del país se centra, principalmente, en la producción de cemento, seguido de la explotación de agregados para la construcción obtenidos de la explotación de macizos rocosos, depósitos vulcano-sedimentarios y aluviales (canteras y graveras), la producción de sal marina y, en menor proporción, de caolín y de arcillas, siendo también destacable la industria de la cal viva que se produce artesanalmente (MARN, MOP, VMVDU, 2004).

En la Región Hidrográfica H- Grande de San Miguel, es de destacar la fuerte actividad de extracción de arena grava y rodados, llevada a cabo las partes media y baja de la cuenca del río San Miguel, lo que propicia la generación de fenómenos de azolvamiento, por la acumulación de sólidos, principalmente en la parte baja de la cuenca.

4.12. VERIFICACIÓN DE LOS EFECTOS NEGATIVOS GENERADOS POR LAS PRINCIPALES CAUSAS DE CONTAMINACIÓN EN ZONA HIDROGRÁFICA III-JIQUILISCO-GOASCORÁN

Tal y como se ha comentado en el *Objetivo* del presente informe, de acuerdo a una solicitud del MARN de realizar una mejora a las Bases del Concurso en relación con la caracterización de las zonas prioritarias, en cuanto a redistribución de puntos, puntos adicionales y parámetros a medir, se han producido retrasos en los trabajos de toma de muestra y determinación analítica del cauce receptor y vertidos, no imputables a la Consultora.

Así pues, la verificación de los efectos generados por las principales causas de contaminación de las aguas, se realiza por el momento sólo en base a la información disponible. Una vez estén los trabajos de campo realizados se entregarán como adjunto al presente Documento de Trabajo.

4.12.1. Región Hidrográfica G-Bahía de Jiquilisco

Los ríos estudiados presentan altas coliformes fecales, siendo mayores las concentraciones en los ríos Juana y Diente de Oro, debido a la concentración de asentamientos poblacionales en el caso de Diente de Oro, y a la contaminación procedente de Usulután en el caso del río Juana (se registra un máximo en el Juana en la campaña de 2010, que asciende 1.7 millones NMP/100 ml), mientras las mayores concentraciones de fenoles, que son altas en todas las estaciones, se registran en los ríos El Molino y Roquinte, en ocasiones por encima del límite recomendado por EPA, de 3.5 mg/l. En cuanto a la contaminación orgánica, se registran altos valores de DBO_5 en Juana y Molino en su tramo alto, dentro del casco urbano de Usulután, debido a la existencia de vertidos ordinarios y especiales sin una adecuada depuración, mientras en el resto son relativamente bajas, próximas a 4 mg/l o ligeramente inferiores. Coincidiendo con las concentraciones más altas de DBO_5 se registran las mayores desoxigenaciones, llegando a la anoxia en el río Juana en el muestreo de 2011. Destaca de nuevo la desoxigenación generalizada en 2011, al igual que en el resto del país, lo que podría atribuirse a algún problema con el sensor de oxígeno disuelto; también la falta de correlación entre las elevadas concentraciones de coliformes registradas en la estación G-01-JUANA en 2011, y las bajas cargas de materia orgánica y la alta oxigenación; y la alta frecuencia en la que se presentan altas concentraciones de fenoles, lo que podría estar indicando una posible contaminación cruzada en laboratorio que haya estado fomentando algunos falsos positivos.

En cuanto a los nutrientes, los nitratos se mantienen por lo general bajos (inferiores a 6 mg $N-NO_3/l$); la excepción se observa en el río Juana, que en 2010 supera los 10 mg/l. Los fosfatos son altos o muy altos, oscilando en el rango 0.25-0.85 mg $P-PO_4/l$ (valores promedio por estación).

Con lo que respecta a los metales, no se detectan altas concentraciones de cobre, arsénico, el cromo, el mercurio y zinc, con excepción del río Juana, que tiene cierta presencia de cobre.

En materia de conductividad, pH y sales (cloruros, sodio y RAS), los valores se sitúan en todos los ríos estudiados por lo que no serían esperables afecciones sobre el riego y la vida piscícola. En 2011 en El Molino la conductividad aumenta por encima de los valores recomendados para la vida piscícola, pero siguen siendo adecuadas para el riego.

Por último, las concentraciones de TDS, turbidez y color se mantienen, por lo general, adecuados para las aguas crudas que van a ser objeto de un tratamiento convencional previo al consumo.

Por otra parte, se dispone de un estudio específico realizado en la Bahía de Jiquilisco, que se enmarca en el Área de Conservación Bahía de Jiquilisco, es también sitio RAMSAR, y que presenta una importante actividad pesquera con explotación de moluscos y barcos de pesca en algunas zonas. Se dispone de datos para el análisis de la

contaminación bacteriológica en agua y en varias especies de bivalvos. En cuanto a las aguas, han detectado bajas coliformes fecales según el criterio de la OMS, pero sin embargo son superiores al límite establecido en zonas de extracción de bivalvos comestibles por parte de la UNEP; en el este de la bahía hay concentraciones elevadas (13,000 NMP/100 ml). A la vista de los resultados de bioacumulación, se ha confirmado la existencia de este proceso en el tejido blando de los bivalvos del género *Anadra* en algunas estaciones, y en los del género *Ostera*, aunque a niveles inferiores que en estudios del 2006 ejecutados en Barra de Santiago, Estero de Jaltepeque y El Tamarindo. De este modo se está produciendo un impacto probado sobre esta actividad, y en consecuencia, podría suponer una potencial situación de riesgo sobre la salud pública en caso del consumo de bivalvos que pudieran asimilar grandes concentraciones de coliformes.

Además de los análisis de contaminación bacteriológica en aguas y biota, se dispone de análisis de metales en sedimentos y biota. En cuanto a los sedimentos, se han cuantificado niveles significativos de arsénico, mercurio y plomo, aunque por lo general por debajo del Valor de Intervención (VI, que indica que las propiedades funcionales para la vida del suelo podrían estar en peligro) establecido por EDSAT (2009), y también por debajo del ERL (valor a partir de los cuales se pueden hacer patentes efectos a corto plazo sobre la biota, según Long et al, 1998); aun así en algunas estaciones los valores son superiores al EMR del arsénico y del plomo (valor a partir de los cuales se pueden hacer patentes efectos a medio plazo sobre la biota, según Long et al, 1998), que es a su vez superior al ERL, aunque inferior al VI. También han podido confirmar presencia de arsénico en especies de bivalvos a lo largo de la bahía, y de plomo y mercurio sólo en los de algunas estaciones, con lo que presentan cierta capacidad bioacumuladora, y por tanto podrían pasar al resto de la cadena trófica, entre la que está las poblaciones aledañas.

Por último, los análisis de plaguicidas realizados en sedimentos, indican presencia de 4,4DDE por encima del Valor Objetivo en algunas estaciones; sin embargo, no se ha detectado presencia de 2,4' DDE, 2,4' DDT, 4,4' DDE, 4,4' DDD, aldrín, clordano (alfa y gamma), diazinón, dieldrín, endosulfan I y II, endrín, etión, heptaclor, heptaclor epóxido, hexaclorobenceno, lindano, malatión, metil paratión y paratión. Con ello, hay cierta presión por la actividad agrícola en la zona.

A modo de conclusión general, a la vista de las concentraciones de coliformes, DBO_5 , fosfatos y fenoles registradas en los ríos estudiados, y en el caso de la Bahía de Jiquilisco, la presencia de aceites y grasas y de *E. coli* en agua, de DDE en algunas zonas del sedimento, y la presencia probada de metales en los peces, están indicando que hay una serie de presiones que suponen un impacto palpable sobre la calidad de las aguas.

4.12.2. Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel

Los ríos Las Cañas y Las Villerías presentan en las estaciones analizadas altas concentraciones de coliformes fecales, siendo mayores en Las Villerías. Estos altos niveles se mantienen en el río Grande de San Miguel, sobre todo aguas abajo del casco urbano de San Miguel, donde se registran los máximos registrados en el río, reflejo de la afección que supone la ciudad sobre la calidad de las aguas. A pesar de ello, se observa una mejoría a lo largo del río, de modo que en la última estación del río Grande los valores promedio descienden de 1,000 NMP/100 ml. Es por tanto destacable la capacidad de autodepuración del río, probablemente favorecida por una menor concentración de fuentes contaminantes a lo largo del río, aunque se observan bastantes asentamientos poblacionales a lo largo del río hasta llegar a la Bahía de Jiquilisco, donde desemboca.

En cuanto a la contaminación orgánica, los mayores valores se observan en Las Cañas aunque sólo en 2007 (15 mg/l), y en Grande de San Miguel, aunque también puntualmente, en 2009 en el Cantón Vado Marín (14 mg/l). A pesar de ello, se ha observado una falta de correlación entre las elevadas concentraciones de



coliformes fecales y la baja DBO_5 y alta oxigenación en la estación H-02-GRAND en 2009. En cuanto a los fenoles, son en todos los casos altos, pero superiores aguas abajo de San Miguel. Aun así, se estima que quizá sean demasiado frecuentes a altas concentraciones en las aguas, por los motivos que se han expuesto en otras ocasiones.

En materia de oxigenación de las aguas, destaca la importante desoxigenación que presenta el río Grande aguas abajo del municipio de San Miguel, y en el Cantón Vado Marín, en ambos casos con un promedio de oxígeno disuelto próximo a 3 mg/l. También hay cierta desoxigenación en los ríos Cañas y Grande aguas arriba del municipio de San Miguel, aunque sólo en 2007.

En cuanto a los nutrientes, los nitratos se mantienen bajos (inferiores a 3 mg $N-NO_3/l$). Los fosfatos son altos o muy altos, oscilando en el rango 0.16-0.32 mg $P-PO_4/l$.

Con lo que respecta a los metales, se detectan altas concentraciones de cobre y mercurio en algunas estaciones, aunque no de arsénico, el cromo y zinc. En el caso del cobre, los máximos alcanzan los 0.05 mg/l en el río Las Cañas y en el Grande de San Miguel aguas abajo del municipio del mismo nombre, con lo que las concentraciones observadas tienen un origen claramente antrópico; en el caso del mercurio, es elevado en las estaciones del Grande aguas abajo del municipio, y en la siguiente estación aguas abajo, en el Cantón La Canoa.

En materia de conductividad, pH y sales (cloruros, sodio y RAS), los valores se sitúan en todos los ríos estudiados por lo que no serían esperables afecciones sobre el riego y la vida piscícola. Por último, las concentraciones de TDS serían adecuados para el consumo tras tratamiento convencional, pero no es el caso de la turbidez y el color, que tienden a ser muy altos en 2010, y en el caso del color también en 2011. En relación con este último parámetro, se ha observado cierta falta de correlación con los TDS y la conductividad, en concreto en las estaciones H-01-GRAND y H-02-GRAND en el año 2010, en las que el color es muy elevado pero no se ve correspondido por altas conductividades o TDS. Es posible que se estén sobrevalorando los valores del color aparente en esas ocasiones.

Por otra parte, se dispone de un estudio específico realizado en las lagunas de Jocotal y Olomega, que se enmarcan en el Área de Conservación Tecapa-San Miguel, y que son ambas Sitio RAMSAR, con una importante actividad pesquera en ambas. Lo más llamativo es la destacable desoxigenación que sufren ambas lagunas, siendo los promedios de oxígeno disuelto analizados de 4.8 mg/l en el caso de Jocotal, y de 5.8 mg/l en el de Olomega; y la presencia de detergentes a niveles elevados en algunas zonas de ambas lagunas, lo que está indicando la existencia de vertidos de tipo mayoritariamente domésticos directos a las lagunas. En el caso de la Laguna El Jocotal se observa la acumulación de pequeños asentamientos poblacionales; en el caso de la Laguna de Olomega, se concentran en las vertientes sur y este principalmente.

También se detectan valores de coliformes fecales altos en Jocotal, aunque son bajos en Olomega; sin embargo, es importante tener en cuenta que se dispone de un único monitoreo, por lo que podrían ser mucho mayores. De hecho se han observado también en algunos pozos poco profundos en la orilla de Olomega. En Olomega también se han observado otros microorganismos como huevos de áscaris, tenias, quistes de ameba y otras microalgas que sólo crecen en medios contaminados, por lo que es evidente la afección por parte de las poblaciones aledañas sobre la calidad de las aguas de la laguna.

En lo que respecta a la conductividad, por lo general es baja en ambas, aunque en El Jocotal, en el ámbito de Laguna Agua Caliente y en Ausoles, camino a la laguna, presenta elevadas conductividades, entre 3,000 y 6,000 $\mu S/cm$, por lo que se pone de manifiesto que hay un componente subterráneo con alta conductividad que alimenta a la laguna; de hecho las altas temperaturas que presenta la laguna está indicando que recibe aguas de un

manantial termal mineralizado. Es en estas estaciones donde tenemos los valores más altos de TDS, que por lo general se mantiene en el resto de estaciones de El Jocotal, y en Olomega, bajos, al igual que la turbidez.

Por lo general el pH también se mantiene en unos rangos adecuados para la vida piscícola; al igual que la temperatura, que se mantiene por lo general entre 25 y 30°C, con la excepción de en la Laguna Agua Caliente y en Ausoles, que son aguas termales con temperaturas que oscilan entre los 42-43°C.

Debido al exceso de fosfatos, en el pasado se han producido de invasiones de Jacinto de agua en las lagunas, un claro indicador de desequilibrio nutritivo, y por tanto de eutrofización de las aguas.

También se sospecha que hay presencia de agroquímicos en las lagunas, debido a la actividad agrícola que rodea a las lagunas, aunque no se dispone de resultados analíticos al respecto.

A la vista de las concentraciones de coliformes, DBO₅, oxígeno disuelto, fosfatos y fenoles registradas en los ríos estudiados, y en el caso de las lagunas El Jocotal y Olomega, los problemas de oxigenación, al presencia de coliformes fecales y otros microorganismos indicadores de contaminación, Jacinto de agua y de detergentes, se hace evidente la existencia de importantes presiones sobre la calidad de las aguas, de modo que la están afectando de manera significativa.

4.12.3. Región Hidrográfica I-Sirama

En lo que respecta a la contaminación microbiológica, las concentraciones de coliformes fecales son elevadas en el Sirama y el Santa Cruz y muy elevadas en Managua; lo mismo se observa en materia de la carga orgánica, ya que hay elevadas concentraciones de DBO₅ y DQO en el Managua, siendo más moderadas en los otros dos ríos, siendo de hecho la DBO₅ baja. En cuanto a la oxigenación, se destaca que hay anoxia en 2009 en Sirama; no se dispone de datos de oxigenación para Managua y Santa Cruz.

En el río Sirama se dispone de información en materia de fenoles, nutrientes, conductividad, pH, sales, sólidos y metales en agua. Los fenoles son elevados, así como las concentraciones de cobre, turbidez, color y fosfatos. El resto de parámetros no muestran problemas de calidad.

En los ríos Sirama, Santa Cruz y Managua se dispone además de información de metales y plaguicidas en sedimentos. En el caso del Sirama y del Santa Cruz se dispone de información recabada tanto en la cuenca media como en la baja, mientras en el caso del Managua sólo en la cuenca baja del río.

En el río Sirama todos los metales y plaguicidas analizados se mantienen por debajo del Valor de Intervención fijados por EDSAT (2009), con lo que se descartan importantes de contaminación, ya que los valores de intervención indican cuando las propiedades funcionales para la vida del suelo están seriamente deterioradas o en peligro. A pesar de ello hay algunos contaminantes a tener en consideración porque sí superan los Valores Objetivo, que indican los niveles en los cuales hay un sustento de calidad en el suelo, en este caso, en los sedimentos. De este modo, en la cuenca media hay ciertos niveles de níquel, cobre, aldrín, clordano, dieldrín, endosulfan I y II, endrín, heptaclor, heptaclor epóxido, lindano. En la cuenca baja los contaminantes nombrados que superan los Valores Objetivo, han aumentado su concentración en términos generales, y se añaden al listado el sumatorio de las formas 2,4' DDE, 2,4' DDT, 4,4' DDE y 4,4' DDD, que se presentan ligeramente por encima del Valor Objetivo. De este modo es evidente que hay un impacto sobre el medio por parte de las actividades agrícolas de la zona, y también aportes de algunos metales de origen antropogénico.



En el caso del río Santa Cruz, los metales arsénico, cobre, mercurio, níquel y plomo, y los plaguicidas 2,4' DDE, 2,4' DDT, 4,4' DDE, 4,4' DDD, (alfa y gamma), diazinón, etión, hexaclorobenceno, malatión, metil paratión y paratión, se mantienen por debajo del Valor Objetivo; sin embargo aldrín, clordano, dieldrín, endosulfan I y II, endrín, heptaclor, heptaclor epóxido, lindano y mercurio sí superan dicho Valor Objetivo, con lo que hay cierta presencia en el medio que hay que tener en consideración. En la cuenca baja estos contaminantes han aumentado su concentración en términos generales, y se detectan como novedad el cobre y el níquel, con lo que de nuevo se confirma un impacto de origen antropogénico por la actividad urbana, industrial y agrícola de la zona.

Por último, en la cuenca baja del Managua se detectan de nuevo concentraciones de aldrín, clordano, dieldrín, endosulfan I y II, endrín, heptaclor, heptaclor epóxido y lindano por encima del Valor Objetivo.

A la vista de las concentraciones de coliformes fecales, DBO_5 , DQO, fosfatos, fenoles, turbidez, color y cobre detectados en el río Sirama, así como de la presencia de ciertos metales y plaguicidas en los sedimentos de los ríos Sirama, Santa Cruz y Managua, se confirma que la actividad urbana, industrial y agrícola de la zona está suponiendo un impacto de la calidad de las aguas y los sedimentos.

4.12.4. Región Hidrográfica J-Goascorán

En primer lugar, a la vista de las elevadas concentraciones de coliformes fecales registradas en algunas estaciones, podría ser esperable valores más elevados de DBO_5 a lo largo de las distintas regiones hidrográficas, al menos en estos momentos de máximos de coliformes fecales, ya que son parámetros que suelen aumentar conjuntamente. Sin embargo, las concentraciones de DBO_5 en las estaciones G-01-JUANA en 2010 y H-02-GRAND en 2009 no parecen corresponderse a las elevadas concentraciones de coliformes fecales.

Resulta llamativa también la desoxigenación registrada en el año 2011 a lo largo de las distintas regiones hidrográficas, siendo dicho año considerado hidrológicamente húmedo, y observándose que a la vista de otros datos de calidad disponibles, este descenso generalizado no va acompañado por un aumento significativo de otros parámetros, como la DBO_5 , la conductividad o los sólidos. Es por ello por lo que podría pensarse en que se haya producido algún problema técnico con el sensor de oxígeno disuelto en dicha campaña de muestreos, aunque con la información que se tiene disponible no se puede corroborar. También hay un caso puntual en la Región Hidrográfica J-Goascorán, con concentraciones muy bajas de oxígeno sin explicación aparente; es el caso de la estación J-01-AGUAC en 2009.

En relación con todo lo anterior, resultan destacable los altos valores de concentración de fenoles observados a lo largo de las distintas regiones hidrográficas, y la alta frecuencia de muestras donde se registran altos valores. A este respecto, en zonas con alta contaminación de origen doméstico e industrial es posible detectarse esos niveles en el agua, pero resulta llamativa la frecuencia con la que éstos se presentan. Sería por tanto recomendable realizar una revisión del procedimiento seguido en el laboratorio para descartar posibles contaminaciones cruzadas que estén generando falsos positivos durante las determinaciones, ya que quizá éste podría ser, al menos en algunas ocasiones, los motivos por el que se cuantifiquen valores tan altos a lo largo de toda la cuenca del Lempa y tributarios.

En la Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque se ha observado cierta falta de correlación entre las concentraciones de sólidos totales disueltos y color, ya que en las estaciones F-03-JIBOA y F-04-JIBOA en el año 2010 se han observado valores extremadamente elevados de color aparente que no se ve correspondido por valores muy elevados de TDS; sería esperable que éstos últimos fueran más altos a la vista de los valores de color aparente.

En lo que respecta a la contaminación microbiológica, las concentraciones de coliformes fecales son elevadas según los estudios realizados, siendo esta contaminación más evidente en el río Goascorán en el Cantón Los Orcones (aguas arriba de la confluencia con el Pasaquina), y en el río Pasaquina, sobre todo en el sitio los Rodríguez; en materia de contaminación orgánica, las concentraciones de DBO_5 son bajas con excepción del año 2011, en las que son algo elevadas. En el río Goascorán se dispone de datos de DQO, que son altos.

En cuanto a la oxigenación, se detecta una oxigenación relativamente buena, con la excepción de en el río Agua Caliente, que presentó anoxia en 2009, y los ríos Agua Caliente, Pasaquina, y Goascorán aguas abajo del Pasaquina, en la estación hidrométrica La Ceiba, que presentaron cierta desoxigenación en 2011. También el Pasaquina presentó cierta desoxigenación en 2007, con lo que parecería relativamente habitual que el río presente cierta afección sobre el ciclo del oxígeno disuelto. Por último, hay elevadas concentraciones de fenoles.

En cuanto a los nutrientes, los nitratos se mantienen bajos (inferiores a $2 \text{ mg N-NO}_3/\text{l}$). Los fosfatos son altos o muy altos, oscilando en el rango $0.12\text{-}0.31 \text{ mg P-PO}_4/\text{l}$.

En materia de conductividad, pH y sales (cloruros, sodio y RAS), los valores se sitúan en todos los ríos estudiados en valores moderados, con la excepción de en el río Goascorán en el Cantón Molina, 5 km aguas abajo del pueblo El Sauce, en el que se superan los $1,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ en 2011; por este motivo, no serían esperables afecciones sobre el riego y la vida piscícola. Por último, las concentraciones de TDS, turbidez y el color, son elevadas a lo largo de los distintos ríos en algunas de las campañas. Así por ejemplo, los 4 ríos tienen un alto color aparente en general, mientras en el Pasaquina hay elevadas concentraciones de TDS y turbidez en el 2010, y en Goascorán se observan alta turbidez en 2009 y 2010. En relación con el color aparente, se han observado valores muy elevados que no presentan correlación con la conductividad; en concreto en las estaciones del río Pasaquina en el año 2010; es posible que se estén sobrevalorando las concentraciones del color aparente en esas ocasiones.

Por otra parte, con lo que respecta a los metales en el agua, se detectan altas concentraciones de cobre en los ríos Agua Caliente y Goascorán en la estación hidrométrica La Ceiba (0.04 mg/l en los muestreos llevados a cabo en 2010 y 2009, respectivamente), aunque también se han detectado altas concentraciones de plomo en El Sauce y en Pasaquina en el sitio Rodríguez (0.075 mg/l en 2007, único muestreo realizado); y de mercurio en el río Pasaquina (0.2 mg/l en 2007, único muestreo). Todos ellos son valores muy superiores a los límites máximos permisibles establecidos por EPA para la vida piscícola; aunque no se dispone de un tamaño muestral adecuado, sí es evidente que la presencia de todos estos metales pueden tener un origen en los aprovechamientos mineros que aunque pararon su explotación, se sospecha que se podría estar manteniendo un aprovechamiento ilegal; también podría ser que no permanezcan en activo, pero el abandono de las explotaciones esté suponiendo un impacto sobre las aguas superficiales. Aun así, parte de esta contaminación también podría ser de origen natural, dado que se trata de una zona de interés minero, aunque de nuevo se pone de manifiesto que no se dispone de suficiente información para poder determinar el origen de estos metales.

Además de esta información, se dispone además de información de metales y plaguicidas en sedimentos del río Goascorán.

En la cuenca media los metales arsénico, cobre, mercurio, níquel y plomo, y los plaguicidas 2,4' DDE, 2,4' DDT, 4,4' DDE, 4,4' DDD, (alfa y gamma), diazinón, etión, hexaclorobenceno, malatión, metil paratión y paratión, son inferiores a los correspondientes Valores Objetivos fijados por EDSAT (2009), que indican los niveles en los cuales hay un sustento de calidad en el suelo, en este caso, en los sedimentos. Sin embargo, aldrín, clordano, dieldrín, endosulfan I y II, endrín, heptaclor, heptaclor epóxido, lindano, mercurio sí superan dichos Valores Objetivo, lo que



estaría indicando que la concentración es superior a los rangos aceptables, aunque a pesar de ello se mantienen muy lejos de los Valores de Intervención. En concreto el mercurio supera el EMR (nivel que marca posibles efectos a mediano plazo sobre los seres vivos que habitan en el sedimento, establecido por Long et al., 1998) y el plomo el ERL (efectos a corto plazo).

En la cuenca baja del Goascorán, aquellos contaminantes que superaban los distintos umbrales comentados, han aumentado su concentración, en términos generales, y destacan los aumentos de concentración de cobre, que ya superan el Valor Objetivo, y el del Níquel, que superan el ERL.

A la vista de las concentraciones de coliformes fecales, DBO₅, DQO, oxígeno disuelto, fosfatos, fenoles, TDS, turbidez, color y metales detectados en los distintos ríos, así como de la presencia de ciertos metales y plaguicidas en los sedimentos del río Goascorán, se confirma que la actividad urbana, industrial y agrícola de la zona está suponiendo un impacto de la calidad de las aguas y los sedimentos.

5. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS COSTERAS

En este acápite se comenta la calidad de las aguas costeras en base a la información disponible, en función del uso recreativo con contacto humano. La información a este respecto es limitada, puesto que únicamente se dispone de la relativa a un año, por lo que no se puede conocer la variabilidad de la calidad a lo largo de un periodo dado.

Asimismo se hace una valoración, en base a estudios específicos, sobre la presencia de especies invasoras, las cuales pueden causar graves daños sobre el ecosistema, como por ejemplo las “algas rojas” como en el arrecife de coral del Complejo de Los Cóbanos.

Por otro lado, se ha tratado de delimitar la cuña salina a lo largo de la costa, pero no se dispone de suficiente información para tal fin. Tan sólo se han podido identificar aquellas masas de agua subterráneas que pueden presentar un riesgo de intrusión salina por los elevados valores de conductividad medidos en diferentes estudios, así como por las altas concentraciones de sólidos totales disueltos, ambos parámetros relacionados con la salinidad.

5.1. ESTUDIOS REALIZADOS POR EL MARN A NIVEL NACIONAL

Durante el mes de noviembre del año 2012, el MARN llevó a cabo el análisis en 27 puntos del litoral salvadoreño, repartidos entre playas (21), esteros y bocanas (6), con el fin de evaluar la calidad sanitaria del agua del mar con dos objetivos:

1. Generar información para la gestión sostenible de los recursos costero marino ante el cambio climático.
2. Evaluar su aptitud de uso para actividades recreativas.

Los puntos de muestreo se ubicaron en las siguientes playas:

Garita Palmera, Barra de Santiago, Metalío, Acajutla, Playa en la Bocana del Río Sensunapán, Los Cóbanos, Mizata, El Zonte, El Tunco, Majahual, Obispo (muelle), San Diego, La Zunganera, San Marcelino, Puntilla de Costa del Sol, Corral de Mulas, El Espino, El Cuco, Las Tunas, El Tamarindo y Playitas.

Asimismo se tomaron muestras en los siguientes esteros y bocanas:

Majahual, San Diego, Jaltepeque, Isla de Méndez, Puerto Parada y El Espino.

Los parámetros evaluados fueron fisicoquímicos (pH, conductividad, salinidad, porcentaje de saturación de oxígeno y temperatura), y bacteriológicos (Enterococos fecales).

De acuerdo a la evaluación del MARN los resultados obtenidos revelaron que en cuanto a calidad fisicoquímica todos los puntos fueron aptos para actividades recreativas con contacto humano.

En cuanto a la calidad bacteriológica, cerca del 70% de las playas evaluadas, presentaron una valoración “muy buena” para actividades recreativas con contacto humano, de acuerdo a la norma *OMS 2003 Guidelines for safe recreational water environments. Vol 1*. El 30% restante resultó con una calidad apta para este tipo de actividades (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008).

En el caso de esteros y bocanas, en dos puntos se obtuvo una mala calidad para el uso recreativo con contacto humano (Bahía de Jiquilisco en Isla Méndez y Estero de Majahual), llegándose a valores de 5,400 NMP/100ml (MARN, 2012a) de enterococos fecales en el Estero de Majahual. En los cuatro lugares restantes la calidad resultó apta para este uso.

Dicha valoración se realizó de acuerdo a los rangos establecidos por el MARN tomando en cuenta los rangos que para este tipo de valoración establece la OMS (OMS, 2013). Ver Tabla 43.

Tabla 43. Rangos para la valoración de la calidad del agua respecto a Bacterias Enterococos fecales. Fuente: (OMS, 2013), (MARN, 2012a).

Rango	Cálculo del rango según OMS	Clasificación de la calidad del agua por el MARN
<40 Bacterias Enterococos f./100 mL	Este rango está por debajo del valor NOEL, para la mayor parte de estudios epidemiológicos.	Muy Buena
41 a 200 Bacterias Enterococos f./100mL	El valor de 200/100 mL está por encima del umbral para la transmisión de enfermedades reportado en la mayor parte de estudios epidemiológicos dedicados a la definición de niveles NOEL y LOAEL para la enfermedad gastrointestinal y enfermedades respiratorias febriles agudas.	Buena
201 a 500 Bacterias Enterococos f./100 mL	Este rango representa un aumento sustancial de la probabilidad de aparición de efectos adversos para la salud de los que se dispone de datos de dosis-respuesta.	Satisfactoria
>500 Bacterias Enterococos f./100mL	Por encima de este nivel, puede haber un riesgo significativo de altos niveles de transmisión de enfermedad leve	Mala

NOAEL: Nivel de efectos adversos no observados

LOAEL: Nivel más bajo de efectos adversos observados

Por otro lado, el MARN ejecutó un estudio durante el mismo año, para determinar la calidad del agua para uso recreativo y en el que se tomaron muestras en 8 sitios de la costa los días 26 de marzo y 9 de abril. Los resultados evidenciaron una afección mayor a las aguas costeras en el segundo muestreo, justo después del periodo vacacional de Semana Santa.

Los sitios de muestreo se localizaron en las siguientes playas: desembocadura de río Sensunapán, El Tunco, El Majahual, desembocadura del río Chilama, El Obispo, San Diego, El Espino, El Cuco y Puerto El Triunfo.

Tras dicho período los resultados mostraron que únicamente el agua de mar de las playas El Tunco y San Diego mantuvieron la calidad de agua “Muy Buena”, mientras que en las localidades restantes sufrieron un deterioro de la calidad de “Muy Buena” a “Satisfactoria” tal y como ocurría en las playas El Majahual, El Obispo (Malecón), El Espino, El Cuco. Asimismo el sitio de muestreo de la Playa de El Triunfo, sólo fue evaluado en la segunda campaña presentando una calidad de agua “Satisfactoria” (MARN, 2012i).

Po otro lado la calidad de agua de la playa en la desembocadura del río Sensunapan resultó “Mala” y el agua de mar de la playa frente a la desembocadura del río Chilama varió de “Buena” a “Mala”; por lo que ninguno de los sitios cumplía con la calidad de agua para actividades recreativas con contacto humano según el indicador de bacterias Enterococos f (MARN, 2012i).

En cuanto a los esteros y bocanas, los sitios evaluados fueron los de la Bocana de San Diego y Estero El Espino. En ambos puntos de muestreo se produjo un empeoramiento de la calidad del agua tras el período vacacional, lo que dio lugar a que el agua dejara de ser apta para las actividades con contacto recreativo.

Esto revela el fuerte impacto de la presión turística que se produce en las zonas costeras, lo que lleva consigo un elevado aporte al agua de nutrientes, así como de organismos bacteriológicos, tales como coliformes fecales y enterococos fecales, entre otros, haciendo que la calidad del agua se deteriore.

5.1.1. Estudios específicos en el Complejo de Los Cobanos

El complejo de Los Cobanos constituye un Área Natural Protegida, situada en el sur del país. Pertenece a la Planicie Costera, siendo de carácter costero y de particular relevancia por contener la única formación arrecifal entre México y Costa Rica, así como bosques secos y vegetación de farallón. Incluye el Parque Marino Los Cóbános, humedales y morrales de la llanura aluvial de Sonsonate, El Zope, manglares de río Banderas, Las Bocanitas, Los Farallones, Plan de Amayo, El Balsamar e Ishuatan.

Los ecosistemas existentes en esta área son bosque subcaducifolio, bosque de galería, morrales, matorrales espinosos y carrizales pantanosos.

Esta zona, al igual que el resto del área costera posee una elevada importancia ecológica, biológica, económica y sociopolítica. Aun así está expuesta a importantes presiones de origen antropogénico que pueden causar una afección a dicho recurso.

De acuerdo al último estudio realizado por el MARN en el año 2012 (MARN, 2012a), la calidad fisicoquímica y bacteriológica (Enterococos fecales) del agua resultó “Muy Buena”, lo que la hace apta para las actividades con contacto humano.

En el año 2005 según el estudio realizado por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad de El Salvador (ICMARES-UES, 2006), se confirmó la presencia de coliformes fecales y totales en la zona costero marina de Los Cóbános, teniendo relación con las descargas sin tratamiento recibidas en los ríos a lo largo de su recorrido. En las muestras tomadas en la Playa de Los Cóbános Centro, el recuento de coliformes fecales disminuyó considerablemente respecto al resto de estaciones, debido al efecto de la salinidad y el oleaje del mar. Salinidades entre el 20% y el 30% inhiben el crecimiento y permanencia de coliformes fecales, sin embargo durante los meses de mayor precipitación (julio a octubre) se espera una disminución de la salinidad al 10% incrementándose el número y la permanencia de coliformes fecales.

En el complejo de Los Cóbános se pueden identificar, de forma general, las siguientes fuentes de contaminación:

- Descargas de los principales ríos del área con aporte de sedimentos y contaminantes: Grande de Sonsonate, El Venado, Las Marías y Las Hojas.
- Vertidos de petróleo, del lavado de cisternas de barcos petroleros y otros productos de refinería.
- Aguas de recambio de las granjas de camarón situadas en playa El Flor.
- Desechos de actividades domésticas y comerciales de la población de Los Cóbános.

Por otro lado del estudio realizado por la Fundación para la protección del arrecife de Los Cóbános en el año 2008 (FUNDARRECIFE-FIAES, 2008), en el cual se analizó la presencia del alga roja exótica *Acanthophora spicifera*, la cual es una especie alóctona, invasora de sistemas bénticos, se concluyó que la cobertura de *Acanthophora spicifera* fue relativamente baja (24%) y se dio en la playa de El Flor.

En el año anterior el mismo organismo realizó otro estudio similar (FUNDARRECIFE-FIAES, 2007), con el fin de obtener información sobre la población de la misma alga. Se establecieron 4 estaciones de monitoreo (Los Cóbano, La Privada, Decamerón, El Zope). Los resultados indicaron que en el caso de Lo Cóbano el crecimiento de esta alga se encontraba en un porcentaje cercano al 16 % del área. Las zonas de la Privada y Decamerón estaban colonizadas en un 24% y 35% respectivamente, mientras que en El Zope tuvo una nula representación.

La presencia de esta especie puede ocasionar daños en las comunidades de coral, ya que invaden su superficie, aunque según los resultados de este estudio no se encontró *A. spicifera* sobre coral vivo, pero sí en los espacios adyacentes al mismo.

La invasión de especies, fuera del proceso natural, se da por la acción indirecta o directa de la actividad humana. De manera indirecta, el comercio internacional y el desplazamiento del hombre ha movilizado numerosas especies, convirtiéndose en invasoras exóticas responsables de grandes daños económicos, ambientales y de salud para el ser humano.

5.1.2. Estudios específicos relativos al desarrollo de floraciones masivas de algas en la costa

En julio de 2013 se detectó vía satélite una floración de algas en alta mar en El Salvador, así como mortandades de tortugas marinas. De hecho, el MARN reportó la presencia de 233 ejemplares muertos, de los cuales, 201 aparecieron muertos desde finales de septiembre a la fecha y 32 más en los meses anteriores.

Ante esta situación, se realizaron unos trabajos de muestreo y análisis por parte del Laboratorio de Toxinas Marinas de la Universidad de El Salvador (LABTOX-UES), que realizó toma de muestras en tejidos de más de una docena de tortugas fallecidas (estómago, hígado e intestinos), y en el agua marina.

Posteriormente, en octubre de 2013 el MARN y el Ministerio de Salud, informaron de los resultados, confirmándose que **la causa de la mortandad se debió a la ingesta de organismos que bio-acumularon saxitoxinas**. No obstante, **los análisis realizados a ostras vivas, no presentaron evidencia de saxitoxinas acumuladas que pudieran poner en peligro la vida humana tras su consumo, descartándose potenciales afecciones sobre la salud humana, e indicándose que por tanto, el consumo de productos pesqueros marinos no estaba restringido**.

Estas conclusiones fueron respaldadas por los análisis realizados por LABTOX-UES en muestras de ostras, que arrojó valores por debajo del máximo permitido, establecido en 80 $\mu\text{g}/100\text{g}$, siendo a su vez congruente con los resultados de análisis de moluscos que fueron realizados por el laboratorio nacional de referencia del MINSAL.

En el caso de los tejidos extraídos de las tortugas marinas encontradas muertas, de las especies prieta (*Chelonia mydas agassizii*) y golfina (*Lepidochelys olivacea*), evidenciaron la presencia de saxitoxinas en su cuerpo, pero se desconocía la especie de alga marina que pudo producirlas.

Por otra parte, los resultados de los análisis de agua realizados por el MARN, indicaron que la especie de algas dominantes en la zona costera Occidental del país era *Cochlodinium polykrikoides*, seguida de la especie *Alexandrium* cf. *monilatum*, que producen color marrón en las aguas marinas y un aroma a marisco en descomposición, afectando directamente a la vida marina.

En el caso de las muestras de agua marina que se recolectaron en las playas de La Libertad y Acajutla, analizadas por LABTOX-UES, también se encontraron especies productoras de toxinas del tipo paralizante, correspondiente a los géneros *Alexandrium* (4,080 células/l), *Cochlodinium* (880 células/l), *Pyrodinium* (20 células/l) y *Gymnodinium*

(5,400 células/l). A pesar de estos niveles encontrados en las zonas costeras, no hubo evidencia de acumulación de toxinas en las muestras de moluscos preferidas por el consumidor interno.

5.1.3. Estudio en El Golfo de Fonseca

Se dispone de un análisis de metales y plaguicidas en los sedimentos del Golfo de Fonseca, en concreto en las islas Conchaguita, Meanguera, y en Ciudad La Unión y Puerto La Unión (MARN/JICA-BIOTEC, 2006).

En Ciudad La Unión y Puerto La Unión los niveles de aldrín, clordano, dieldrín, endosulfan I y II, endrín, heptaclor, heptaclor epóxido, lindano, Hg y Cu superan los correspondientes Valores Objetivo fijados por EDSAT (2009), que indican los niveles en los cuales hay un sustento de calidad en el suelo, en este caso, en los sedimentos. Es por ello por lo que los niveles están indicando cierta contaminación de los sedimentos, aunque se mantienen lejos de los Valores de Intervención, que indican cuando las propiedades funcionales para la vida del suelo están seriamente deterioradas o en peligro. Por otra parte, el sumatorio de las formas 2,4' DDE, 2,4' DDT, 4,4' DDE y 4,4' DDD, se mantienen también ligeramente por encima del valor objetivo. Por otra parte, se dispone de datos de metales en Isla Conchaguita e Isla Meanguera, siendo en todos los casos superiores a los Valores Objetivo: arsénico, cobre, mercurio, níquel y plomo, con lo que se confirma que hay presencia de metales de origen antropogénico, aunque de nuevo se mantienen lejos de los valores de intervención. Aun así, de entre ellos destaca el cobre, que supera el ERL (nivel que marca posibles efectos a corto plazo sobre los seres vivos que habitan en el sedimento, establecido por Long et al., 1998).

5.2. Delimitación de la cuña salina

Los datos disponibles son insuficientes para realizar una delimitación de la cuña salina a lo largo toda la costa. Sería necesario disponer de análisis de parámetros indicadores de salinidad (conductividad, sólidos totales disueltos y/o cloruros) del agua de pozos ubicados en las masas de agua subterránea a lo largo de la zona costera, a diferentes profundidades, a distancias variables desde la costa al interior, y en diferentes épocas del año. No obstante ello, sí se han podido determinar algunos puntos donde puede existir un riesgo de intrusión salina, por los elevados valores de conductividad medidos en diferentes estudios (ver Figura 61), así como por las altas concentraciones de sólidos totales disueltos, ambos parámetros relacionados con la salinidad.

El fenómeno de intrusión salina consiste en el avance del mar tierra adentro, lo que provoca la salinización de los acuíferos costeros. En estos acuíferos existe un equilibrio natural entre el flujo de agua dulce y el flujo de agua salada, que únicamente sufre modificaciones debido a factores intrínsecos (tipo de acuífero, tamaño y parámetros hidráulicos) y a factores extrínsecos (recarga y bombeos).

Los factores extrínsecos, como fuertes lluvias o recargas de tipo artificial (riego con agua superficial, etc.) pueden dar lugar a un incremento de agua dulce, mientras que la disminución del nivel piezométrico por debajo del nivel del mar provocado por la sobreexplotación del acuífero para uso agrícola, produce un aumento del flujo de agua salada. Asimismo es importante mencionar que el agua de los acuíferos costeros puede verse incrementada en sales, debido a la contaminación de origen antropogénico, como el aporte de desechos humanos y animales, fertilizantes, etc.

En la Figura 61 se pueden observar los rangos de conductividad eléctrica medidos en las zonas para las que se dispone de información: cuenca baja del río Paz (masa de agua subterránea ESA-01); municipio de Acajutla (ESA-02), sureste del departamento de la Libertad (ESA-07); sur del departamento de San Salvador (ESA-07); suroeste del departamento de La Paz (ESA-07); Península de San Juan del Gozo (Bahía de Jiquilisco - ESA-12); y en el municipio de Jucuarán (ESA-12). Los rangos de conductividad eléctrica comprendidos entre 0 y 2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, son propios de

agua dulce; por otro lado, entre 2,000 y 7,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondería a un agua salobre, mientras que por encima de 7,000 se puede hablar de agua salada $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figura 61: Resultados de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Fuentes: (GM-UNES, 2013), (MARN, 2013) y (ANDA, 2013).

En la cuenca baja del río Paz, en el municipio de San Francisco Menéndez (al sur del departamento de Ahuachapán), se realizó en el año 2013 un estudio sobre la detección de salinidad (GM-UNES, 2013), del cual se puede concluir la existencia de dos pozos que presentaron problemas por una posible intrusión salina (ver Figura 62).

Se efectuaron 16 sondeos eléctricos verticales (SEV o S), arreglo Schlumberger, con el fin de determinar la composición del suelo a partir de la resistividad, y se tomaron muestras en julio de 2012, para el análisis de parámetros fisicoquímicos en laboratorio en 17 pozos de diferentes comunidades.

De acuerdo a los resultados de los sondeos eléctricos *la capa salina, altamente conductiva y asociada con rocas aluviales y fluviales, aparece al nivel del mar como influencia de los manglares alrededor de la comunidad Las Salinas. A -25 m, esa misma capa eléctrica aparece cerca de El Botoncillo (al suroeste, entre las comunidades Bola del Monte y El Aguacate) y su área de cobertura se maximiza hasta -75 m. Posteriormente su extensión decrece y a partir de un valor entre -150 y -175 m desaparece. Los materiales aluviales o arenas, no necesariamente saturados*



de agua dulce, se distribuyen en todas las elevaciones mapeadas, denotando la gran influencia de dichos materiales en la zona costera bajo estudio. Parte de esos materiales aluviales se alteran en arcillas, los cuales se exponen como límites o barreras entre las arenas que contienen agua dulce y los materiales aluviales fluviales que alojan el agua salina proveniente del océano. (GM-UNES, 2013).

Por tanto, existe una capa conductora superior de material aluvial arcilloso, que separa los acuíferos superiores de agua dulce de un acuífero salino a mayor profundidad, aunque debido a la perforación del pozo La Danta se puede haber creado una conexión hidráulica entre el acuífero salino y los acuíferos superiores.

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos revelaron una concentración de sales elevada en los pozos Hacienda La Danta y Zanjón El Aguate, situados en la parte media-baja de la zona de estudio, donde los valores de sólidos totales disueltos (39,900 y 14,800 ppm), así como los de conductividad (29,800 y 80,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (GM-UNES, 2013), correspondían a un agua salina. Las causas de esta elevada salinidad se deben en el primer caso, a la intersección durante la perforación del pozo con el estrato fluvial aluvial contaminado con agua salada proveniente del océano, y en el segundo, al aumento de las mareas que provoca el ingreso de agua salada desde el estero en Garita Palmera, a través del zanjón lo que se favorece por la ausencia de una corriente de agua dulce, la cual anteriormente provenía desde el río Paz.

No obstante, el agua de otros pozos del área de estudio, mostró características distintas. Es el caso de los pozos situados en la costa donde el riesgo de intrusión salina resultó menor, estando los valores de conductividad comprendidos entre 290 y 465 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (GM-UNES, 2013). Cabe destacar los valores que se registraron en las comunidades Bola del Monte y colonia ISTA, que corresponden a un agua de tipo salobre (3,630 y 2,050 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente (GM-UNES, 2013), lo que podría estar indicando también cierta presencia de agua salada.

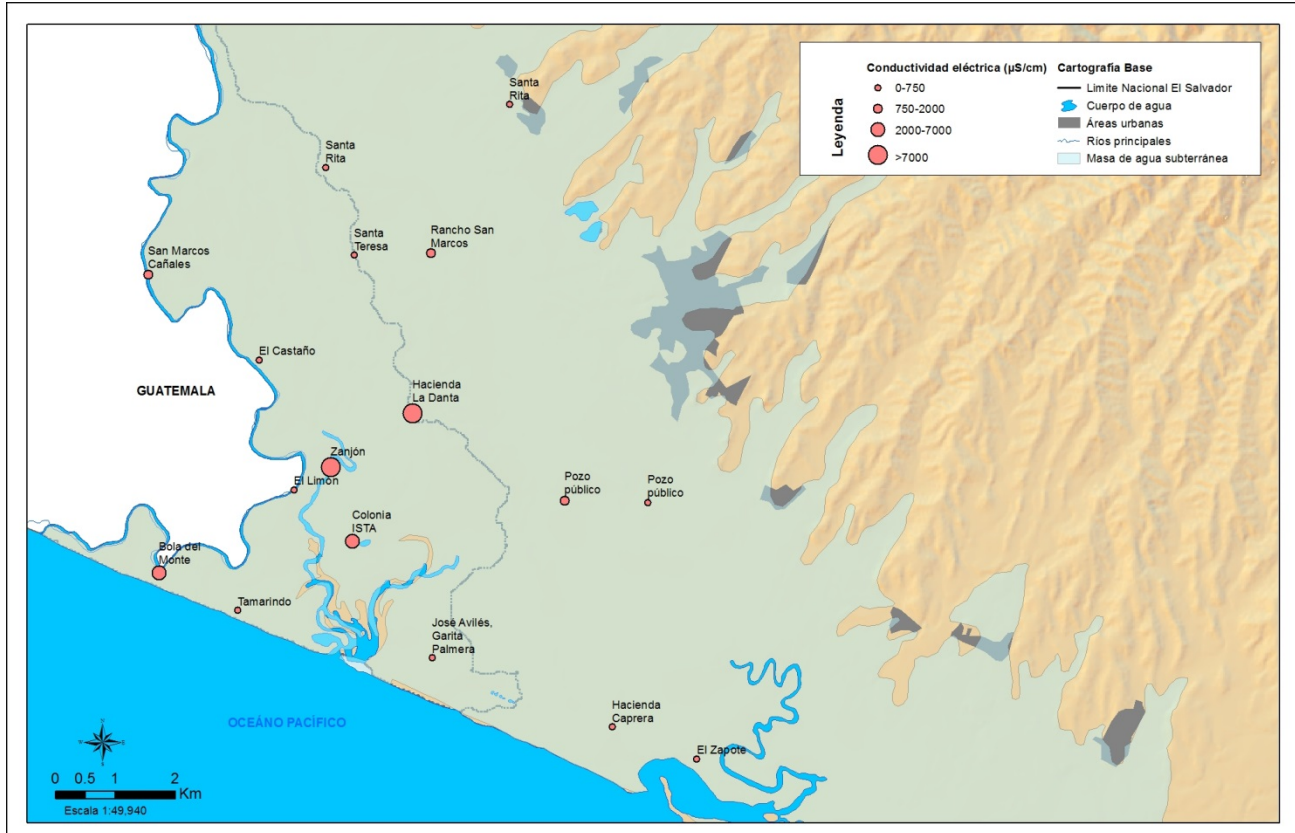


Figura 62: Resultados de conductividad eléctrica en la cuenca baja del río Paz ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Fuente: (GM-UNES, 2013).

Por otro lado, las masas de agua subterráneas comprendidas entre el departamento de Sonsonate y el Estero de Jaltepeque (ESA-02 y ESA-07), no mostraron riesgo de intrusión salina, en base a la información disponible (datos de informes de perforación de pozos de ANDA). Los valores de conductividad obtenidos variaron entre 170 y 390 $\mu\text{S}/\text{cm}$, propios de sistemas dulces de mineralización media-baja.

En las zonas cercanas a la orilla del río Lempa se observan valores bajos de conductividad (430-1,770 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – MARN-2013-) Asimismo en la bahía de Jiquilisco, las medidas de conductividad realizadas por el MARN en junio de 2012, reflejan la ausencia de agua salada, por lo que no existe un riesgo de intrusión salina.

En la zona de la península de San Juan del Gozo, las medidas tomadas en la parte central de la misma y a la orilla del mar muestran valores muy bajos de conductividad (entre 240-1,100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (MARN-2013), lo que puede deberse a la presencia de material arenoso en el área, provocando una baja mineralización y por ende aguas dulces (PRISMA, 2001b).

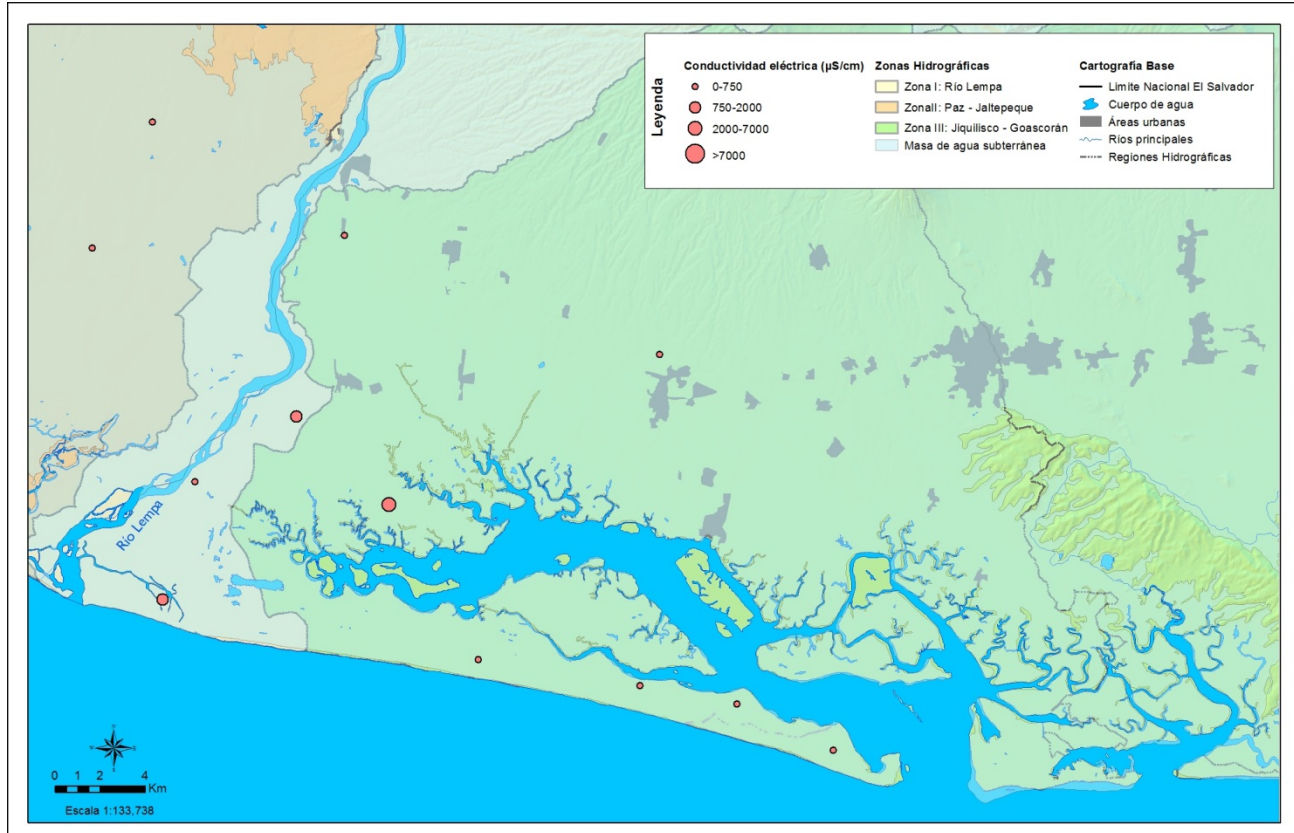


Figura 63: Resultados de conductividad eléctrica en la zona de la Bahía de Jiquilisco ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Fuente: (Datos MARN-2013)

Por otro lado en uno de los pozos, situado próximo a la bahía de Jiquilisco, el agua presentó una conductividad más elevada ($2,523 \mu\text{S}/\text{cm}$) lo que le confiere un carácter salobre. Esto puede ser debido al aporte de agua salada desde las salineras localizadas en esa zona. En esa zona se da una fuerte actividad acuícola.

Por último en el municipio de Jucuarán, de acuerdo al estudio realizado en el año 2005 por Geólogos del Mundo (GM, 2005) se obtuvieron valores de conductividad, en época seca, comprendidos entre 0 y $1,000 \mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que se trata de agua dulce, sin riesgo de producirse una intrusión salina. Únicamente en dos pozos aislados en la zona de la costa en El Espino y Arcos del Espino se registraron valores algo superiores a $1,000 \mu\text{S}/\text{cm}$, indicando una mayor presencia de sales, por lo que puede haber algún aporte de agua desde el océano, aunque los valores de conductividad son propios de agua dulce.



6. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS POR MASA DE AGUA

En el presente acápite se realiza un diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas del territorio de El Salvador, organizado por masa de agua subterránea (MASub).

Para cada masa se describe en primer lugar la red de control en explotación por parte de MARN (DGOA), indicando para cada caso las campañas realizadas en el marco de la citada red, la ubicación de los puntos de monitoreo, y los parámetros analizados. Posteriormente se muestran los resultados obtenidos en comparación con la normativa de referencia (**Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para Agua Potable**) para cada una de las masas de agua, incluyendo otros estudios específicos llevados a cabo en cada una de ellas.

Una vez presentados los principales resultados, se procede a analizar las principales causas y fuentes de contaminación identificadas en las masas de agua, que básicamente son las fuentes puntuales (vertidos ordinarios y especiales), y fuentes de contaminación difusas (botaderos, rellenos sanitarios y suelos contaminados; actividad agrícola; explotaciones ganaderas y zonas mineras).

Por último, se procede a presentar la verificación de los efectos generados por las principales causas de contaminación en cada masa de agua, que por el momento se circunscribe a la información histórica disponible, y que en el futuro próximo será complementado con la información recabada en campo, a través de una campaña de monitoreo in situ, que será adjuntado cuando se haya realizado al presente Documento de Trabajo.

6.1. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL MARN (DGOA)

El MARN cuenta con una red nacional de sitios de muestreo en las aguas subterráneas, de la que se dispone información detallada a través del informe de “Diagnóstico de la Calidad de Aguas Subterráneas, Modelo de Flujo y Evaluación de Riesgo a la Contaminación En Tres Zonas Prioritarias: A) Zapotitán-Opico, B) Subcuenca Río Apanchacal (Santa Ana) y Subcuenca Río Grande de San Miguel (Acuífero San Miguel), editado por dicha institución para los muestreos realizados a lo largo de los años 2005 a 2012 (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008). También se dispone de una serie de monitoreos de los que no se dispone de informe, pero sí de datos analíticos para el periodo 2005-2012.

En la Tabla 44 se relacionan los 121 sitios de muestreo (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008), 25 de ellos en el acuífero de Apanchacal en Santa Ana, 46 en el acuífero de Zapotitán y 50 en el de San Miguel:

Tabla 44: Sitios de muestreo pertenecientes a la Red de control de la calidad de aguas subterráneas de El Salvador, de la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, para el año 2008 (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008). FQ=Dispone de datos físico-químicos; BAC.=Dispone de datos bacteriológicos; IA=Dispone de análisis isotópico.

N°	ACUÍFERO	CÓDIGO	PROPIEDAD	TIPO	USO	FQ	BAC.	IA
1	Apanchacal (Santa Ana)	SA-01	ANDA, El Trébol 5	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
2	Apanchacal (Santa Ana)	SA-02	ANDA, San Miguelito	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	No
3	Apanchacal (Santa Ana)	SA-03	ANDA, Sapopa 2	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	No
4	Apanchacal (Santa Ana)	SA-08	ANDA, Chinameca	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	No
5	Apanchacal (Santa Ana)	SA-09	ANDA, Sanidad	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	No
6	Apanchacal (Santa Ana)	SA-10	ANDA, El Molino	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	No
7	Apanchacal (Santa Ana)	SA-11	ANDA, Colonia Unida	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	No



Nº	ACUÍFERO	CÓDIGO	PROPIEDAD	TIPO	USO	FQ	BAC.	IA
8	Apanchacal (Santa Ana)	SA-12	ANDA, Sihuacoop	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	No
9	Apanchacal (Santa Ana)	SA-13	ANDA, El Trébol I	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
10	Apanchacal (Santa Ana)	SA-14	ANDA, Sinai	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
11	Apanchacal (Santa Ana)	SA-16	Colonia Avilés	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
12	Apanchacal (Santa Ana)	SA-25	Planta de Bombeo Col. Panadez	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
13	Apanchacal (Santa Ana)	SA-17	Familia Álvarez, Finca Piedra Pacha II	Profundo	Doméstico	Si	Si	No
14	Apanchacal (Santa Ana)	SA-23	IMACASA	Profundo	Industrial	Si	Si	Si
15	Apanchacal (Santa Ana)	SA-04	Familia Álvarez	Somero	Doméstico	Si	Si	Si
16	Apanchacal (Santa Ana)	SA-05	Industria Magaña López	Somero	Doméstico	Si	Si	No
17	Apanchacal (Santa Ana)	SA-06	Colonia San José	Somero	Doméstico	Si	Si	Si
18	Apanchacal (Santa Ana)	SA-07	Danilo Magaña	Somero	Doméstico	Si	Si	Si
19	Apanchacal (Santa Ana)	SA-15	Miguel Martínez, Quinta La Felicidad	Somero	Doméstico	Si	Si	Si
20	Apanchacal (Santa Ana)	SA-18	Tomás Ramírez, Hacienda San José	Somero	Doméstico	Si	Si	No
21	Apanchacal (Santa Ana)	SA-20	José Luis Magaña, Quinta Alicia	Somero	Doméstico	Si	Si	Si
22	Apanchacal (Santa Ana)	SA-21	Taller Eléctrico Daniel	Somero	Doméstico	Si	Si	Si
23	Apanchacal (Santa Ana)	SA-24	Lotificacion Santa Elena	Somero	Doméstico	Si	Si	No
24	Apanchacal (Santa Ana)	SA-22	Beneficio Tres Puertas	Somero	Industrial	Si	Si	Si
25	Apanchacal (Santa Ana)	SA-19	Jaime Rodríguez Bou, Las Victorias	Somero	Sin uso	Si	Si	Si
26	Zapotitán	ZP-26	Urb. Nuevo Lourdes	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	No
27	Zapotitán	ZP-27	ANDA EB Tres Ceibas	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	No
28	Zapotitán	ZP-45	Familia Avilés	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
29	Zapotitán	ZP-23	RDM ENA 1	Profundo	Monitoreo	Si	Si	Si
30	Zapotitán	ZP-24	RDM MAG 2	Profundo	Monitoreo	Si	Si	No
31	Zapotitán	ZP-25	RDM Entre Ríos	Profundo	Monitoreo	Si	Si	No
32	Zapotitán	ZP-28	RDM Los Manantiales	Profundo	Monitoreo	Si	Si	No
33	Zapotitán	ZP-46	RDM Flor Amarilla	Profundo	Monitoreo	Si	Si	Si
34	Zapotitán	ZP-47	RDM ENA 2	Profundo	Monitoreo	Si	Si	Si
35	Zapotitán	ZP-48	RDM Centa	Profundo	Monitoreo	Si	Si	Si
36	Zapotitán	ZP-06	DRZ - Pozo 3	Profundo	Riego	Si	Si	No
37	Zapotitán	ZP-11	DRZ Pozo 16	Profundo	Riego	Si	Si	No
38	Zapotitán	ZP-12	DRZ Pozo 17	Profundo	Riego	Si	Si	Si
39	Zapotitán	ZP-13	DRZ Pozo 18	Profundo	Riego	Si	Si	No
40	Zapotitán	ZP-14	DRZ Pozo 15	Profundo	Riego	Si	Si	No
41	Zapotitán	ZP-15	DRZ Pozo 13	Profundo	Riego	Si	Si	No
42	Zapotitán	ZP-16	DRZ Pozo 8	Profundo	Riego	Si	Si	Si
43	Zapotitán	ZP-17	DRZ Pozo 21	Profundo	Riego	Si	Si	No
44	Zapotitán	ZP-18	DRZ Pozo 22	Profundo	Riego	Si	Si	No



N°	ACUÍFERO	CÓDIGO	PROPIEDAD	TIPO	USO	FQ	BAC.	IA
45	Zapotitán	ZP-20	DRZ Pozo X	Profundo	Riego	Si	Si	No
46	Zapotitán	ZP-01	Familia Hernández Pineda	Somero	Doméstico	Si	Si	No
47	Zapotitán	ZP-02	Familia Márquez	Somero	Doméstico	Si	Si	No
48	Zapotitán	ZP-03	Familia Pérez	Somero	Doméstico	Si	Si	No
49	Zapotitán	ZP-04	Familia Argumedo	Somero	Doméstico	Si	Si	No
50	Zapotitán	ZP-05	Familia Carpio	Somero	Doméstico	Si	Si	No
51	Zapotitán	ZP-07	Familia Sánchez	Somero	Doméstico	Si	Si	No
52	Zapotitán	ZP-08	Familia Abrego	Somero	Doméstico	Si	Si	No
53	Zapotitán	ZP-09	Familia Torres	Somero	Doméstico	Si	Si	No
54	Zapotitán	ZP-10	Familia Romero	Somero	Doméstico	Si	Si	No
55	Zapotitán	ZP-19	Familia Pimentel	Somero	Doméstico	Si	Si	No
56	Zapotitán	ZP-21	Familia González	Somero	Doméstico	Si	Si	No
57	Zapotitán	ZP-22	Familia Recinos	Somero	Doméstico	Si	Si	No
58	Zapotitán	ZP-29	Familia García	Somero	Doméstico	Si	Si	No
59	Zapotitán	ZP-30	Familia Ayala	Somero	Doméstico	Si	Si	No
60	Zapotitán	ZP-31	Familia Romero	Somero	Doméstico	Si	Si	No
61	Zapotitán	ZP-32	Familia Cubías	Somero	Doméstico	Si	Si	No
62	Zapotitán	ZP-35	Familia Fabián	Somero	Doméstico	Si	Si	No
63	Zapotitán	ZP-36	Familia Abrego	Somero	Doméstico	Si	Si	No
64	Zapotitán	ZP-37	Familia Murillo	Somero	Doméstico	Si	Si	No
65	Zapotitán	ZP-41	Fam Martínez	Somero	Doméstico	Si	Si	No
66	Zapotitán	ZP-42	Fam Barraza	Somero	Doméstico	Si	Si	No
67	Zapotitán	ZP-43	Fam Zapata	Somero	Doméstico	Si	Si	No
68	Zapotitán	ZP-49	Fam. Mina	Somero	Doméstico	Si	Si	No
69	Zapotitán	ZP-50	Caserío Areneras	Somero	Doméstico	Si	Si	Si
70	Zapotitán	ZP-33	Familia Santamaría	Somero	Sin uso	Si	Si	No
71	Zapotitán	ZP-44	Fam Gutiérrez	Somero	Sin uso	Si	Si	No
72	San Miguel	SM-01	Ciudad Pacífica	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	No
73	San Miguel	SM-02	Urbanización Prados de San Miguel	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
74	San Miguel	SM-03	Urbanización España	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	No
75	San Miguel	SM-04	Pozo Cta. San Andrés	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
76	San Miguel	SM-06	Cantón El Volcán	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
77	San Miguel	SM-07	Colonia Bella Vista	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
78	San Miguel	SM-08	Colonia La Pradera	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
79	San Miguel	SM-09	Cantón Jalacatal	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
80	San Miguel	SM-11	Comunidad Cantón El Sitio	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
81	San Miguel	SM-15	Cantón San José	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si



N°	ACUÍFERO	CÓDIGO	PROPIEDAD	TIPO	USO	FQ	BAC.	IA
82	San Miguel	SM-17	River Side Garden	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
83	San Miguel	SM-21	Portales de Barcelona	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
84	San Miguel	SM-25	Pozo para cantón El Amate y La Mascota	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
85	San Miguel	SM-26	UES Oriente	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	No
86	San Miguel	SM-28	ANDA Jalacatal	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
87	San Miguel	SM-29	ANDA EB Santa Fé	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
88	San Miguel	SM-30	ANDA, Residencial EL Sitio	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
89	San Miguel	SM-31	ANDA, El Sitio 2	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
90	San Miguel	SM-32	ANDA, EB Hirleman	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
91	San Miguel	SM-33	ANDA, EB Centro de Gobierno I	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
92	San Miguel	SM-34	ANDA, EB Centro de Gobierno II	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
93	San Miguel	SM-35	ANDA, EB Belén	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
94	San Miguel	SM-36	ANDA, EB Ciudad Real	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
95	San Miguel	SM-37	ANDA, EB El Molino	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
96	San Miguel	SM-38	ANDA, EB La Paz	Profundo	Abastecimiento	Si	Si	Si
97	San Miguel	SM-05	Pozo Adalberto Morales	Profundo	Doméstico	Si	Si	No
98	San Miguel	SM-27	Ingenio Chaparrastique	Profundo	Industrial	Si	Si	No
99	San Miguel	SM-10	Llantería Reyes	Somero	Doméstico	Si	Si	No
100	San Miguel	SM-12	Familia Guevara	Somero	Doméstico	Si	Si	No
101	San Miguel	SM-13	Esso Oriental	Somero	Doméstico	Si	Si	No
102	San Miguel	SM-14	Familia Campos	Somero	Doméstico	Si	Si	No
103	San Miguel	SM-16	Ramona Villalobos	Somero	Doméstico	Si	Si	No
104	San Miguel	SM-18	Anagila Fife	Somero	Doméstico	Si	Si	No
105	San Miguel	SM-19	Victor Sosa	Somero	Doméstico	Si	Si	No
106	San Miguel	SM-20	Francisco Mendoza	Somero	Doméstico	Si	Si	No
107	San Miguel	SM-22	Familia Mejía	Somero	Doméstico	Si	Si	No
108	San Miguel	SM-23	Llantería López	Somero	Doméstico	Si	Si	No
109	San Miguel	SM-24	Familia Quintanilla	Somero	Doméstico	Si	Si	No
110	San Miguel	SM-39	Familia Pavone	Somero	Doméstico	Si	Si	No
111	San Miguel	SM-40	Familia Gutiérrez	Somero	Doméstico	Si	Si	No
112	San Miguel	SM-41	Francisco Díaz	Somero	Doméstico	Si	Si	No
113	San Miguel	SM-42	Familia Umanzor	Somero	Doméstico	Si	Si	No
114	San Miguel	SM-43	Familia Flores	Somero	Doméstico	Si	Si	No
115	San Miguel	SM-44	Familia Reyes	Somero	Doméstico	Si	Si	No
116	San Miguel	SM-45	Familia Aguiar	Somero	Doméstico	Si	Si	No
117	San Miguel	SM-46	Familia Santos	Somero	Doméstico	Si	Si	No
118	San Miguel	SM-47	Familia Arana	Somero	Doméstico	Si	Si	No

N°	ACUÍFERO	CÓDIGO	PROPIEDAD	TIPO	USO	FQ	BAC.	IA
119	San Miguel	SM-48	Familia Mirian Flores	Somero	Doméstico	Si	Si	No
120	San Miguel	SM-49	Nacimiento La Cueva	Somero	Recreativo	Si	Si	No
121	San Miguel	SM-50	Nacimiento La Presa I	Somero	Recreativo	Si	Si	No

En la Figura 64, Figura 65 y Figura 66 se muestra la distribución de los mismos:

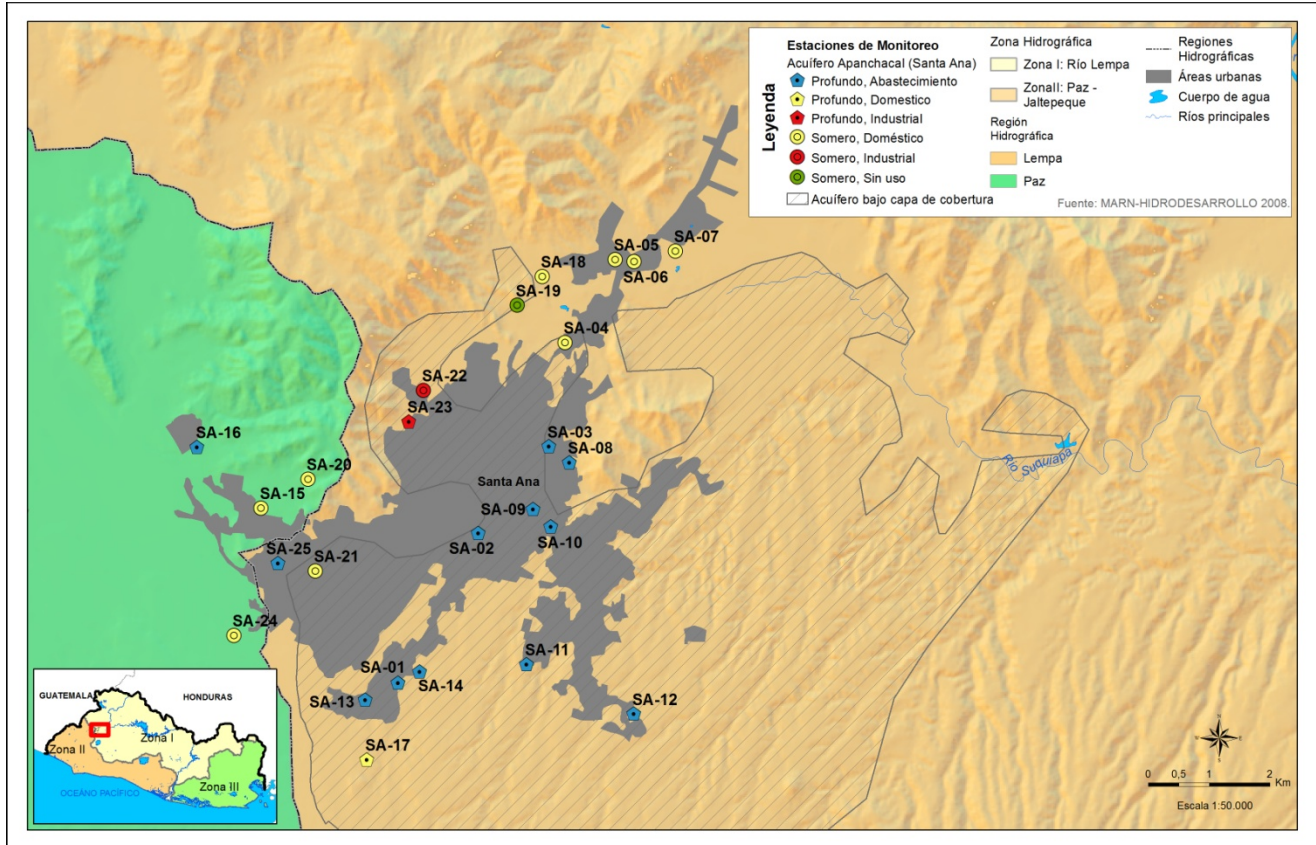


Figura 64. Sitios de muestreo en el acuífero de Apanchacal, pertenecientes a la Red de control de la calidad de aguas subterráneas de El Salvador, de la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en el ámbito del acuífero de Santa Ana, para el año 2008 (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008).

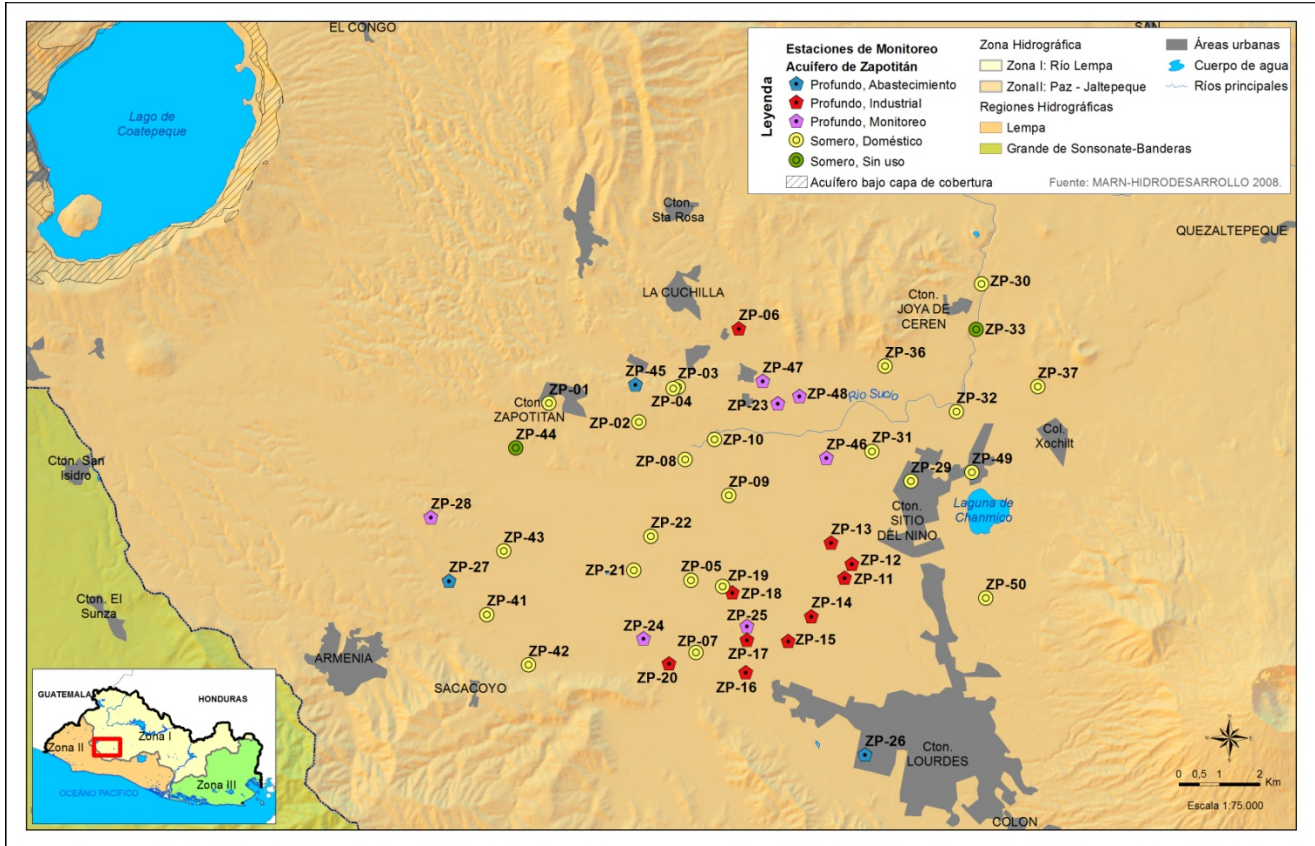


Figura 65. Sitios de muestreo en el acuífero de Zapotitán, pertenecientes a la Red de control de la calidad de aguas subterráneas de El Salvador, de la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en el ámbito del acuífero de Zapotitán, para el año 2008 (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008).

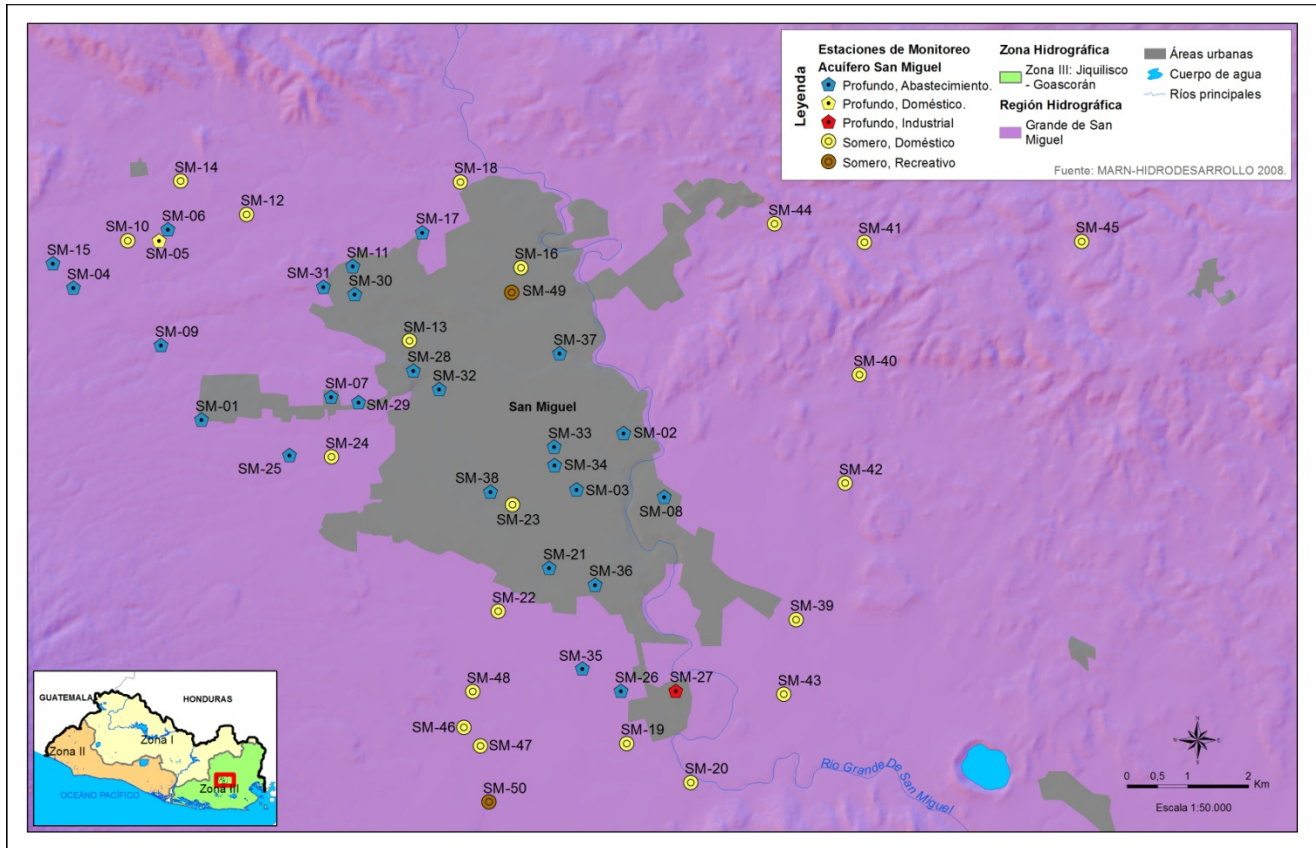


Figura 66. Sitios de muestreo en el Acuífero San Miguel, pertenecientes a la Red de control de la calidad de aguas subterráneas de El Salvador, de la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en el ámbito del acuífero de San Miguel, para el año 2008 (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008).

Los parámetros analizados y que disponen de criterio de valoración en el marco de este trabajo han sido los que se muestran en la Tabla 45, con indicación de las unidades y los citados criterios de valoración empleados en el presente documento de diagnóstico (además de los que se enumeran a continuación, se dispone de datos de alcalinidad, carbonatos y bicarbonatos, y sólidos totales):

Tabla 45: Parámetros analizados por la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales para el año 2008. Se indican los criterios de valoración empleados en el presente documento de diagnóstico, basados fundamentalmente en la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08.

PARAMETRO	UNIDAD	LMP INF.	LMP SUP.	FUENTE	TABLA NSO
Coliformes totales	NMP/100 ml		1.1	CONACYT	1. Microbiana
Conductividad eléctrica*	µS/cm	500	1600	CONACYT	2. Físicas y organolépticas
pH*	ud.	6	8.5	CONACYT	2. Físicas y organolépticas
Sólidos Totales	mg/l		1000	CONACYT	2. Físicas y organolépticas



PARAMETRO	UNIDAD	LMP INF.	LMP SUP.	FUENTE	TABLA NSO
Disueltos (TDS)	mg/l		500	PHS Drinking Water Standard, 1962, EPA-GoldBook, 1986.	-
Temperatura**	°C		No Rechazable	CONACYT	2. Físicas y organolépticas
Calcio	mg/l		75	CONACYT	3. Sustancias químicas
Cloruros	mg/l	25	250	CONACYT	3. Sustancias químicas
Cobre	mg/l		1.3	CONACYT	3. Sustancias químicas
Dureza	mg/l		50	Agua Potable EEC	-
	mg/l		500	CONACYT	3. Sustancias químicas
Hierro Total	mg/l		0.3	CONACYT	3. Sustancias químicas
Magnesio	mg/l		50	CONACYT	3. Sustancias químicas
Manganeso	mg/l		0.1	CONACYT	3. Sustancias químicas
Potasio	mg/l		10	CONACYT	3. Sustancias químicas
Sílice	mg/l	60	125	CONACYT	3. Sustancias químicas
Sodio	mg/l		200.00	CONACYT	3. Sustancias químicas
Sulfatos	mg/l		400	CONACYT	3. Sustancias químicas
Zinc	mg/l		5	CONACYT	3. Sustancias químicas
Arsénico	mg/l		0.01	CONACYT	4. Químicas inorg. alto riesgo salud
Boro	mg/l		0.3	CONACYT	4. Químicas inorg. alto riesgo salud
Cadmio	mg/l		0.003	CONACYT	4. Químicas inorg. alto riesgo salud
Cromo***	mg/l		0.05	CONACYT	4. Químicas inorg. alto riesgo salud
Mercurio	mg/l		0.001	CONACYT	4. Químicas inorg. alto riesgo salud
Níquel	mg/l		0.02	CONACYT	4. Químicas inorg. alto riesgo salud
Nitratos	mg NO ₃ /l		45	CONACYT	4. Químicas inorg. alto riesgo salud
Nitritos	mg NO ₂ /l		1.00	CONACYT	4. Químicas inorg. alto riesgo salud
Plomo	mg/l		0.01	CONACYT	4. Químicas inorg. alto riesgo salud
*Valor recomendado en vez de Límite inferior					
**Es un parámetro no rechazable, aunque se recomienda que se mantenga entre 18-30°C, según la edición de 1999 de la Norma					
***El límite se establece para el Cromo VI, por lo que se tiene en cuenta que no son el mismo parámetro					
CONACYT: Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08					

De manera adicional a estos datos, se dispone de nuevos datos recabados por MARN en el periodo 2005-2012, concretamente para las campañas de septiembre de 2005, noviembre de 2006 y marzo y octubre de 2012. En este caso sí se dispone de datos de un total de 31 estaciones, tal y como se muestra en la Tabla 46:



Tabla 46: Sitios de muestreo pertenecientes a la Red de control de la calidad de aguas subterráneas de El Salvador, de la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales para el periodo 2005-2012.

N°	ESTACIÓN	ZONA ESTUDIADA
1	SA-01	Santa Ana
2	SA-02	Santa Ana
3	SA-04	Santa Ana
4	SA-09a	Santa Ana
5	ZAP-03	Zapotitán
6	ZAP-07	Zapotitán
7	ZAP-13a	Zapotitán
8	ZAP-17	Zapotitán
9	ZAP-22	Zapotitán
10	ZAP-23a	Zapotitán
11	SMO-03	San Miguel
12	SMO-030	San Miguel
13	SMO-04	San Miguel
14	SMO-05	San Miguel
15	SMO-06	San Miguel
16	SMO-07	San Miguel
17	SMO-09	San Miguel
18	BH-01	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)
19	BH-02	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)
20	BH-03	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)
21	BH-04	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)
22	BH-05	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)
23	BH-06	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)
24	BH-07	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)
25	BH-08	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)
26	BH-09	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)
27	BH-10	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)
28	BH-11	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)
29	BH-12	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)
30	BH-13	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)
31	BH-14	Península San Juan del Gozo (B. Jiquilisco)

En estos monitoreos el número de parámetros analizados y que disponen de criterio de valoración es más reducido que en el informe de 2008, siendo los que se muestran en la Tabla 47 (además de los que se enumeran a continuación, se dispone de datos de alcalinidad):

Tabla 47: Parámetros analizados por la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales para el periodo 2005-2012. Se indican los criterios de valoración empleados en el presente documento de diagnóstico, basados fundamentalmente en la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08.

PARAMETRO	UNIDAD	LMP INF.	LMP SUP.	FUENTE	TABLA NSO
Conductividad eléctrica*	µS/cm	500	1600	CONACYT	2. Físicas y organolépticas
pH*	ud.	6	8.5	CONACYT	2. Físicas y organolépticas
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/l		1000	CONACYT	2. Físicas y organolépticas
	mg/l		500	PHS Drinking Water Standard, 1962, EPA-GoldBook, 1986.	-
Calcio	mg/l		75	CONACYT	3. Sustancias químicas
Cloruros	mg/l	25	250	CONACYT	3. Sustancias químicas
Fluoruros	mg/l		1	CONACYT	3. Sustancias químicas
Hierro disuelto*****	mg/l		0.3	CONACYT	3. Sustancias químicas
Magnesio	mg/l		50	CONACYT	3. Sustancias químicas
Manganeso	mg/l		0.1	CONACYT	3. Sustancias químicas
Potasio	mg/l		10	CONACYT	3. Sustancias químicas
Sílice	mg/l	60	125	CONACYT	3. Sustancias químicas
Sodio	mg/l		200.00	CONACYT	3. Sustancias químicas
Sulfatos	mg/l		400	CONACYT	3. Sustancias químicas
Nitratos	mg NO ₃ /l		45	CONACYT	4. Químicas inorg. alto riesgo salud
*Valor recomendado en vez de Límite inferior					
*****El límite se establece para el Hierro Total, por lo que se tiene en cuenta que no son el mismo parámetro					
CONACYT: Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08					

6.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA RED DE CONTROL Y ESTUDIOS ESPECÍFICOS POR MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA

En el presente acápite se repasa el estado de calidad de las masas de agua subterráneas en régimen alterado, es decir, los problemas de calidad detectados y generados por origen antropogénico. Esto ha sido posible a través de la información bibliográfica disponible a la que se ha tenido acceso, y en concreto a los resultados analíticos de los principales parámetros estudiados a lo largo de una serie de pozos que están, o han estado en el momento del muestreo, en explotación.

El análisis por masa de agua subterránea se ha realizado, siempre y cuando se ha dispuesto de datos, mostrando: en primer lugar las fuentes de información consultadas, y los parámetros y pozos estudiados; y a continuación, un resumen de los principales resultados obtenidos, en lo que respecta al grado de incumplimiento de las condiciones



necesarias según los límites máximos permisibles (en adelante LMP) establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria: NSO. 13.49.01:09.

Tal y como se ha comentado, el diagnóstico de la calidad de las MASub se realiza en base a la información actualmente disponible, así pues es posible que en alguna masa no sea pueda realizar un diagnóstico por falta de información, este es el caso de 10 MASub: ESA-04, ESA-05, ESA-09, ESA-10, ESA-13, ESA-14, ESA-16, ESA-17, ESA-18 y ESA-21.

Cabe mencionar también que existe información de pozos que no están asociados a ninguna masa de agua subterránea, sino que se encuentran en áreas hidrogeológicamente menos interesantes. Dado que se dispone de esta información y ha sido analizado, la relación de estos pozos y su calidad se ha incluido en un apartado diferenciado.

6.2.1. MASub ESA-01

Se dispone de información analítica en 30 pozos en el Departamento de Ahuachapán, en la Cuenca Barra de Santiago-Bosque El Imposible (Requena & Quintanilla, 1993), aunque sólo de 11 de ellos se tiene algún dato identificativo (Ver Tabla 48), y de éstos, sólo 6 han podido ser georeferenciados: se tiene constancia que 5 de ellos se abastecen de la MASub ESA-01 (Hacienda Cara Sucia (pozo N°1), Guayapa Abajo (pozo N°3), Hacienda La Danta (pozo N°4), Hacienda El Camalote (pozo N°9), y El Porvenir (pozo N°10), mientras un sexto pozo queda fuera de la masa subterránea (San José El Naranjo, pozo N°6).

Tabla 48: Estaciones en aguas subterráneas monitorizadas en el Departamento de Ahuachapán de las que se dispone de algún dato de ubicación (Requena & Quintanilla, 1993).

Pozo	Código	Observaciones
Hacienda Cara Sucia	1	El pozo provee agua a la Hacienda Cara Sucia, ubicada sobre la carretera que va de Cara Sucia a Garita de Palmera.
Zanjón La Danta	2	Pozo casero en las cercanías de la canaleta de descarga geotérmica y el Zanjón La Danta.
Guayapa Abajo	3	Este pozo está ubicado en el Caserío de Guayapa Abajo a la orilla de un paredón, sobre la carretera.
Hacienda La Danta	4	Suple de agua para el ganado a la Hacienda La Danta ubicada cerca del Zanjón La Danta y la canaleta de descarga geotérmica de Ahuachapán.
Cara Sucia	5	Provee de agua a una familia en la población de Cara Sucia en el camino a Tacuba.
San José El Naranjo	6	Pozo casero que provee de agua a una familia en la población de San José El Naranjo en el límite sur del poblado.
Hacienda Santa Rita	7	Provee de agua a la Hacienda Santa Rita cerca de la población del mismo nombre en la Carretera del Litoral, al norte de la entrada a San Francisco Menéndez.
El Achiotal	8	Provee de agua al establo de crianza de ganado San Antonio, en la vecindad de El Achiotal sobre el camino de Santa Rita a El Morral en el cantón de La Hachadura.
Hacienda El Camalote	9	Provee de agua a la Hacienda El Camalote sobre la Carretera del Litoral, al sur de Cara Sucia.
El Porvenir	10	Pozo casero que provee de agua a una familia en el caserío de El Porvenir en las cercanías de la descarga geotérmica de Ahuachapán al mar.
Embarcadero de Guayapa	11	Pozo casero que provee de agua a una familia en el caserío del Embarcadero de Guayapa para llegar a la Barra de Santiago de Guayapa para llegar a la Barra de Santiago.

De los restantes 24 se desconoce su ubicación, ya que en el informe no se facilitan las coordenadas. Aunque se trata de datos antiguos, del año 1993, y por tanto las condiciones pueden haber variado sustancialmente desde entonces, se indica que los parámetros estudiados, conductividad, pH y nitratos, se encuentran en general en todos los pozos dentro del rango adecuado para su uso como agua potable, incluyendo los 4 pozos que se abastecen de la MASub ESA-01. Sin embargo, se han identificado problemas de calidad en los pozos N° 17, 21 y 22 por elevada conductividad, sobre todo en el N°17, que presenta riesgo de intrusión salina (17,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$); y en los pozos N° 21, 29 y 30, por exceso de nitratos (respectivamente 85.4, 104 y 54.4 mg NO_3/l). Lamentablemente, se desconoce la ubicación de estos pozos, por lo que no se sabe si son indicadores o no de la calidad de la masa objeto de estudio.

En la Figura 67 se muestra la ubicación de las estaciones anteriormente comentadas, y de otras disponibles a través de una serie de estudios que se exponen en los siguientes párrafos:

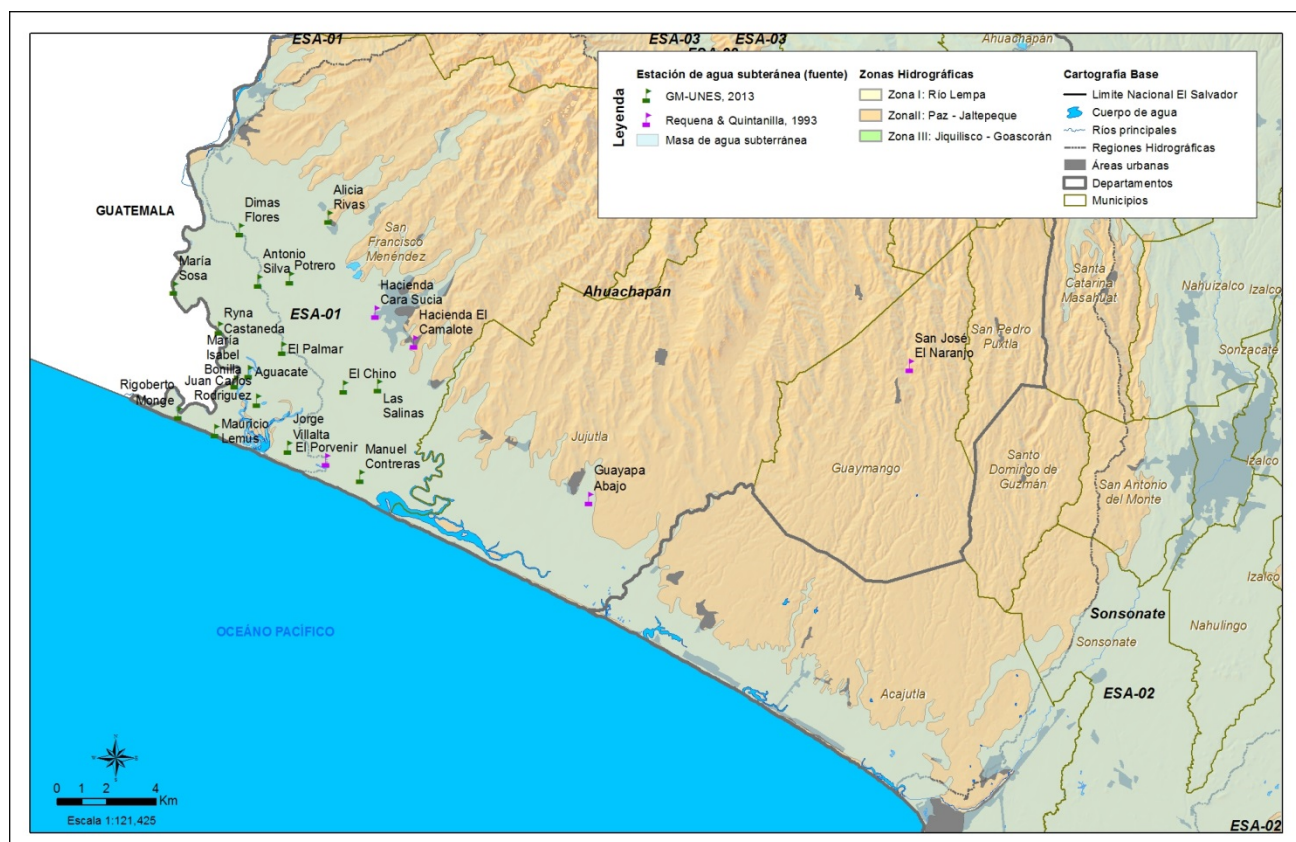


Figura 67. Pozos monitoreados ubicados sobre la MASub ESA-01. En la leyenda se indica la fuente de la que se ha obtenido la información de calidad de aguas para cada uno de ellos.

Estudios adicionales en los municipios de San Francisco Menéndez y Jujutla realizados entre los años de 1999 a 2004 (BASIM-UICN, 2005), facilitan datos en materia de contaminación microbiana y de las principales características físicas y organolépticas de algunos de los pozos de los caseríos y colonias de estos municipios: pozos perforados en el municipio de San Francisco Menéndez como los del Caserío Puente Arce en el Cantón Jocotillo, y el pozo Acaguapa en el Cantón Cara Sucia; pozos profundos como el de El Quebracho en el Cantón San Antonio,



municipio de Jujutla; pozos artesanales como el del Caserío Güisnay, la Colonia ISTA y el Cantón Garita Palmera, en San Francisco Menéndez; y también pozos de los que se carece de información sobre la profundidad de la toma, como los del municipio de Acajutla (La Balastrella, La Arena II, El Cortijo y El Chino). De los pozos estudiados, sólo el del Caserío Cocalito en el Cantón de San Antonio queda fuera de la MASub ESA-01, tal y como se muestra en la Tabla 49 y Figura 68:

Tabla 49: Estaciones en aguas subterráneas monitorizadas en el Departamento de Ahuachapán (BASIM-UICN, 2005).

Pozo	Cantón	Municipio	Fecha
Caserío Puente Arce	Jocotillo	San Francisco Menéndez	oct-99
Acaguapa	Cara Sucia		may-00
Caserío Güisnay			jul-04
	Cantón Garita Palmera		ago-04
Col. ISTA			ago-04
Caserío Cocalito	San Antonio		sep-04
El Quebracho	San Antonio	Jujutla	1999
			dic-03
			ene-04
			feb-04
			mar-04
			abr-04
			jul-04
La Balastrella		Acajutla	ago-04
La Arenera II			ago-04
El Cortijo			ago-04
El Chino			ago-04

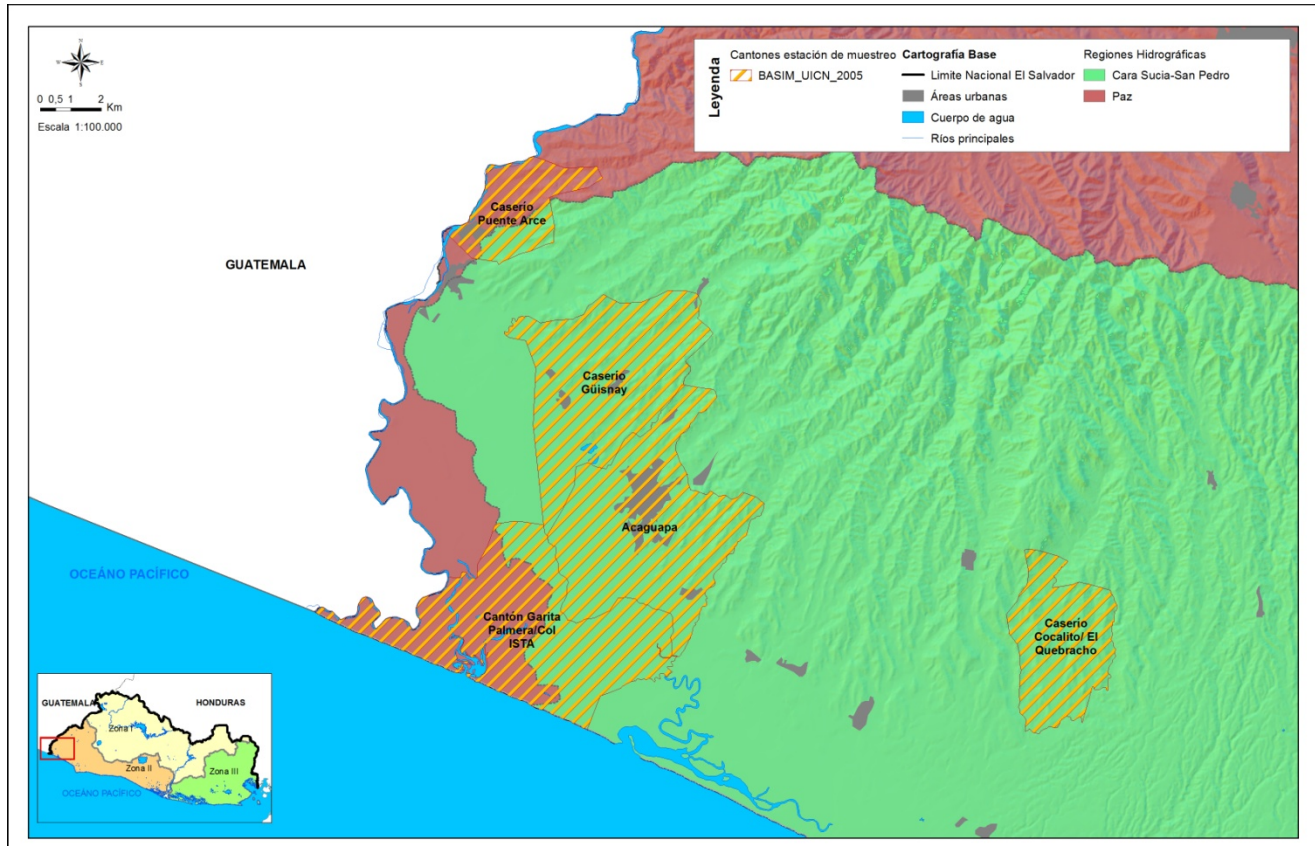


Figura 68. Cantones con estación de monitoreo en aguas subterráneas en el Departamento de Ahuachapán (BASIM-UICN, 2005).

En lo que respecta a la contaminación microbiana, se dispone de datos para todos los pozos excepto El Quebracho, dándose en todos los casos una contaminación positiva, que parece haber empeorado desde 1999 hasta el 2004. En los pozos de San Francisco Menéndez las concentraciones de coliformes totales oscilan entre 9,000 NMP/100 ml en Caserío Cocalito (que queda fuera de la masa) y 33 en el Cantón Garita Palmera, mientras los coliformes fecales rondan los 800-900 NMP/100 ml en todos los casos; además hay presencia generalizada de *Escherichia coli*, con lo que hay una evidente contaminación de origen doméstico y probablemente por ganado desde las mismas poblaciones. En Acajutla las concentraciones de coliformes rondan los 2,000 NMP/100 ml, por lo que también hay contaminación positiva. Es por estos motivos por los que en el informe se indica los siguientes comentarios, extraídos de varias partes del mismo:

- “Las aguas del sur del Departamento de Ahuachapán se encuentran altamente contaminadas bacteriológicamente, por lo que su uso está restringido a actividades que sean poco exigentes en materia de calidad de agua
- Las aguas superficiales al igual que las aguas subterráneas en la zona de estudio presentan fuerte contaminación debido a la actividad humana, principalmente a la contaminación proveniente de las heces fecales de humanos y animales de sangre caliente.

- *La contaminación del agua subterránea debida principalmente a bacterias coliformes, puede significar que los estratos por lo que atraviesa no son capaces de remover la contaminación o que están siendo contaminadas por infiltración de aguas negras.*
- *La contaminación de los diferentes cuerpos de agua puede ser prevenida y mejorar así su calidad desde el origen, realizando con actividades encaminadas a evitar que estos contaminantes ingresen al agua.*
- *Dado que un resultado positivo en los análisis bacteriológicos demuestran una contaminación reciente se debe realizar una inspección y tomar las medidas correctivas correspondientes.*
- *Si se quiere utilizar esta agua para consumo humano debe ser sometida a un proceso desinfección y realizar medidas correctivas para impedir la contaminación del pozo.”*

En cuanto a las condiciones físicas y organolépticas analizadas, se han observado incumplimientos de la norma de aguas potables en materia de turbidez en los pozos de Caserío Puente Arce y Acaguapa en San Francisco Menéndez. También hay cierto exceso de calcio en el pozo de la Colonia ISTA, el cual también presenta un importante exceso de cloruros (715 mg/l), de magnesio (163 mg/l), y una elevada dureza (802 mg/l). Otro pozo con ciertas concentraciones de magnesio es el ubicado en el Cantón Garita Palmera, también en San Francisco Menéndez (99 mg/l). El aumento conjunto en calcio, magnesio y cloruro parece un claro indicio de influencia de aguas marinas.

En lo que respecta al hierro y al manganeso, hay elevadas concentraciones en los pozos de Caserío Puente Arce (donde se registran los máximos, de 5.5 mg Fe/l y 0.55 mg Mn/l) y Acaguapa en San Francisco Menéndez, y en El Quebracho en varias campañas. Hierro y manganeso tienen comportamientos hidroquímicos parecidos, su aumento en las aguas subterráneas puede estar relacionado con un proceso de acidificación de las mismas.

Aunque no se dispone de información para todos los pozos, para aquellos para los que sí se dispone no se observan incumplimientos en materia de nitratos, ácido sulfhídrico, fluoruros, sulfatos, aluminio, cobre, plomo, cianuros y zinc.

Por último, se dispone de información adicional del año 2007 en 17 pozos del municipio de San Francisco Menéndez, todos ellos abastecidos a partir de la MASub ESA-01 (GM-UNES, 2013), algunos de ellos coincidentes con algunas de las estaciones anteriormente comentadas (Colonia ISTA, Hacienda La Danta). A continuación se muestra la Tabla 50 donde se enumeran las estaciones comentadas:

Tabla 50: Comunidades y estaciones muestreadas en aguas subterráneas monitorizadas en julio de 2007 en el municipio de San Francisco Menéndez, Departamento de Ahuachapán, por parte de Geólogos del Mundo (GM, 2013).

N°	Comunidad	Punto muestreo
1	Tamarindo	Mauricio Lemus
2	Bola del Monte	Rigoberto Monge
3	El Limón	Maria Isabel Bonilla
4	Colonia ISTA	Juan Carlos Rodríguez
5	José Avilés, Garita Palmera	Jorge Villalta
6	El Zapote	Alicia de Flore
7	Hacienda Caprera	Agua.Manuel Contrera
8	Hacienda La Danta	El Palmar
9	El Castaño	Ryna Castaneda
10	San Marcos Cañales	Maria Sosa
11	Santa Teresa	Antonio Silva
12	Rancho San Marcos	Dimas Flores

N°	Comunidad	Punto muestreo
13	Santa Rita	Potrero
14	Pozo público	El Chino
15	Zanjón	Aguacate
16	Pozo público	Las Salinas
17	Santa Rita	Alicia Rivas

En cuanto a las condiciones físicas de los pozos estudiados, 4 son los que incumplen las condiciones necesarias para su uso como agua potable según la Norma Salvadoreña Obligatoria: NSO. 13.49.01:09. Se trata de los pozos El Palmar de la Hacienda La Danta y en el Zanjón El Aguacate, ambos con una concentración de TDS y una conductividad extremadamente elevadas: en El Palmar se registran 39,300 mg/l de TDS y 80,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras en Aguacate ascienden respectivamente a 14,800 mg/l y 29,800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores muestran un alto riesgo de intrusión salina. De hecho también presentan altos valores de dureza, calcio, cloruros, magnesio, potasio, sodio y sulfatos, por lo que las aguas no presentan características propias de aguas dulces, si no entre salobres y salinas. Es por ello que en el informe se recomienda *“evitar la explotación del acuífero profundo (a profundidades mayores a los -15 m) en la zona delimitada por el Canal Seco, sur de Hacienda La Danta y Comunidades Las Salinas y El Chino ya que la probabilidad de encontrar la masa de agua salada es mayor en esta zona.”*

Bola del Monte podría estar presentando unas condiciones entre dulces y salobres, de modo que aunque más moderadas, siguen siendo concentraciones elevadas para su uso potable, lo que podría estar indicando también cierta presencia de agua salada. También se observan valores elevados en el pozo de Juan Carlos Rodríguez en la Colonia ISTA, aunque muy inferiores a los anteriores, siendo respectivamente de 1,010 mg/l y 2,050 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elevados TDS y conductividad se observa adicionalmente en el pozo de Rigoberto Monge, en Bola del Monte, ascendiendo a 1,840 mg/l y 3,630 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente.

Otros pozos que no parecen en riesgo de intrusión salina, sí presentan altas concentraciones de potasio, que se mantienen entre 10 y 20 mg/l; es el caso de los pozos de Maria Isabel Bonilla en El Limón, Juan Carlos Rodríguez en Colonia ISTA (que también tienen elevadas concentraciones de sodio, en torno a 360 mg/l), Ryna Castaneda en El Castaño, Maria Sosa en San Marcos Cañales y Potrero en Santa Rita (estos valores de potasio y sodio, aunque más elevados de lo normal, tampoco son tan extraños en aguas naturales). Según se indica en el informe, en el caso del pozo de Juan Carlos Rodríguez, en colonia ISTA y el pozo Las Salinas, es notable un aumento en la concentración de sodio, lo que puede deberse a una mezcla de agua dulce con agua de mar.

También se observa exceso de hierro en El Palmar (37.7 mg/l) y en Las Salinas (1.2 mg/l).

Por último, ninguno de los pozos presenta exceso de nitratos. Aun así, sí hay cierta presencia de este compuesto debido probablemente a las aguas residuales en zonas de mayor densidad poblacional, por lo que según se indica en el informe, *“será necesario establecer medidas de control de estas aguas en esas zonas para evitar el aumento a futuro de las concentraciones de nitratos que puedan provocar riesgos para la salud.”*

6.2.2. MASub ESA-02

Se ha tenido acceso a una serie de informes de perforación de pozos de ANDA que datan de diversas fechas, y que en el caso particular de la MASub ESA-02 presenta información sobre 9 pozos perforados en el Departamento de Sonsonate, de los cuales 8 están georeferenciados - Ver Figura 69 - y ubicados en los municipios de Izalco (2 pozos), Sonsonate (2 pozos), San Antonio del Monte (1 pozo) y Acajutla (3 pozos); el pozo del que no se dispone

de información de ubicación espacial se estima que debe estar localizado en el puerto de Sonsonate. De éstos se dispone de información en referencia a los parámetros que se enumeran a continuación: metales (hierro, manganeso y plomo; también de aluminio, níquel y plomo, pero en estos tres casos sólo en un pozo), sales (calcio, cloruros, fluoruros, sulfatos y magnesio) y dureza, olor y color verdadero, conductividad, nitratos y nitritos, sílice, TDS y turbidez, y contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales, bacterias heterótrofas, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, organismos patógenos y recuento total de bacterias; estos parámetros no son analizados en todos los pozos).

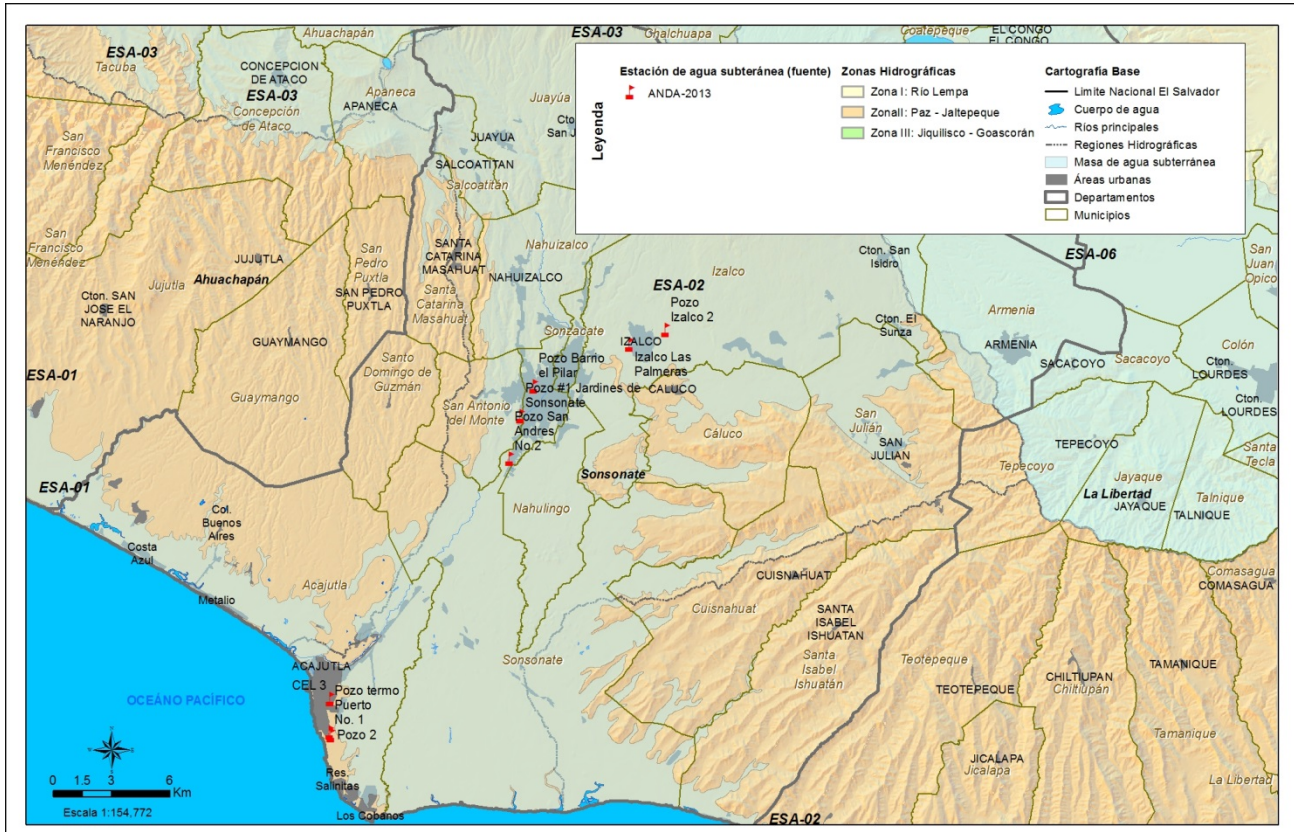


Figura 69. Pozos monitoreados por ANDA y ubicados sobre la MASub ESA-02.

En el municipio de Izalco los pozos estudiados presentan cierto exceso de calcio, dureza, hierro, magnesio y manganeso, aunque las desviaciones con respecto a los LMP no son muy elevados; los máximos registrados para estos parámetros ascienden, respectivamente, a 112 mg/l, 586 mg/l, 0.49 mg Fe/l, 77.8 mg Mg/l, 0.14 mg Mn/l (aunque tampoco parecen valores excepcionalmente altos en aguas naturales). Además, en el caso del pozo que dispone de medición de la contaminación microbiana (pozo Las Palmeras), hay presencia de coliformes totales (superiores a > 23 NMP/100 ml según se indica en el informe) y abundancia de bacterias heterótrofas (> 59,000 UFC/ml), por lo que superan los LMP establecidos para aguas potables.

En el municipio de Sonsonate los únicos problemas de calidad detectados se deben a la contaminación bacteriana detectada en el pozo del Barrio del Pilar (único con datos), detectada a través de las concentraciones de coliformes totales (superiores a 23 NMP/100 ml según se indica en el informe) y a la abundancia de bacterias heterótrofas

(950 UFC/ml). Algo parecido sucede en el municipio de San Antonio del Monte, con valores superiores a 8 NMP/100 ml en el caso de las coliformes totales, y de 360 UFC/ml en el caso de las bacterias heterotróficas.

En el municipio de Acajutla no se dispone de información en referencia a la contaminación microbiana, por lo que se desconoce el estado de los mismos en esta materia; sin embargo, sí se tiene constancia de un valor algo elevado para las aguas potables en materia del manganeso en el pozo termo Puerto N° 1, en el que se registran 0.15 mg Mn/l.

6.2.3. MASub ESA-03

Se dispone de información de calidad de las MASub ESA-03 en el Departamento de Santa Ana, a través de datos de calidad de aguas de 25 pozos ubicados en el Municipio de Santa Ana, recabados por el MARN en su red de monitoreo de las aguas subterráneas, entre los años 2005 y 2012 (Ver Figura 70). En concreto, para los muestreos llevados a cabo en las campañas de septiembre 2005, julio de 2006, y marzo y octubre de 2012, se recabó información en materia de sales (calcio, magnesio, cloruros, fluoruros, sodio y sulfatos), sólidos (TDS), nitratos, sílice, pH y conductividad, y algunos metales hierro y manganeso. Además, se dispone de datos para 4 pozos tomados en marzo de 2008, en el que además de los parámetros anteriores, se han analizado los siguientes: coliformes totales, dureza, nitritos, y los metales: arsénico, boro, cadmio, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc.

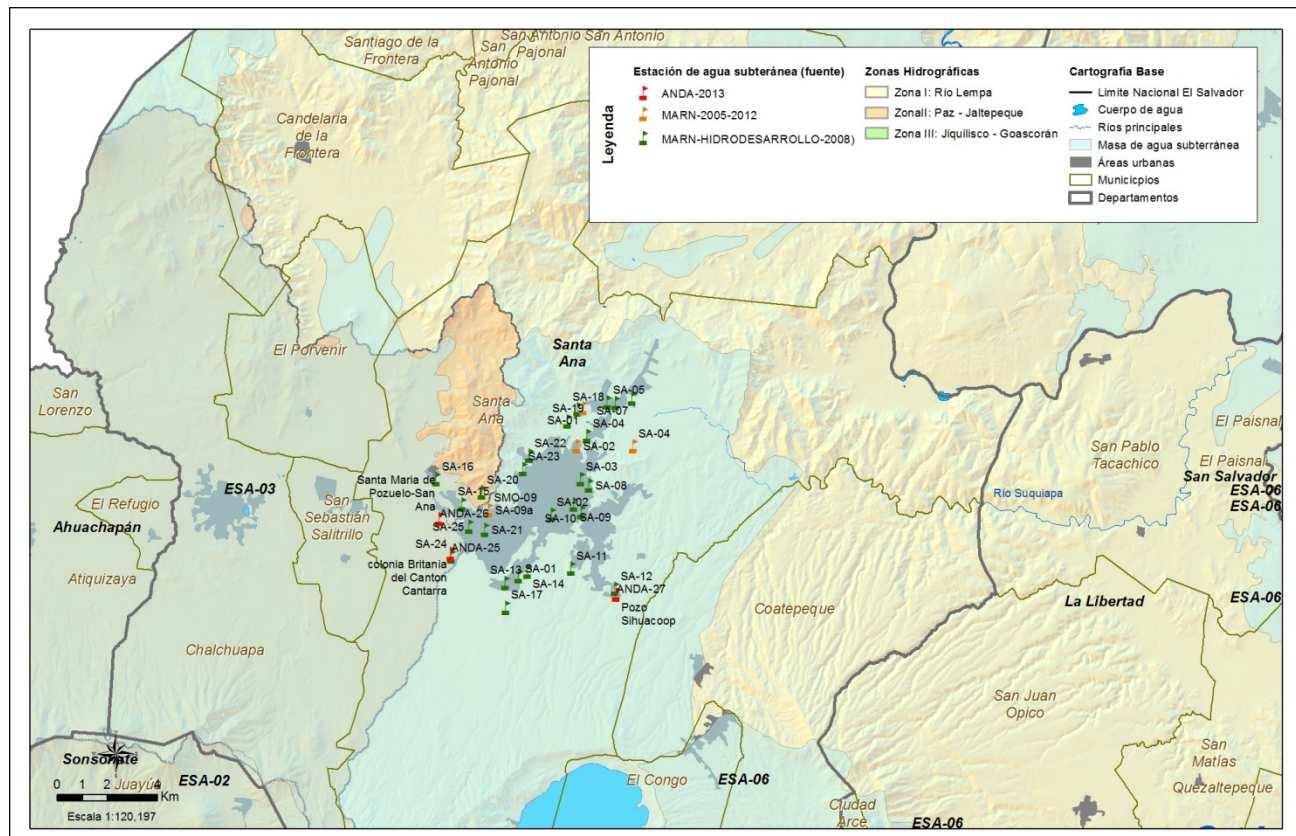


Figura 70. Pozos monitoreados ubicados sobre la MASub ESA-03. En la leyenda se indica la fuente de la que se ha obtenido la información de calidad de aguas para cada uno de ellos.

A la vista de toda la información disponible, destaca la presencia de coliformes totales en 10 de los pozos, siendo particularmente elevados en 3 de ellos (SA-17, 18 y 19, entre 1,100 y 2,800 NMP/100 ml). A pesar de estos datos, la mayor parte de los pozos no presenta mayores problemas de calidad, por lo que con una desinfección las aguas serían aptas para el consumo. No obstante se detectan algunos incumplimientos adicionales de los límites máximos y mínimos permisibles establecidos por la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08 para el agua potable. Se trata de las concentraciones de sales como el calcio y el potasio, que son algo elevados en los pozos, pero que son especialmente llamativos en casos como el del pozo SA-04 (Pozo particular), que tiene elevadas concentraciones de potasio (se ha registrado un máximo de 70 mg/l en 2008), y el de los pozos SA-01 (ANDA, El Trébol 5) y SA-09 (ANDA, Sanidad), que superan los LMP para calcio y magnesio, aunque de un modo más moderado (podría tratarse de problemas relacionados con el uso de fertilizantes y de reacciones químicas en el suelo como consecuencia de dicho uso de forma inadecuada). Estos tres pozos también han presentado altos niveles de nitratos (60-80 mg NO₃/l en alguna campaña en todos ellos). Otros pozos presentan niveles de mercurio algo superiores al LMP, como es el caso de los pozos SA-12 (ANDA, Sihuacoop, con 0.002 mg/l) y SA-13 (ANDA, El Trébol 1, con 0.0017 mg/l). También hay un caso particular con alto manganeso (4.83 mg/l en SA-07, pozo particular). Con cierta frecuencia también hay ciertos niveles de boro por encima del LMP, que oscilan entre 1.8 mg/l de SA-11 (ANDA, Colonia Unida) y 0.3 mg/l.

Adicionalmente, se ha tenido acceso a una serie de informes de perforación de pozos de ANDA que datan de diversas fechas, y que en el caso particular de la MASub ESA-03 presenta información sobre 5 pozos perforados en el Departamento de Santa Ana, de los cuales 3 están georeferenciados y ubicados en el municipio de Santa Ana (Ver Figura 70); de los otros dos pozos no se dispone de información de ubicación espacial, aunque uno de ellos pertenece a la Colonia Unida. De éstos se dispone de información en referencia a los parámetros que se enumeran a continuación: metales (arsénico, hierro y manganeso; también de boro y plomo, pero en estos tres casos sólo en un pozo), sales (calcio, cloruros, fluoruros, sulfatos y magnesio; puntualmente también potasio y sodio) y dureza, olor y color verdadero, conductividad, nitratos y nitritos, sílice, TDS y turbidez, y contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales, bacterias heterótrofas, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, organismos patógenos y recuento total de bacterias; estos parámetros se han analizado sólo en 2 de los 5 pozos).

A la vista de los datos disponibles, se detectan incumplimientos puntuales de los LMP establecidos para aguas potables para los parámetros hierro (0.6 mg/l en Colonia Unida) y manganeso (0.34 mg/l en Colonia Britania), como ya se ha comentado, elementos que van muy unidos y que podrían relacionarse con una cierta reducción en el valor de pH del medio. Se dispone de datos de contaminación microbiana en los pozos de la Colonia Britania y de Santa María de Pozuelo, resultando contaminación positiva en el primer caso: se detecta presencia de coliformes totales (6.9 NMP/100 ml) y de bacterias heterótrofas en concentraciones elevadas (> 59,000 UFC/ml).

6.2.4. MASub ESA-06

Se dispone de diversas fuentes de información para la MASub ESA-06 en los Departamentos de La Libertad, Sonsonate, San Salvador, Cuscatlán, Chalatenango y Cabañas. En la Figura 71 se presenta la ubicación de las estaciones disponibles:

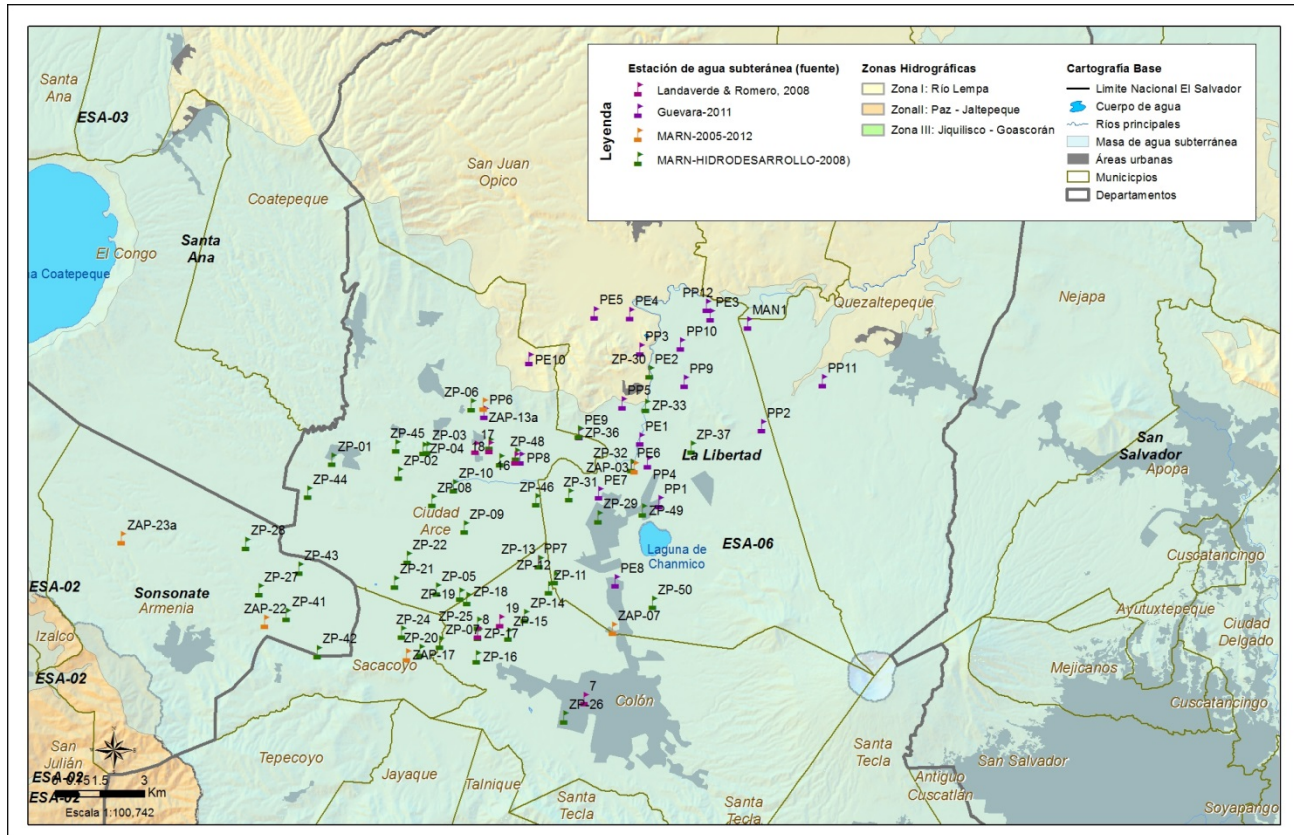


Figura 71. Pozos monitoreados ubicados sobre la MASub ESA-06, en los Departamentos de La Libertad y Sonsonate. En la leyenda se indica la fuente de la que se ha obtenido la información de calidad de aguas para cada uno de ellos.

En lo que respecta al Departamento La Libertad, se dispone de información de varios pozos ubicados en los municipios de San Juan Opico (10 pozos), Ciudad Arce (18 pozos), Colón (9 pozos) y Socacoyo (2 pozos), a través de los trabajos realizados por el MARN en su red de monitoreo de las aguas subterráneas (2005 y 2012); los parámetros estudiados son los mismos que los indicados en el municipio de Santa Ana. Se dispone además de información adicional en estos municipios (salvo en Socacoyo del que no se dispone de información adicional), y como novedad en Quezaltepeque (MARN-JICA-BIOTEC, 2006), para los parámetros calcio, cloruros, conductividad, magnesio, nitratos, pH, potasio, sodio, TDS y sulfatos. También hay información de ciertos pozos en los municipios de Ciudad Arce y Colón (Landaverde & Romero, 2008), aunque en este caso los parámetros son más limitados, nitratos, pH y TDS. Y por último, de información en lo que se refiere a sales (calcio, cloruro, magnesio, potasio, sodio y sulfatos), conductividad y pH, nitratos, sílice y TDS, en pozos ubicados en los municipios de Antigua Cuscatlán y Santa Tecla (Barrera M., 2010):

- En el municipio de San Juan Opico se han observado incumplimientos frecuentes de la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, para los coliformes totales en casi todos los pozos estudiados por el MARN, pero sobre todo en el pozo ZP-31 (pozo particular), en el que se alcanzan 17,000 NMP/100 ml; también de calcio (en 6 de los 10 pozos, alcanzándose el máximo en el Caserío Areneras, ZP-50, con 134 mg/l); potasio (en 7 pozos, máximo en 18.7 mg/l en ZP-12); magnesio (en 4 pozos, siendo el máximo 65 mg/l, en ZP-12); y manganeso (en 5 pozos, aunque se alcanza un máximo en ZP-33, con 1.04

mg/l). Además se observan incumplimientos con carácter más puntual en el caso del boro (máximos de 0.67 mg/l en el pozo ZP-12), dureza (máximo de 605 mg/l, en ZP-50), mercurio (0.01 mg/l en ZP-50), nitratos (60.34 mg/l en ZP-49), TDS (máximo en 1,575 mg/l en ZP-12), y sulfatos (520 mg/l en ZP-50). Teniendo en cuenta la información adicional disponible en 17 pozos en el citado municipio (Guevara, 2011), parece que el problema con los nitratos es más evidente, y deja de tener un carácter puntual, ya que en 12 de ellos hay elevadas concentraciones, cuyo máximo asciende a 287 mg NO₃/l en el Caserío La Arenera. También es generalizado el exceso de potasio, en todos los pozos estudiados, alcanzándose de nuevo máximos elevados, en torno a 65 mg/l.

- En el municipio de Ciudad Arce, se vuelven a detectar incumplimientos generalizados debido a altas concentraciones de coliformes totales y potasio, aunque los niveles son algo inferiores a los cuantificados en San Juan Opico. También hay incumplimientos, aunque de carácter más puntual, en el caso del hierro (máximo de 1.3 mg/l en ZP-19), el manganeso (máximo en 2.3 mg/l en ZP-22), el magnesio (máximo en 75 mg/l en ZAP-03), el calcio (máximo en 90 mg/l en ZAP-03) y el plomo (máximo de 0.036 mg/l en ZP-46). Hay un pozo en particular que presenta altas concentraciones de cloruros, conductividad eléctrica, potasio y TDS, ascendiendo respectivamente a 886 mg/l, 2,140 μ S/cm, 164 mg/l y 1,230 mg/l; se trata del pozo de CENTA PP8, en el Cantón de San Andrés.
- En el municipio de Colón, los incumplimientos por altas concentraciones de coliformes totales presentan un carácter puntual, aunque hay un pozo en el que los niveles son elevados, de 9,000 NMP/100 ml. Sin embargo, en este caso el incumplimiento generalizado se debe a las concentraciones de boro, que son elevadas en todos los pozos de los que se dispone de dato del MARN, y también del potasio, aunque en este caso se desvía menos del LMP para potables; los máximos de boro rondan los 0.9 mg/l en algunos de ellos. También hay elevados niveles de calcio, magnesio y manganeso en buena parte de los pozos; en el caso del ZP-14 los valores ascienden a casi 150 mg Ca/l y 0.5 mg Mn/l. En cuanto a incumplimientos menos frecuentes, destacan algunos pozos con altos nitratos (máximo en 70 mg/l en ZAP-17) y en un caso los niveles de sulfatos, que ascienden a 550 mg/l (ZAP-07).
- En el municipio de Quezaltepeque apenas se dispone de información, pero de los dos pozos estudiados, propiedad de ANDA (Guevara, 2011), se han detectado niveles de nitratos por encima del LMP, sobre todo en el pozo PP11, en el que se han registrado 87 mg NO₃/l, y un pH sensiblemente ácido, de 5.9 unidades; así como de potasio, ascendiendo en MAN1 a 58 mg/l.
- En el municipio de Socacoyo, de nuevo se dispone de información para dos pozos por parte del MARN (ZP-20 y ZP-24), en los que hay cierto exceso de boro, manganeso y potasio, pero en los que no se observa presencia de coliformes ni otros problemas de calidad.
- En el municipio de Antigua Cuscatlán destacan los bajos niveles de pH en 4 de los pozos estudiados, aunque en dos de ellos los valores son muy ácidos, en 3.5-4.0 unidades.
- Y por último, en el municipio de Santa Tecla, se dispone de información en 3 manantiales, destacando únicamente un valor relativamente bajo de pH en uno de ellos, con 5.9 unidades.

En lo que respecta al Departamento de Sonsonate, se dispone de información de 5 pozos ubicados en el municipio de Armenia, en el que vuelve a detectarse presencia de coliformes totales en concentraciones que oscilan entre los 30 y los 1,600 NMP/100 ml, aunque no se detectan problemas con otros parámetros de calidad analizados.

En cuanto al Departamento de San Salvador, se dispone de información analítica en los municipios de Nejapa (1 manantial y 5 pozos), San Salvador (3 manantiales y 8 pozos), Soyapango (3 manantiales y 10 pozos), Apopa (6 manantiales y 5 pozos), San Marcos (8 manantiales y 1 pozo), Ciudad Delgado (13 manantiales y 5 pozos) y

Cuscatancingo (8 manantiales y 3 pozos). Los parámetros de los cuales se dispone de datos son: en lo que se refiere a sales (calcio, cloruro, magnesio, potasio, sodio y sulfatos), conductividad y pH, nitratos, sílice y TDS (Barrera M. , 2010). Adicionalmente se dispone de datos de nitratos, pH y TDS en varios pozos ubicados en los municipios de San Salvador (5 pozos), Soyapango (3 pozos), Apopa (1 pozo), Tonacatepeque (2 pozos) y San Martín (1 pozo) (Landaverde & Romero, 2008). Asimismo hay información en el municipio de Nejapa en materia de sales (calcio, cloruros, magnesio, potasio, sodio y sulfatos) y nitratos, para un total de 14 pozos (Gil, 2007). En la Figura 72 se muestra la ubicación de todos los puntos donde se tienen datos de calidad de aguas.

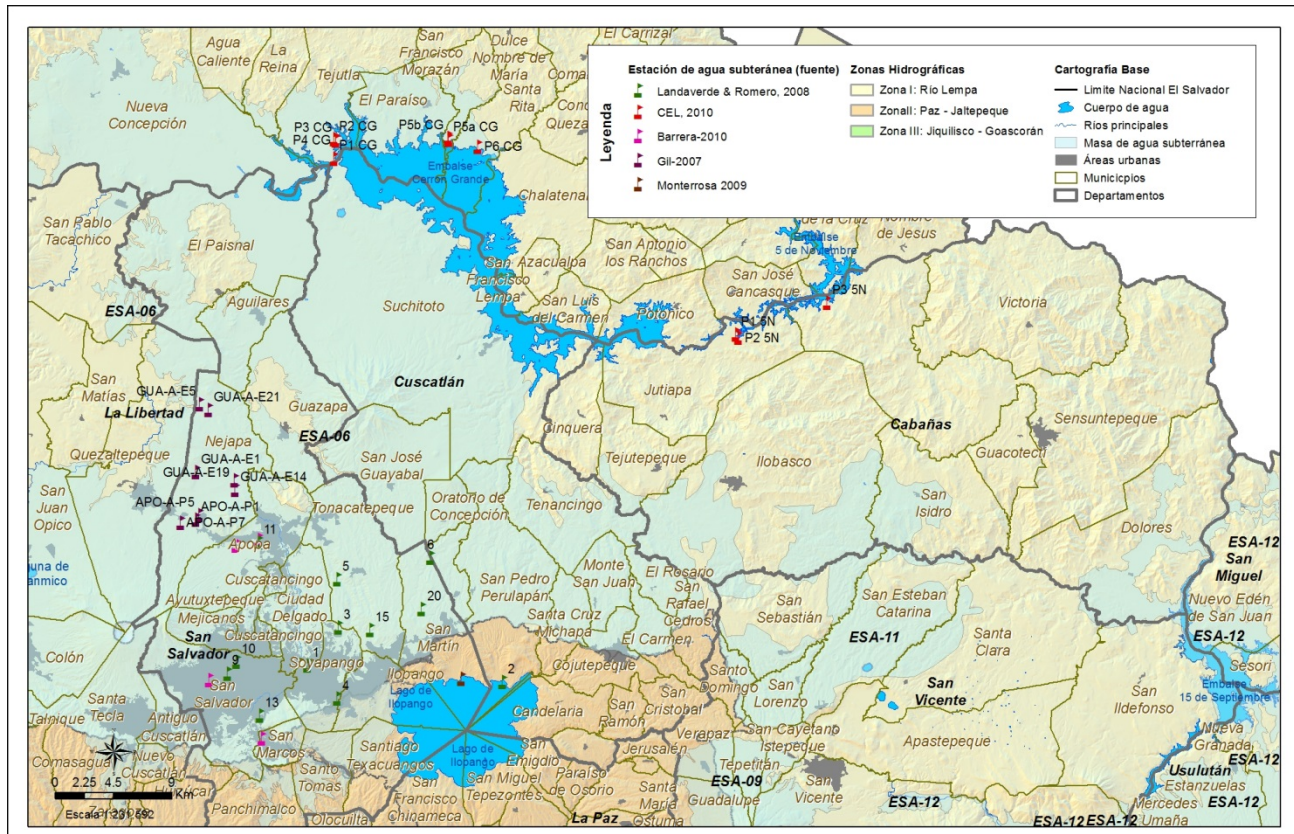


Figura 72. Pozos monitoreados ubicados sobre la MASub ESA-06, en los Departamentos de San Salvador, Cuscatlán, Chalatenango y Cabañas. En la leyenda se indica la fuente de la que se ha obtenido la información de calidad de aguas para cada uno de ellos.

A continuación se resumen los principales incumplimientos en materia de la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08:

- En el municipio de Nejapa no se han detectado problemas por exceso de sales y nitratos en ninguno de los pozos, a excepción de un par de casos en los que se ha superado el LMP para el potasio (máximo en el Cantón de Tutultepeque, con 32.4 mg/l).
- En el municipio de San Salvador se observan algunos valores de potasio ligeramente por encima del LMP en algunos de los manantiales y pozos estudiados.

- En el caso de los municipios de Ciudad Delgado, Apopa, San Marcos y Cuscatancingo destaca los bajos niveles de pH en algunos de los manantiales y pozos estudiados, de entre 2.7 y 5.8 unidades. Sin embargo, en Tonacetepeque se detecta un pozo con elevado pH, en torno a 9.1 unidades.
- Por último, en los municipios de Soyapango y San Martín no se detectan problemas de calidad, al menos a la vista de los parámetros analizados.

En el Departamento de Cuscatlán sólo se dispone de información en materia de nitratos, pH y TDS para 2 pozos ubicados en los municipios de San Pedro Perulapán y San Bartolomé Perulapia, descartándose problemas con estos parámetros.

Además de todos estos datos, se dispone de información de la masa subterránea en el Departamento de Chalatenango, en la zona de influencia del embalse Cerrón Grande (CEL, 2010), en concreto se dispone de 7 pozos monitorizados en los cantones de Aguaje Escondido (P1 CG a P4), en el cantón San José Los Sitios en el municipio de Tejutla (P5a CG y 5b), y en el municipio de San Rafael en el municipio de Santa Rita (P6 CG).

De los datos disponibles, llama la atención los altos coliformes fecales cuantificados (también de coliformes totales) en todos ellos, y especialmente en los pozos P5b CG y P2 CG, en el que los valores promedios ascienden a 1.5 NMP/100 ml y 35,700 NMP/100 ml, respectivamente (y en el caso de los totales a 2.7 millones y 300.000 NMP/100 ml, respectivamente), lo que hace totalmente desaconsejable el consumo de las aguas, ya que son niveles propios de aguas residuales. Además también hay presencia de aceites y grasas en todos los pozos, excepto en el P1 CG, y altas concentraciones de carbono orgánico, sobretodo en P2 CG y P3 CG.

En lo que respecta a la conductividad y las sales, es destacable que en el caso de la conductividad, a pesar de que los valores habituales son bajos, inferiores a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en algunas campañas los valores ascienden por encima de 1,700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los pozos P2 CG (el que mayor frecuencia de incumplimientos presenta), P3 CG y P4 CG. También hay ciertos incumplimientos en lo que respecta a los cloruros, sobre todo en P3 CG, en el que se alcanzan los 400 mg/l; y de calcio, sodio y potasio, y en menor medida de dureza, principalmente en los pozos P2 CG, P3 y P4 (el potasio presenta frecuentes incumplimientos en el resto de pozos, excepto en P1 CG). Además hay ciertos niveles de nitratos por encima del límite máximo permisible en los pozos P3 CG y P4 CG, para algunas de las campañas (máximo en ambos en noviembre de 2012, con 95.7 y 71 mg NO_3/l).

En cuanto a los sólidos, turbidez y de TDS, hay incumplimientos en todos los pozos para alguno de estos parámetros, salvo en P1 CG. También de nitrógeno total salvo en P5b CG. Los parámetros arsénico, cromo VI, hierro, magnesio, pH, temperatura, fenoles no presentan incumplimientos.

6.2.5. MASub ESA-07

A partir de la información contenida en varios informes de perforación de pozos de ANDA (Ver Figura 73), se ha podido tener conocimiento del estado de la masa de agua subterránea. En concreto, se dispone de información de 10 pozos perforados en el Departamento de Santa Ana (distribuidos a lo largo de los municipios de El Rosario, Olocuilta, San Luís Talpa, La Libertad, San Pedro Masahuat y Zacatecoluca) y de otro en el Departamento de San Vicente (en el municipio de Tecoluca). De éstos se dispone de información en referencia a los parámetros que se enumeran a continuación: metales (hierro y manganeso; también se dispone de algún punto aluminio, boro, mercurio, plomo y zinc), sales (calcio, cloruros, fluoruros, magnesio; también de potasio y sodio en un único pozo) y dureza, olor y color verdadero, conductividad, nitratos y nitritos (nitritos sólo en un pozo), sílice, TDS (en un único pozo) y turbidez, y contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales, bacterias heterótrofas, *Escherichia coli*,

Salmonella sp., *Pseudomonas aeruginosa*, organismos patógenos y recuento total de bacterias; estos parámetros se han analizado sólo en 2 de los 5 pozos).

Adicionalmente, para dos pozos (ubicados en los municipios de Tecoluca y Zacatecoluca) se dispone de información en materia de plaguicidas organofosforados (DDVP, Forato, Diazon, Clorpirifos, Metil paration, Malation, Etion), organoclorados (alfa, beta, gamma, delta HCH (lindano), Heptaclor, Aldrin, Heptaclor Epoxido, Endosulfan alfa, p,p'-DDD, Dieldrin, endrin, Endosulfan beta, p, p'DDE, Endrin Aldehído, Endosulfan sulfato, p, p'DDT, Endrin cetona, metoxiclor), y carbamatos (Oxamil, metomil, carfuran, metiocarb), aunque en este último caso sólo en el pozo estudiado en Tecoluca.

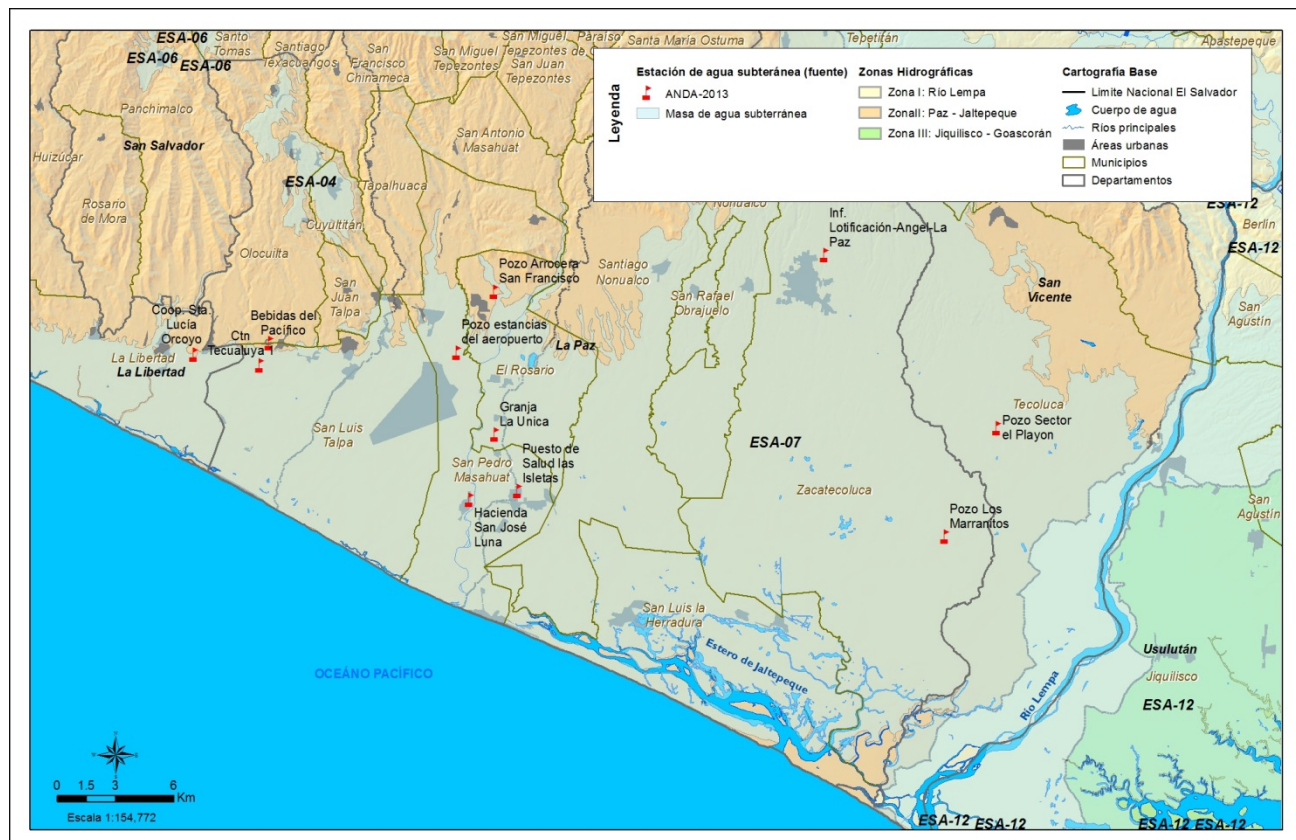


Figura 73. Pozos monitoreados por ANDA y ubicados sobre la MASub ESA-07.

A la vista de los datos disponibles, se detectan ciertos incumplimientos de los LMP establecidos para las aguas potables en lo que se refiere al hierro y al manganeso (posibles, como ya se ha comentado, en el caso de aguas algo ácidas). En el caso del hierro los incumplimientos se detectan en los municipios de San Luís Talpa (donde se registra el máximo, de 1 mg/l) San Pedro Masahuat y Zacatecoluca; en el caso del manganeso, en los municipios El Rosario (máximo de 2 mg/l) y San Luís Talpa. De los pozos en los que se dispone de datos de contaminación microbiana, ubicados en los municipios de El Rosario, Zacatecoluca y San Vicente, se detecta cierta contaminación en los dos pozos de El Rosario, presentando concentraciones bajas de coliformes fecales, pero presentes, en 4.5 NMP/100 ml; coliformes totales, entre 33 y 11 NMP/100 ml; y *E.coli* en uno de ellos (Granja La Unica), con 2 NMP/100 ml.

En lo que se refiere a los plaguicidas analizados, el resultado ha sido negativo (por debajo del LC) por lo que no hay contaminación debido a estos parámetros en los pozos estudiados.

6.2.6. MASub ESA-08

Se dispone de información en un total de 20 pozos distribuidos, salvo en un caso, en el Departamento de Santa Ana, en los municipios de Metapán y de Santa Rosa de Guachipilín (Medina, 2009). El otro pozo está en el Departamento de Chalatenango, en el municipio de La Palma. Sin embargo, de ellos la mayoría se ubican fuera de la masa, por lo que quedan fuera del alcance del presente acápite, y han sido comentados en el apartado 5.2.12.

En la Figura 74 se muestra la ubicación de las estaciones anteriormente comentadas, y de otras disponibles a través de una serie de estudios que se exponen en los siguientes párrafos:

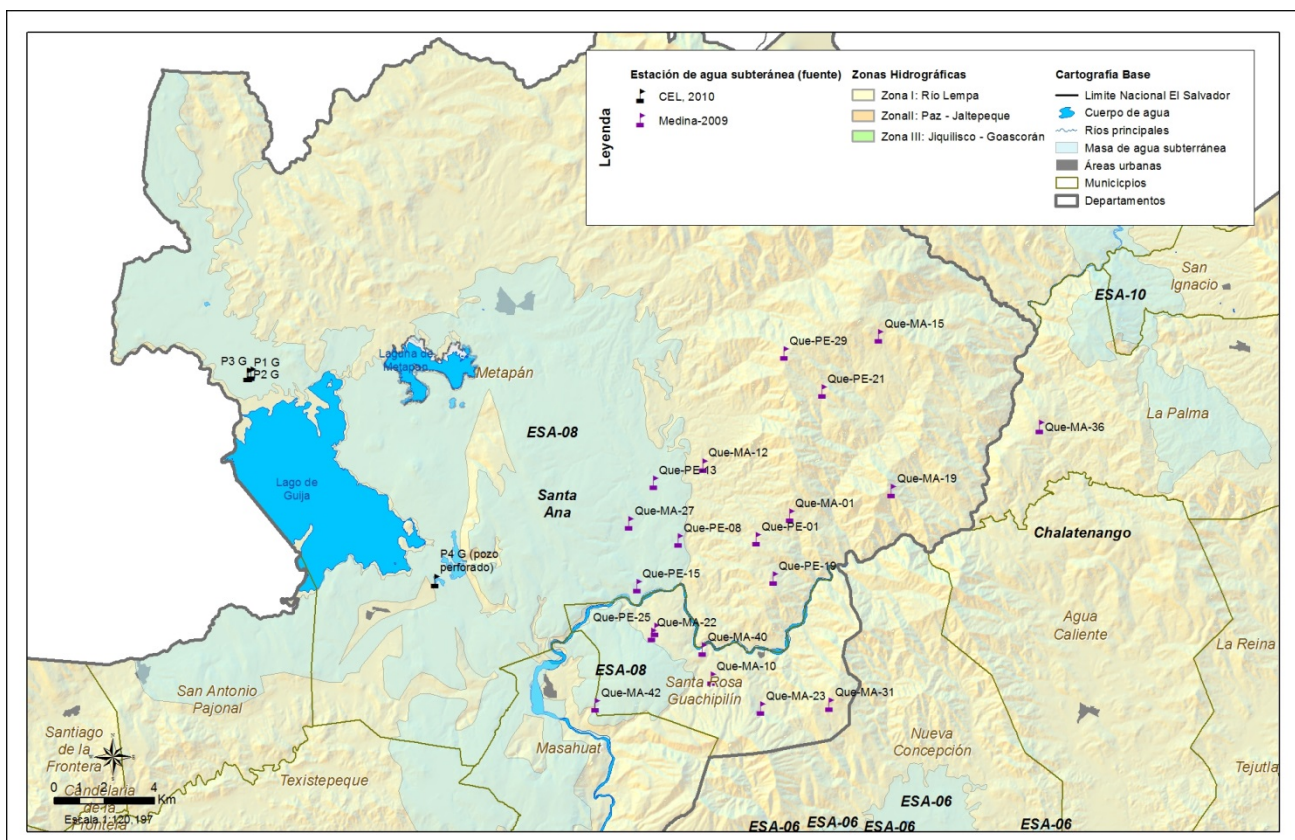


Figura 74. Pozos monitoreados ubicados sobre la MASub ESA-08. En la leyenda se indica la fuente de la que se ha obtenido la información de calidad de aguas para cada uno de ellos.

Ninguno de los pozos analizados asociados a la MASub ESA-08 supera los límites máximos y mínimos permisibles establecidos por la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, para los parámetros cloruro, conductividad, magnesio, sodio, TDS, sulfatos y temperatura. Se destaca que no se dispone de datos de coliformes fecales. Sin embargo, en el municipio de Metapán se observa un incumplimiento del LMP establecido para el pH, por superar un poco el valor máximo (valor máximo en Que-MA-15, con 9.3 unidades). Además, se supera el LMP establecido para el hierro total, alcanzándose el máximo en Que-PE-15, con 0.51 mg/l. También en este pozo se

incumplen los LMP para los parámetros calcio (valor promedio de 132 mg/l), nitratos (muy elevados, con un valor promedio de 170 mg NO₃/l), nitritos (2.14 mg N/l) y manganeso (el máximo asciende a 1.3 mg/l).

Además de todos estos datos, se dispone de información adicional para 4 pozos que se alimentan de esta masa en la zona de influencia del Lago de Güija (CEL, 2010); 3 de ellos se ubican en el Cantón de Tecmapa (P1 a P3 G), y el cuarto en el Cantón de Las Piedras (P4 G). Los pozos ubicados en el noroeste del lago (P1 a 3) presentan mayores concentraciones de coliformes fecales y totales que el pozo P4 G, situado al sureste, pero en todos los casos hay presencia probada, así como ciertas concentraciones significativas de aceites y grasas en todos ellos, y en alguna ocasión de carbono orgánico. En lo que respecta a las sales, hay ciertos incumplimientos en lo que se refiere a la dureza, sodio, calcio y potasio (posible relación con el uso inadecuado de fertilizantes), sobre todo en P1 G y P2 G, pero no en materia de conductividad y cloruros. En cuanto a la turbidez y los TDS apenas hay incumplimientos; tampoco en cuanto a los nitratos, que se mantienen por debajo del LMP, pero sí en cuanto a nitrógeno total. Puntualmente el pozo P2 G presenta algo de hierro, aunque no de magnesio. Los parámetros arsénico, cromo VI, pH, temperatura y fenoles no presentan incumplimientos.

6.2.7. MASub ESA-11

Se dispone de un informe de perforación de un pozo de ANDA ubicado en la MASub ESA-11 (Ver Figura 75), en el municipio de San Lorenzo, Departamento de San Vicente. En concreto de metales (arsénico, hierro, manganeso, aluminio, boro, plomo y zinc), sales (calcio, cloruros, sulfatos, fluoruros y magnesio) y dureza, olor y color verdadero, conductividad, nitratos, sílice, TDS (en un único pozo) y turbidez, y contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales, bacterias heterótrofas, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, organismos patógenos y recuento total de bacterias).

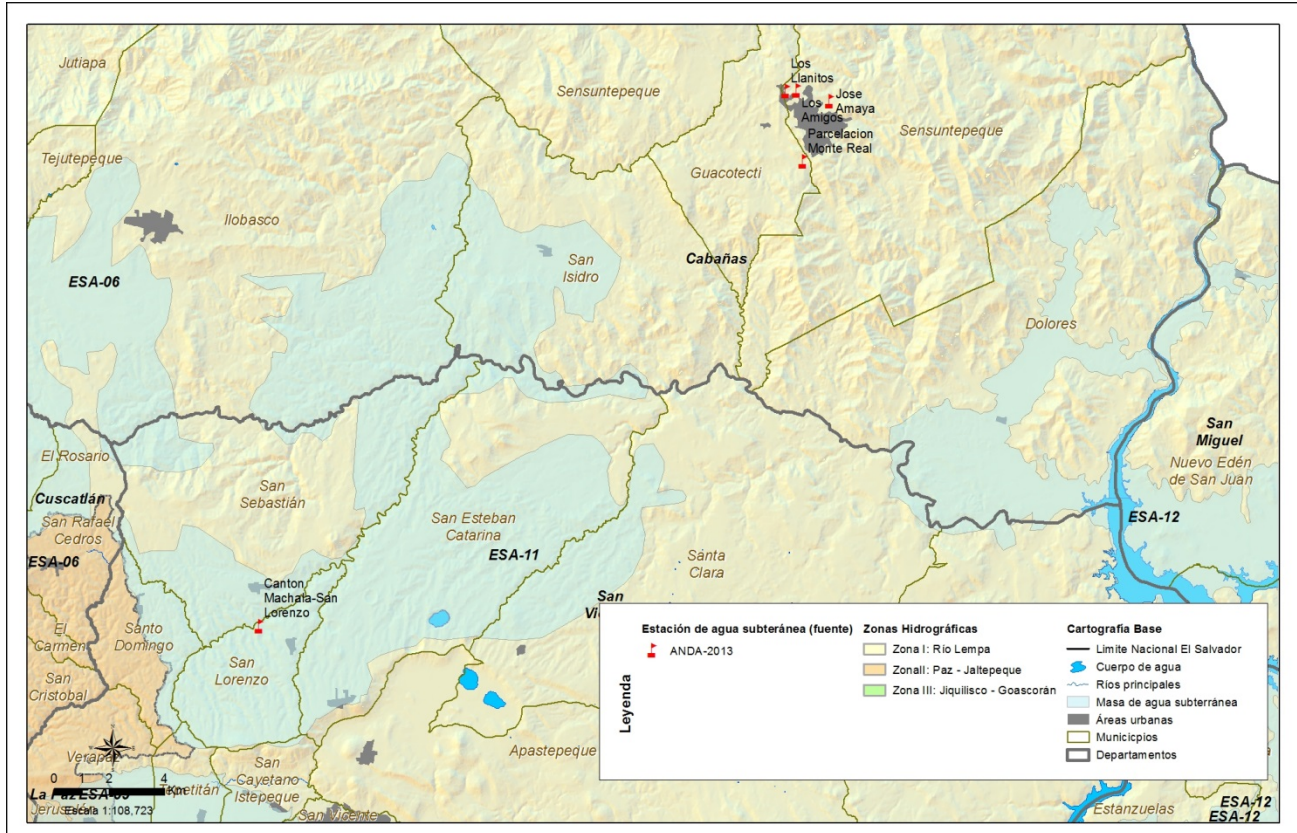


Figura 75. Pozos monitoreados por ANDA y ubicados sobre la MASub ESA-11.

De los datos disponibles, sólo se detecta un incumplimiento en lo que respecta al conteo bacteriano heterotrófico, que asciende a 590 NMP/100 ml, y por lo tanto supera el LMP establecido para aguas potables.

6.2.8. MASub ESA-12

Se dispone de datos de calidad para una serie de pozos distribuidos en los Departamentos de San Miguel y Usulután (concretamente en la Península San Juan del Gozo, en Bahía de Jiquilisco), a partir los trabajos realizados por MARN en el periodo 2005-2012. En la Figura 76 se muestra la ubicación de las estaciones anteriormente comentadas, y de otras disponibles a través de una serie de estudios que se exponen en los siguientes párrafos:

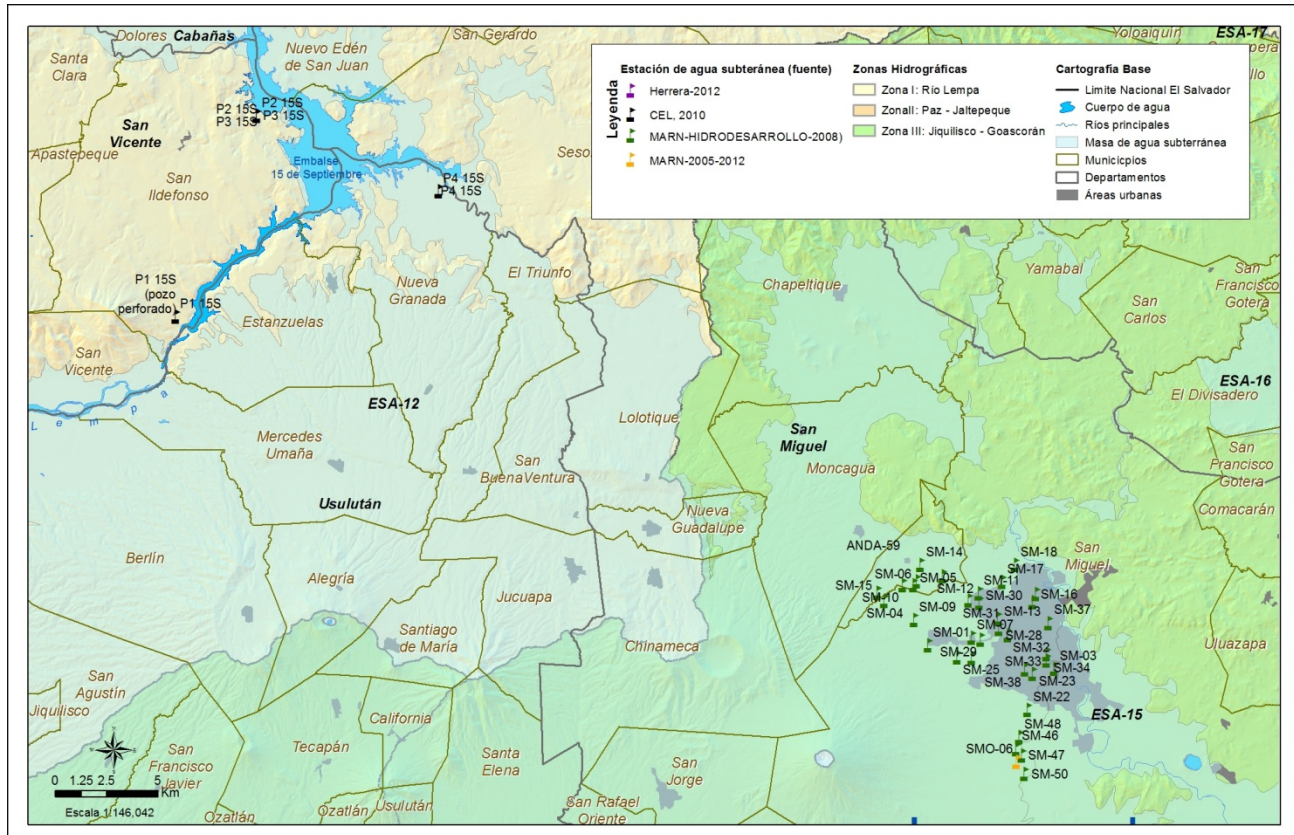


Figura 76. Pozos monitoreados ubicados sobre la MASub ESA-12, en el Departamento de San Miguel. En la leyenda se indica la fuente de la que se ha obtenido la información de calidad de aguas para cada uno de ellos.

Respecto a pH, conductividad y TDS en los pozos que se abastecen de la MASub ESA-12, cumplen los límites máximos y mínimos permisibles establecidos por la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, excepto de la conductividad en los pozos BH-10 y BH-13, ubicados en el municipio de Jiquilisco, en los cantones de Montecristo y Salinas de Sisiguayo, respectivamente. En BH-13 se presenta el máximo registrado, de 2,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Además, los pozos BH-10, BH-12 (cantón El Marillo, también en Jiquilisco) y BH-13 presentan una concentración de TDS algo superior al estándar para agua de bebida que establece la EPA (EPA, 1986), fijado en 500 mg/l.

En materia de las sustancias químicas en los pozos de San Miguel, cloruros, fluoruros, sulfatos, sodio y manganeso se mantienen por debajo de los correspondientes límites máximos permisibles, mientras se identifican incumplimientos de la norma de carácter puntual en materia de hierro en el pozo SMO-06, ubicado en el Cantón Monte Grande (municipio de San Miguel), único con dato, que en promedio asciende a 1 mg/l (posibles aguas ácidas en el entorno). En cuanto a los pozos en Bahía de Jiquilisco el comportamiento es bastante diferente, de modo que son los sulfatos y el sílice los parámetros que se mantienen dentro de los rangos establecidos en la norma, mientras que se observan incumplimientos de carácter puntual para el magnesio en el pozo BH-13 (53 mg/l), manganeso en BH-09 (ubicación desconocida) 1.28 mg/l, sodio en BH-12 y BH-13 (ligeramente por encima de 250 mg/l), calcio y cloruros en BH-10 y sobre todo en BH-13 (153 mg Ca/l y 415 mg Cl/l, respectivamente), fluoruros en BH-12 (1.13 mg/l). También se registran otros incumplimientos de modo menos puntual en cuanto a hierro en los pozos BH-02 (ubicación desconocida), BH-03 (ubicación desconocida), BH-04 (Cantón Corral de Mulas, en el municipio de Puerto



El Triunfo), BH-09, BH-11 (Cantón San Antonio Potrerillos, Jiquilisco) y BH-14 (Cantón San Marcos Lempa, en Jiquilisco), que superan en el límite máximo permisible, pero que es especialmente elevado en BH-02 (0.73 mg/l) y BH-11 (0.95 mg/l); potasio en los pozos BH-07 (Cantón Isla de Méndez en el municipio de Jiquilisco), BH-08 (ubicación desconocida), BH-09, BH-10, BH-12 y BH-13, en los que también se supera el límite para dicho parámetro, pero que es especialmente elevado en BH-10, donde en promedio se alcanzan 29 mg K/l.

Por último, en materia de nitratos, en los pozos de Bahía de Jiquilisco no hay incumplimiento en ninguno de los pozos estudiados, tampoco en los pozos de San Miguel ubicados en la MASub ESA-12, aunque sí en la MASub ESA-15.

Por otra parte, se dispone de datos adicionales para el acuífero San Miguel para el año 2008, en un total de 49 pozos, 20 de ellos profundos principalmente destinados a abastecimiento, 17 someros de uso doméstico, y 2 de uso recreativo (SM-49, Nacimiento La Cueva, en el municipio de San Miguel, cantón El Sitio, y SM-50, Nacimiento La Presa, de nuevo en el municipio de San Miguel, pero en el cantón Monte Grande). En cuanto a la distribución, la mayor parte de los pozos profundos se concentran en el municipio de San Miguel, fundamentalmente en la ciudad (SM-03, 28, 32, 33, 34, 37 y 38), y en los cantones El Mate (SM-01), El Sitio (SM-11, 17, 30 y 31) y Jalacatal (SM-07, 09, 25 y 29); aunque también hay algunos en el municipio de Quelepa, en los cantones de San José (SM-05, 06 u 15) y San Andrés (SM-04). En cuanto a los pozos someros, se concentran de nuevo en San Miguel, en la ciudad (SM-13, 22 y 23), y los cantones El Sitio (SM-16 y 18), Jalacatal (SM-24), Las Delicias (SM-40, 41, 42, 44 y 45) y Monte Grande (SM-46, 47 y 48). También hay algún pozo en el municipio de Quelepa, en los cantones de San José (SM-10), El Obrajuelo (SM-12) y San José (SM-14).

Como novedad importante hay datos de coliformes totales, con resultado positivo en una parte importante de ellos. Dos de ellos presentan un máximo muy destacable de 30,000 NMP/100 ml, siendo los pozos SM-10 y SM-47. Otros pozos con altas concentraciones, aunque inferiores a las anteriores, se han observado en los pozos SM-48, SM-41 y SM-45; en el resto los niveles son inferiores o muy inferiores a 1,000 NMP/100 ml, o no se han observado.

Con lo que respecta a los parámetros indicadores de las condiciones físicas y organolépticas, de nuevo pH, conductividad y TDS están dentro de los rangos aceptables para su uso como agua potable. En cuanto a las sustancias químicas, de nuevo cloruros, sulfatos y sodio se presentan dentro de los valores adecuados para su consumo, a los que se suma el sílice, el cobre y el zinc, que en muchos pozos presentan incluso concentraciones no cuantificables por la técnica analítica. Se observan incumplimientos puntuales en materia de dureza y hierro, pero incumplimientos relativamente frecuentes en cuanto a magnesio (en SM-25 se da el máximo, con 38.8 mg/l), calcio (aunque en ningún caso las concentraciones son superiores a 100 mg/l) y potasio (en SM-42 se da el máximo, de 18.2 mg/l). En cuanto a los nitratos, sólo superan el límite máximo permisible en los pozos SM-23, SM-41 y SM-42, de manera muy sensible (máximo en SM-42 con 52.4 mg NO₃/l); la presencia de nitratos se asocia a la existencia de fosas sépticas en las vecindades (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008).

Además, se dispone de datos arsénico, boro, cadmio, cromo, mercurio, níquel, nitritos y plomo. De ellos, sólo se han observado incumplimientos puntuales para el cadmio en SM-37, el mercurio en SM-15, el níquel en SM-04 (0.24 mg/l), y el plomo en SM-28. Sin embargo, se registran incumplimientos menos puntuales en cuanto al arsénico, que se ha detectado a concentraciones superiores a las recomendadas para el consumo en SM-14, SM-17, SM-37 (0.1 mg/l), SM-39, SM-40 y SM-41; el origen del arsénico está asociado al volcán de San Miguel, el cual se transporta de las partes altas de la cuenca hacia las partes bajas donde se localizan los pozos, por medio de formaciones permeables (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008). También hay presencia de altas concentraciones de boro en

muchos de los pozos, pero que destacan en los pozos SM-01 (1.37 mg/l), SM-05 (1.80 mg/l), SM-06 (1.04 mg/l) y SM-09 (1.17 mg/l), SM-15 (1.30 mg/l).

Adicionalmente a todo lo expuesto hasta el momento, en el informe específico de la campaña de 2008 ejecutada por MARN (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008), se indica una serie de comentarios que *desde el punto de vista Microbiológico, la parte profunda del acuífero (de San Miguel) tiene aguas de buena calidad y no está contaminado con coliformes fecales. Con relación a los químicos inorgánicos de alto riesgo, el Arsénico presenta un serio problema de contaminación para los pozos de ANDA y los de algunas Urbanizaciones Privadas. La parte somera del acuífero tiene aguas de mala calidad y no debe usarse para el abastecimiento humano, tanto en el aspecto Microbiológico como de Otros Químicos y Químicos de Alto Riesgo como el Arsénico.*

Además de todos estos datos, se dispone de información de la masa subterránea en la zona de influencia del embalse 15 de Septiembre (CEL, 2010). En concreto se dispone de 4 pozos monitorizados, aunque uno de ellos queda fuera de la masa subterránea (P1 15S, en el cantón de San Lorenzo, municipio de San Ildefonso, Departamento de San Vicente). Los otros 3 se ubican en los cantones de San Francisco, en el municipio de San Ildefonso, en el caso de los pozos P2 y P3 15S, y en el cantón de La Palomia del municipio de Nueva Granada (Departamento de Usulután).

De los datos disponibles, llama la atención la presencia de aceites y grasas en todos ellos en algunas campañas, alcanzándose un máximo de 53 mg/l en P3 15S; también hay presencia de coliformes fecales (también de coliformes totales) en todos ellos, lo que indica una contaminación de origen doméstico, que alcanza sus niveles máximos en P4 15S, de coliformes fecales en 4,700 NMP/100 ml en promedio para todas las campañas disponibles, y de coliformes totales en 29,000 NMP/100 ml. Su presencia por tanto no hace apto el consumo de las aguas sin un tratamiento previo.

Las aguas monitorizadas presentan además alta dureza, y en el caso del pozo P2 15S, altas concentraciones de calcio (promedio en 85 mg/l), TDS (538 mg/l), y en menor medida de potasio, cuyo valor promedio se mantiene en el rango adecuado para el consumo, aunque no en algunas campañas, que superan sensiblemente los 10 mg/l. En el pozo P3 15S puntualmente también incumple la norma en el caso del potasio (posible uso inadecuado de fertilizantes).

Incumplimientos de carácter puntual se observan para los parámetros carbono orgánico, sobre todo en P2 15 S; nitrógeno total en P1 15S (aunque queda fuera de masa, como se ha comentado); y en turbidez en todos ellos en alguna campaña. No hay altos valores de pH y temperatura, metales como el arsénico, cromo VI, hierro, otras sales como los cloruros, el magnesio, y contaminantes como los fenoles.

Por otra parte, se ha desarrollado un estudio de la calidad de los pozos de consumo humano ubicados en el municipio de Concepción Batres, en el Departamento de Usulután (Ver Figura 77), en el marco del trabajo de graduación “Determinación de parámetros físico-químicos y microbiológicos de agua de pozo para el consumo humano en las comunidades La Arenera, San José y El Progreso del municipio de Concepción Batres en el Departamento de Usulután” (Herrera, 2012). Los indicadores de contaminación microbiana estudiados son las coliformes fecales y totales, *Escherichia coli*, bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas y organismos patógenos; en materia de las características físicas y organolépticas, se dispone de información para los parámetros pH, temperatura, olor, color verdadero, sabor, turbidez y sólidos totales disueltos; respecto a las sustancias químicas, se ha analizado los datos de dureza, hierro, sodio y sulfatos; por último, en lo que se refiere a las sustancias químicas

inorgánicas de alto riesgo para la salud, se tiene conocimiento de los niveles de los metales arsénico, mercurio y plomo. Los monitoreos se realizaron en época húmeda, entre mayo y julio de 2012.

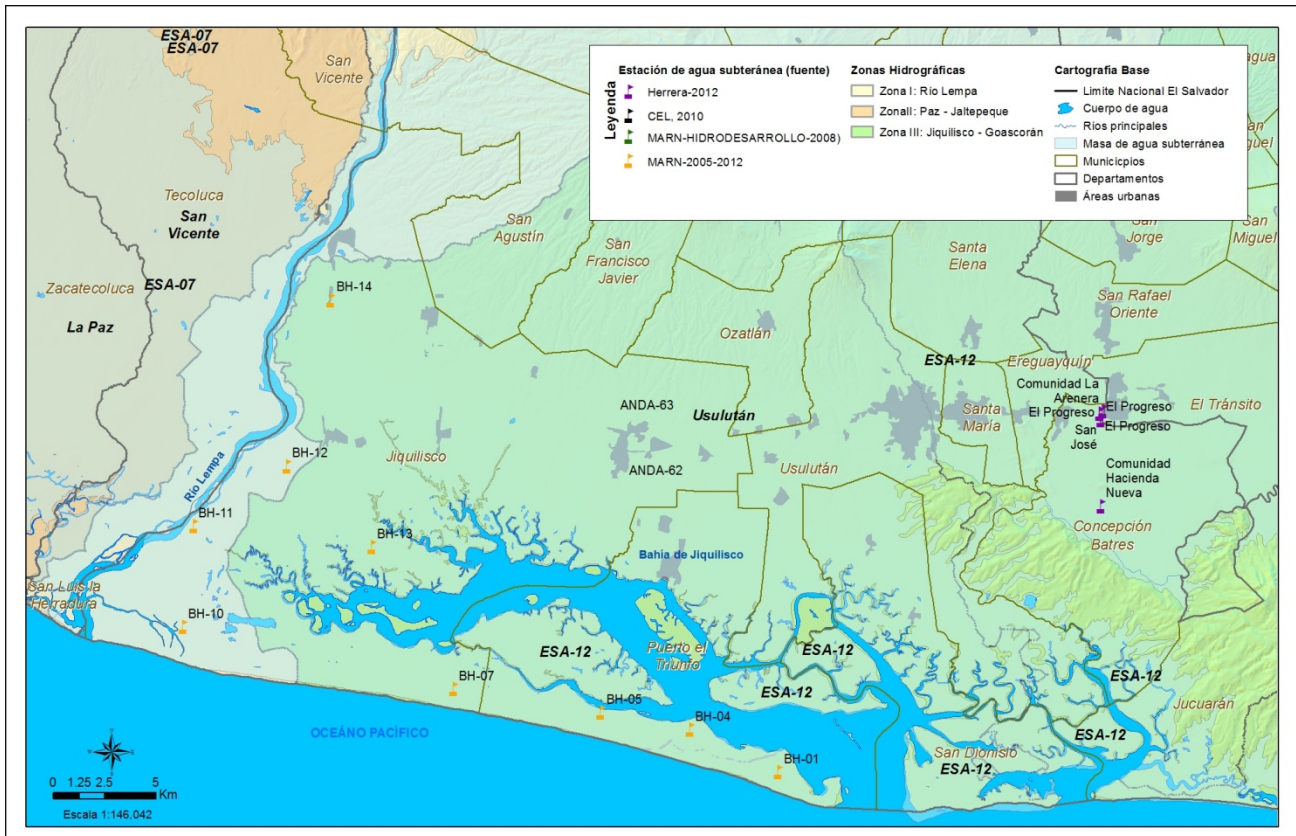


Figura 77. Pozos monitoreados ubicados sobre la MASub ESA-12, en el Departamento de Usulután. En la leyenda se indica la fuente de la que se ha obtenido la información de calidad de aguas para cada uno de ellos.

Teniendo en consideración los límites máximos permisibles establecidos por la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, se extraen las siguientes conclusiones:

- En lo que respecta a la contaminación microbiana, **todos los pozos, salvo el de la Comunidad Hacienda Nueva, presentan resultados positivos para las coliformes totales y fecales y *Escherichia coli***, con lo que hay una evidente contaminación de origen doméstico de las aguas. A pesar de ello, no se observan organismos patógenos y sólo en los pozos N°2 de la Comunidad La Arenera, N°1 de San José y N°1 del Progreso, presentan concentraciones de bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas por encima del límite máximo permisible, que es 100 UFC/100 ml; el valor máximo, se registra en el pozo N°1 de San José con 375 UFC/100 ml.
- Las características físicas y organolépticas analizadas (pH, temperatura, olor, color verdadero, sabor, turbidez y sólidos totales disueltos) son por lo general propias de aguas adecuadas para el consumo humano según la norma citada. La excepción se produce en el **Pozo 3 de San José, que según se indica en el informe presenta un olor y color rechazable y elevada turbidez (32 NTU)**, lo que podría deberse a que según se indica en el informe, el pozo se encontraba contaminado con zompopos y se estaba tratando con

el plaguicida Folidol, o quizá esté relacionado con las altas concentraciones de hierro detectadas, como se comenta a continuación.

- Las sustancias químicas analizadas (dureza, hierro, sodio y sulfatos), presentan concentraciones adecuadas para el consumo, con la excepción del **hierro en el pozo 3 de San José, en el que se alcanzan 1.3 mg/l**, y que por tanto supera el límite máximo permisible para el consumo, establecido en 0.3 mg/l. A pesar de ello, tal y como se indica en la norma, cuando los valores de hierro superen el límite máximo permisible establecido y no sobrepasen los valores máximos sanitariamente aceptables de 2.0 mg/l, se permitirá el uso de quelantes para evitar los problemas estéticos de color, turbidez y sabor que se generan, por lo que sería recomendable la aplicación de los mismos en dicho pozo, aunque como se verá en el próximo ítem, su uso como agua potable es totalmente desaconsejado.
- Por último, en materia de químicos inorgánicos de alto riesgo para la salud, se destaca la **importante presencia de mercurio en todos los pozos estudiados**, que según se indica en el informe puede tener su origen en el uso de agroquímicos en los alrededores de los pozos y la presencia de explotaciones mineras artesanales. **Las concentraciones son especialmente elevadas en el pozo 3 de San José, en el que se alcanza 11.64 mg Hg/l según el presente estudio; estos niveles hacen que sea totalmente inadecuado para el consumo y cualquier otro uso, dado su alta toxicidad**, aunque se recomienda un monitoreo de confirmación de que estas concentraciones se estén manteniendo tan elevadas. En el resto de pozos los niveles se sitúan entre 0.015 mg/l en el Pozo 1 de San José y 0.09 mg/l en el Pozo 3 de la Comunidad La Arenera, con lo que en todos los casos se supera ampliamente el límite máximo recomendable para dicho parámetro, en 0.001 mg/l.
- Las concentraciones de arsénico y plomo se mantienen bajas, inferiores a la técnica analítica (cuyo límite no se indica en el informe por lo que se desconoce), por lo que se estima que también lo estarán por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la norma.

6.2.9. MASub ESA-15

En esta masa se dispone de nuevo de datos de calidad para una serie de pozos distribuidos en el Municipio de San Miguel, a partir los trabajos realizados por MARN en el periodo 2005-2012. En concreto se dispone de datos para los pozos SMO-04 (ciudad de San Miguel), SMO-07 (Cantón de Miraflores), SMO-30 (Cantón El Tecometal). Respecto a las características físicas y organolépticas analizadas en los pozos que se abastecen de la MASub ESA-15, por lo general cumplen con los límites máximos y mínimos permisibles establecidos por la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08.

En la Figura 78 se muestra la ubicación de las estaciones anteriormente comentadas, y de otras disponibles a través de una serie de estudios que se exponen en los siguientes párrafos:

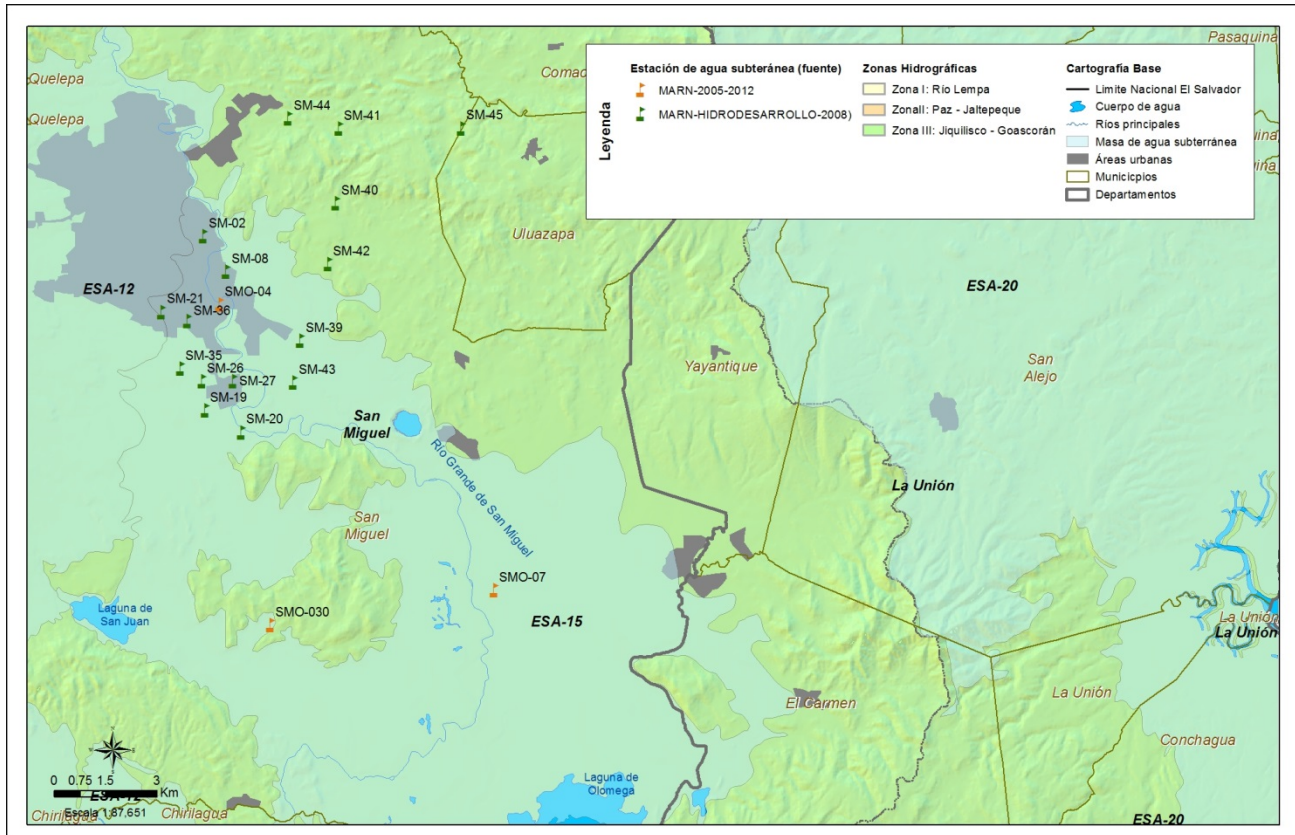


Figura 78. Pozos monitoreados ubicados sobre la MASub ESA-15. En la leyenda se indica la fuente de la que se ha obtenido la información de calidad de aguas para cada uno de ellos.

En materia de las sustancias químicas, cloruros, fluoruros, sulfatos y sodio se mantienen por debajo de los correspondientes límites máximos permisibles, mientras se identifican incumplimientos de la norma en materia de potasio en los pozos SMO-04 y SM-030, que en promedio ascienden a 11.75 y 73.45 mg/l, respectivamente; sílice y calcio en los pozos SMO-06, SMO-07 y SMO-030, siendo éste último en el que se alcanza el máximo de sílice con 168 mg/l (es un valor alto aunque posible en aguas naturales, especialmente en contextos de aguas algo salobres), y en SMO-04 en el caso del calcio, con 138 mg/l (posible uso inadecuado de fertilizantes).

Por último, en materia de nitratos algunos pozos presentan importantes desviaciones con respecto al límite máximo permisible, que se recuerda está establecido en 45 mg NO₃/l. Es el caso de los pozos SMO-04, SMO-07 y SMO-030, en los que los valores promedio para las 4 campañas ascienden a 137, 79 y 38 mg NO₃/l respectivamente, pero que puntualmente presentan máximos que ascienden a 335 mg NO₃/l en septiembre de 2005 en SMO-04, 109.5 mg NO₃/l en octubre de 2012 en SMO-07, y 81.5 mg NO₃/l en septiembre de 2005 en SMO-030.

Por otra parte, se dispone de datos adicionales para el año 2008 en una serie de pozos en su mayoría profundos para abastecimiento, ubicados en el municipio de San Miguel, en la propia ciudad (SM-02, SM-08, SM-21, SM-27 y SM-36, este último para uso industrial), así como en el Cantón El Jute (SM-26, SM-35, SM-19 y SM-20, estos dos últimos someros de uso doméstico); también se dispone de datos de pozos en el Cantón El Papalón, aunque son someros de uso doméstico (SM-39 y SM-43). A la vista de estos datos, destacan las altas concentraciones en los

pozos SM-39 y SM-43 (Familia Flores), que presentan en torno a 1,500 NMP/100 ml. Con lo que respecta a los parámetros indicadores de las condiciones físicas y organolépticas, de nuevo pH, conductividad y TDS están dentro de los rangos aceptables para su uso como agua potable. En cuanto a las sustancias químicas, de nuevo cloruros, sulfatos y sodio se presentan dentro de los valores adecuados para su consumo, a los que se suma el sílice, que de hecho se presenta inferior al valor recomendado, el cobre y el zinc, que en muchos pozos presentan incluso concentraciones no cuantificables por la técnica analítica. Se observan incumplimientos en cuanto calcio y potasio, que son los parámetros que más veces supera el límite máximo permisible; en cuanto al calcio los pozos con elevadas concentraciones son SM-19, SM-20, SM-35 y SM-43; en cuanto al potasio, se trata de los pozos SM-08 y SM-35 (probable uso indebido de fertilizantes).

Otra novedad interesante es que se dispone de información de varias sustancias químicas inorgánicas de alto riesgo para la salud humana, como son los arsénico, boro, cadmio, cromo, mercurio, níquel, nitritos y plomo (MINEC-MAG, 2009). Se detectan incumplimientos para el arsénico en SM-02, SM-08 y SM-39; en ellos los valores superan sensiblemente el límite máximo permisible con la excepción de los pozos SM-02 y SM-39, con casi 0.04 mg/l, y con SM-37, propiedad de ANDA, con 0.1 mg/l. El origen del arsénico está asociado al volcán de San Miguel, el cual se transporta de las partes altas de la cuenca hacia las partes bajas donde se localizan los pozos, por medio de formaciones permeables (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008).

Además, a raíz de una visita de campo realizada el día 8 de mayo de 2013 por la UDP-GHES, se tuvo conocimiento de la detección de **aldrín en el agua de origen subterráneo en la urbanización de La Pradera**, posiblemente por los arrastres del río Grande de San Miguel, aunque en el río no se ha detectado.

También ha habido **problemas de contaminación del acuífero con toxafeno debido a unos barriles depositados en un almacén**, el cual se abandonó dejando allí los barriles sin identificar, como puede verse en la Figura 79, y que la gente del lugar botó al suelo desconociendo su contenido para reutilizar el barril contaminando así el acuífero. El toxafeno se utilizaba en el cultivo del algodón como plaguicida.



Figura 79. Almacén abandonado donde se depositaron los barriles con toxafeno.



Esta contaminación se detectó en la **Colonia Carrillo** y no perjudicó a la urbanización de la Pradera. El agua de esta Colonia se emplea para uso doméstico pero no para consumo humano por sus problemas de contaminación.

Tal y como se cita en la Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental, *El primer caso atendido fue el de la explanta formuladora de plaguicidas Agrojell en San Miguel, que durante más de 10 años dejó abandonados 42.6 toneladas de Toxafeno, un material altamente tóxico, que se encontraba al aire libre y en contacto con los pobladores que residían en los alrededores de la instalación. Además de la eliminación de los desechos, los cuales fueron tratados a través de coprocesamiento en hornos cementeros, incluyendo los suelos que habían tenido contacto con los mismos, se desarrollaron otras medidas como la atención de salud a las familias afectadas, el análisis de frutos y cultivos en la zona y el suministro de agua potable.*

Adicionalmente a todo lo expuesto hasta el momento, en el informe específico de la campaña de 2008 ejecutada por el MARN (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008), se indica una serie de comentarios que se quieren destacar en este documento. Son los siguientes:

Desde el punto de vista Microbiológico, la parte profunda del acuífero (de San Miguel) tiene aguas de buena calidad y no está contaminado con coliformes fecales. Con relación a los químicos inorgánicos de alto riesgo, el Arsénico presenta un serio problema de contaminación para los pozos de ANDA y los de algunas Urbanizaciones Privadas. La parte somera del acuífero tiene aguas de mala calidad y no debe usarse para el abastecimiento humano, tanto en el aspecto Microbiológico como de Otros Químicos y Químicos de Alto Riesgo como el Arsénico.

...

En su gran mayoría el área del acuífero presenta baja vulnerabilidad, la alta vulnerabilidad se presenta en el área de la ciudad cercana al Río Grande de San Miguel donde está la parte somera del acuífero.

En cuanto al Riesgo de Contaminación del Acuífero, este depende de la vulnerabilidad del Acuífero y las amenazas de la contaminación presentes, en la gran mayoría de su área (60%) dadas sus características físicas tiene baja y muy baja vulnerabilidad, sin embargo se ha identificado áreas de alta vulnerabilidad en las áreas de la ciudad, en la margen derecha del río Grande de San Miguel, donde también existe la parte somera del acuífero, el cual está contaminado y el Río Grande conduce aguas negras de la ciudad de San Miguel.

....

El área contaminada se genera por su alta vulnerabilidad y por la presencia de una gran cantidad de fuentes contaminantes. La alta vulnerabilidad no se puede cambiar ya que son características físicas propias del acuífero. En lo que sí se puede trabajar es en las fuentes contaminantes que provienen de comunidades que no tienen alcantarillado sanitario y descargan sus aguas negras a fosas o fosas sépticas. También existe el riesgo de tuberías de alcantarillado sanitario muy viejas que dan origen a fugas contaminantes. Para ello se recomienda que se construyan sistemas de alcantarillados sanitarios a estas comunidades, y que se ponga en práctica los Diseños de Plantas de Tratamiento de Aguas Negras que se diseñaron en 1997 para el Plan Maestro de Acueductos y Alcantarillados de ANDA en la ciudad de San Miguel.

Una de las mejores herramientas para la protección y control de los recursos naturales especialmente el Recurso Hídrico, sería el disponer de una Ley de Ordenamiento Territorial, esto en el caso del acuífero de San Miguel es básico para regular los usos del suelo y así proteger las áreas de recarga al acuífero. Dado

que el país no existe una Ley de Ordenamiento Territorial aprobada se recomienda al MARN el hacer las gestiones para lograr su aprobación y posterior aplicación.

6.2.10. MASub ESA-19

Se ha tenido acceso a un estudio que facilita información de coliformes fecales, algunos metales (arsénico, mercurio, níquel y plomo) y plaguicidas (DDT, aldrín y endrín, clordano, diazinón, dieldrín, endosulfan, heptaclor, heptaclor epóxido, hexaclorobenceno, lindano, malatión y metil paratión) en dos pozos ubicados en El Icacal y Playas Negras (MARN-JICA-BIOTEC, 2006). Los estudios se han realizado a partir de muestras tomadas en marzo de 2006. En la Figura 80 se muestran los puntos donde se dispone de información de calidad.

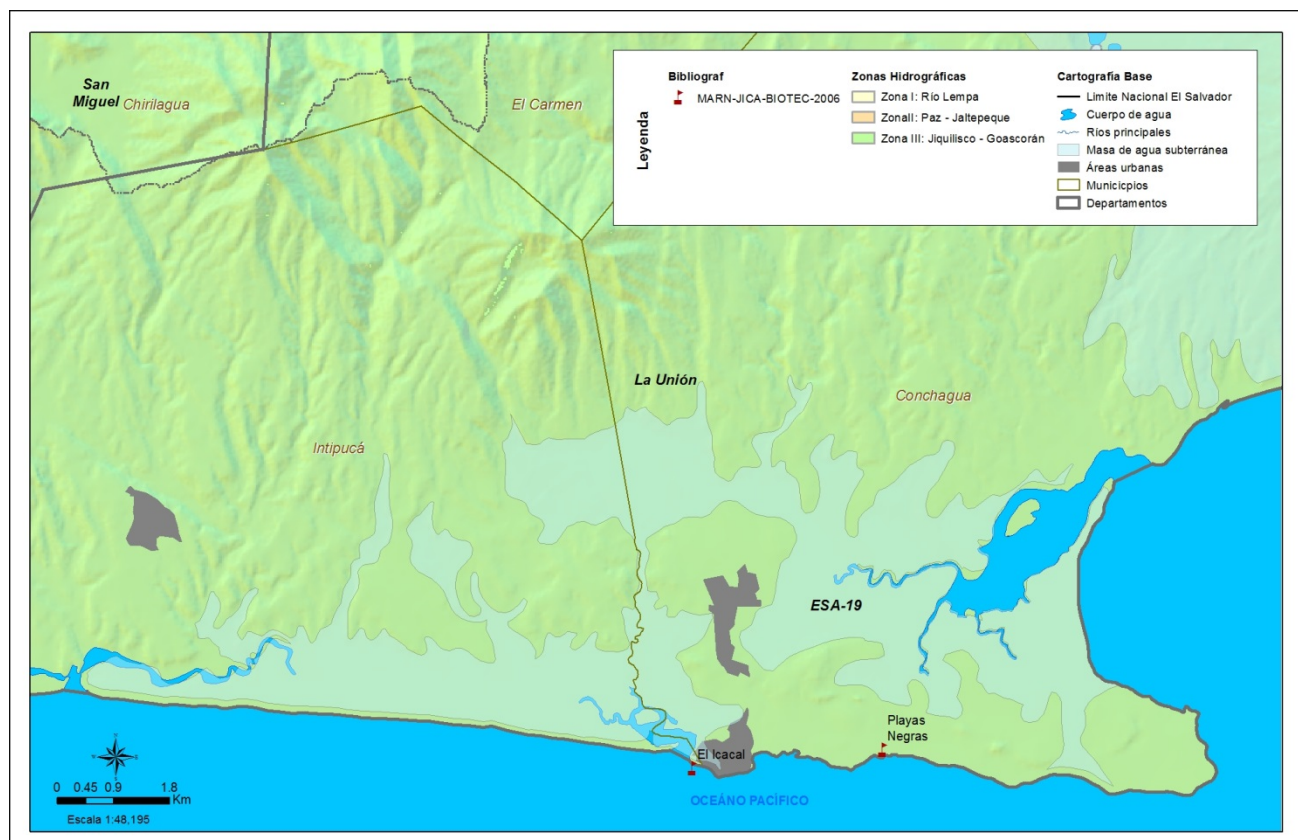


Figura 80. Pozos monitoreados (MARN-JICA-BIOTEC, 2006) ubicados sobre la MASub ESA-19.

Lo más destacable es que en ambos pozos se detectan concentraciones de coliformes fecales, por lo que no se recomienda el consumo de las aguas, evitando de este modo enfermedades intestinales derivadas de ello. Las mayores concentraciones se registran en El Icacal, con 5,000 NMP/100 ml.

En cuanto a los químicos inorgánicos de alto riesgo para la salud analizados (metales), se ha observado cierta presencia de plomo en Playas Negras, cuyas concentraciones se sitúan en el mismo límite de 0.01 mg/l, por lo que es importante tenerlo también en consideración.

Se destaca que no se han identificado valores de residuos de plaguicidas en las estaciones analizadas que superen los límites máximos permisibles establecidos en la norma (no se dispone de límites para el paratión y el etión, y que sí han sido analizados, obteniéndose resultados no detectables, siendo esto inferiores a $0.007 \mu\text{g/l}$ en el primer caso e inferiores a $0.005 \mu\text{g/l}$ en el segundo).

6.2.11. MASub ESA-20

Los estudios de FUSADES (MARN-JICA-BIOTEC, 2006) facilitan información de coliformes fecales, algunos metales y plaguicidas en varios pozos en Cerco de Piedra, Chiquirin, El Chapernal, El Huisquil, Los Jíotes, La Chacra y Punta Jocote, todos ellos alimentados de la MASub ESA-20. En lo que respecta a las Islas que se observan en el mapa y que tienen pozo, no presentan masa de agua subterránea asignada, por lo que no son objeto del presente análisis; una breve síntesis se presenta en el apartado 5.2.12.

En la Figura 81 se presenta la ubicación de las estaciones anteriormente comentadas, y de otras disponibles a través de una serie de estudios que se exponen en los siguientes párrafos:

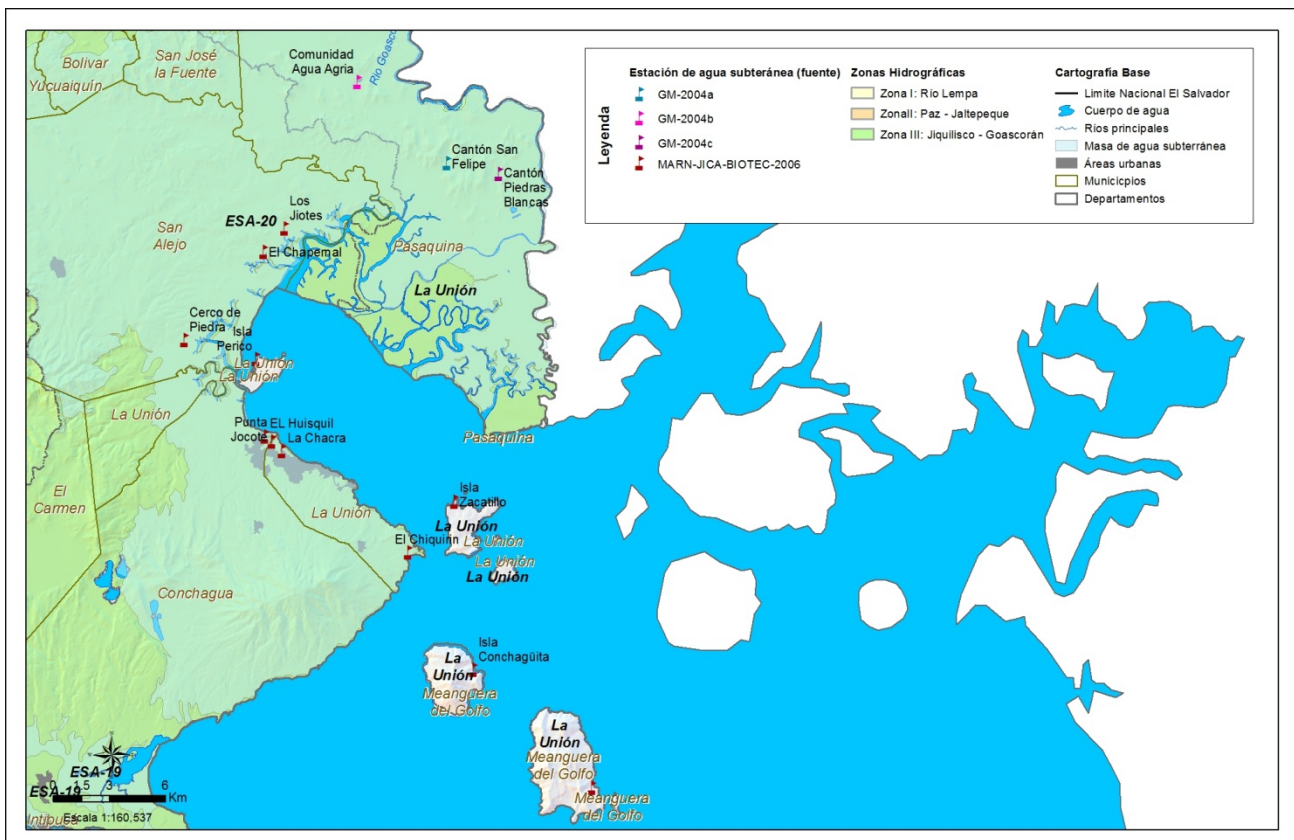


Figura 81. Pozos monitoreados ubicados sobre la MASub ESA-20. En la leyenda se indica la fuente de la que se ha obtenido la información de calidad de aguas para cada uno de ellos.

Lo más destacable es que en todos los casos se detectan concentraciones de coliformes fecales, por lo que no se recomienda el consumo de las aguas, evitando de este modo enfermedades intestinales derivados de ello. Las

mayores concentraciones se registran en El Huisquil con 5,000 NMP/100 ml y Punta Jocote con 2,400 NMP/100 ml. En el resto se mantienen por debajo de 1,000 NMP/100 ml.

En cuanto a metales, se ha observado problemas de contaminación por mercurio en Punta Jocote, en el que se alcanzan niveles de 0.01 mg Hg/l (posibles lavados mineros), aunque no se observa en ningún pozo elevadas concentraciones de arsénico, níquel y plomo. Se destaca que tampoco se han identificado valores de residuos de plaguicidas en las estaciones analizadas que superen los límites máximos permisibles establecidos en la norma (no se dispone de límites para el paratión y el etión; pero si han sido analizados, obteniéndose resultados no detectables, siendo inferiores a 0.007 $\mu\text{g/l}$ en el primer caso e inferiores a 0.005 $\mu\text{g/l}$ en el caso del etion).

Se dispone de manera adicional de información de tres pozos ubicados en el municipio de Pasaquina, en el Departamento de La Unión, en el Cantón San Felipe (GM, 2004a), en la comunidad Agua Agria (GM, 2004b), y en el Cantón Piedras Blancas (GM, 2004c).

Teniendo en consideración los límites máximos permisibles establecidos por la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, se puede concluir lo siguiente:

- En lo que respecta a la contaminación microbiana, se destaca que los tres pozos analizados presentan ciertas concentraciones de coliformes totales, que en el caso de los pozos del Cantón San Felipe y de la Comunidad Agua Agria son relativamente bajos, inferiores a 25 NMP/100 ml, y resultando negativa la presencia de coliformes fecales y *Escherichia coli*. A la vista de estos resultados, en los propios informes, se recomienda la cloración para la eliminación de las coliformes totales.
Sin embargo, el pozo del Cantón Piedras Blancas, presenta altos niveles de coliformes totales (1,600 NMP/100 ml, teniendo en cuenta que el límite máximo permisible establecido por la norma asciende a 1.1 NMP/100 ml), y se registran pequeños niveles de coliformes fecales, aunque no de *Escherichia coli*, cuyos recuentos han resultado negativos. Sería por ello interesante mantener un control de la calidad de las aguas para determinar si estas condiciones se mantienen en el tiempo en los tres pozos (en los informes se recomiendan monitoreos bacteriológicos mensuales y anuales para el control de la físico-química), caso en el que no sería recomendable el consumo humano a través del pozo del Cantón Piedras Blancas.
- En cuanto a las características físicas y organolépticas, las aguas cumplen con los requisitos para su consumo para todos los parámetros analizados (conductividad, pH, olor, color verdadero, turbidez y sólidos totales disueltos), con la excepción del pozo en Cantón Piedras Blancas, que presenta elevada turbidez (39 NTU frente al límite máximo permisible, establecido en 5 NTU), lo que concordaría con cierto olor terroso que desprendieron las aguas muestreadas.
- En materia de sustancias químicas analizadas, de nuevo las aguas presentan unas condiciones adecuadas para su consumo (calcio, cloruros, dureza, fluoruros, hierro, magnesio, manganeso, sílice, sodio y sulfatos), si bien hay altas concentraciones de hierro en el pozo del Cantón Piedras Blancas, que ascienden a 0.7 mg/l, frente a los 0.3 mg/l establecidos como límite máximo permisible, aunque en un contraanálisis realizado con posterioridad, las concentraciones resultaron inferiores al límite máximo permisible. En los otros dos pozos hay concentraciones traza de este metal por lo que se entiende que no sufren afección por este parámetro.
- Por último, en materia de químicos inorgánicos de alto riesgo para la salud, se dispone de información de los niveles de nitratos, que en los tres pozos se mantienen muy por debajo de los 45 mg NO_3/l establecidos por la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08.

6.2.12. Estaciones ubicadas fuera de MASub

Como ya se ha comentado en la introducción de este acápite, existe información de pozos que no están asociados a ninguna masa de agua subterránea, sino que se encuentran en áreas hidrogeológicamente menos interesantes. Este es el caso de los pozos del Departamento de Cabañas en el ámbito del 5 de Noviembre (CEL, 2010). Los resultados muestran elevados las coliformes fecales y totales en todos ellos, aunque los valores son más moderados a los pozos observados en el entorno de Cerrón Grande. Además, también hay presencia de aceites y grasas, y en algunas campañas elevada dureza, TDS, turbidez y carbono orgánico. En cuanto a los nitratos, nitrógeno total, hierro, magnesio, calcio, sodio y potasio, hay incumplimientos de carácter puntual. Los parámetros arsénico, cromo VI, pH, temperatura y fenoles no presentan incumplimientos.

También se dispone de información en varios pozos en Isla Conchagueta, Isla Perico, Isla Meanguera e Isla Zacatillo, en el Golfo de Fonseca (MARN-JICA-BIOTEC, 2006). Lo más destacable es que en todos los pozos se detectan concentraciones de coliformes fecales, situándose entre los 3,000 NMP/100 ml de Isla Perico y el mínimo observado en Isla Conchagueta, 70 NMP/100 ml. También se ha observado problemas de contaminación por níquel en Isla Zacatillo, que presenta niveles de 0.035 mg Ni/l; y de plomo en Isla Meanguera, cuya concentración asciende a 0.03 mg/l; además en Isla Zacatillo las concentraciones se sitúan en el mismo límite de 0.01 mg/l, por lo que es importante tenerlo también en consideración. El plomo puede estar asociado al deterioro de tuberías en presencia de aguas algo ácidas, mientras que el níquel podría estarlo a aguas residuales con detergentes.

Así como de pozos en el municipio de Metapán, en el que se observan ciertos incumplimientos de los LMP establecidos para el pH, bien por superar un poco el valor máximo (valor máximo en Que-MA-19, con 9.3 unidades), o por quedar por debajo del mínimo (valor mínimo igual a 5.2 unidades de pH en el pozo Que-MA-22). Además, también hay con frecuencia incumplimientos del LMP establecido para el hierro total, alcanzándose el máximo en Que-PE-29, con 2.8 mg/l; y con menor frecuencia se incumplen los LMP para los parámetros calcio (valores máximos en Que-PE-19, con 113 mg/l). En el municipio de Santa Rosa de Guachipilín, también se dispone de pozos sin apenas incumplimientos. Únicamente en los pozos Que-MA-22 y 23, que presentan un pH ligeramente ácido, en 5.7-5.8 unidades. Algo similar sucede en el pozo del municipio de La Palma, cuyo pH asciende a 5.2 unidades según los muestreos disponibles. Las aguas ácidas pueden tener orígenes diversos, como procesos volcánicos, lavados mineros y vertidos industriales; en estos contextos es fácil la movilización del hierro y del manganeso. El exceso de calcio puede ser debido al uso indebido de fertilizantes. En cualquier caso se recomienda la realización de estudios específicos de detalle.

6.3. PRINCIPALES CAUSAS Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN LAS MASAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

6.3.1. Metodología

De igual forma que en el acápite de presiones sobre masas de agua superficiales, se ha tratado de identificar las presiones existentes a partir de las fuentes de información disponibles. Con la información de que se dispone resulta difícil determinar las presiones que son significativas, es decir, aquellas que pueden causar el incumplimiento de los objetivos medioambientales.

Para la determinación de presiones significativas es necesario disponer de criterios y valores umbral que permitan valorar *a priori* si una presión es o no significativa; esto requiere en algunos casos de estudios específicos para dicha determinación, no siendo suficientes los estudios generalistas realizados para el diagnóstico general de la calidad de las aguas.

En los siguientes acápitales se presenta la información sobre el tipo de las presiones antropogénicas relacionados con la contaminación de las aguas subterráneas, en especial:

- Estimación e identificación de la contaminación de fuente puntual, producida por sustancias procedentes de instalaciones y actividades urbanas, industriales, agrarias y de otro tipo. Para ello se ha partida de información bibliográfica y de los trabajos de Inventario de Vertidos en Zonas Prioritarias.
- Estimación e identificación de la contaminación de fuente difusa, producida especialmente por sustancias procedentes de instalaciones y actividades urbanas, industriales, agrarias y de otro tipo.
- Estimación e identificación de otros tipos de incidencia antropogénica sobre aguas subterráneas.

6.3.2. Contaminación originada por fuentes puntuales

Como se ha puesto de manifiesto con anterioridad, hay un bajo índice de cobertura de alcantarillado sanitario en el país y el tratamiento de las aguas residuales urbanas e industriales es prácticamente inexistente antes de su vertido a las aguas superficiales y al terreno, lo que acaba contaminando seriamente las aguas superficiales y subterráneas. En el caso específico de las aguas subterráneas, la afección de la calidad de las mismas se debe a vertidos que se realizan a terreno, principalmente vía letrinas y fosas sépticas sin impermeabilización y sin tratamiento previo al vertido. También se debe a vertidos realizados en superficie sobre los suelos y quebradas secas aledaños a la fuente productora de las aguas residuales. En todos los casos, las aguas contaminadas acaban filtrándose en el terreno, y percolando a los acuíferos. Este hecho puede ser mucho más impactante en las zonas de recarga de los acuíferos, en las que el nivel freático se sitúa más alto, y los materiales del suelo son más porosos, favoreciendo una contaminación más rápida de las aguas.

Así por ejemplo se recoge en la Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental (MARN, 2013d) donde se dice: *Cuando ocurren inundaciones, se genera un problema muy serio de salubridad y saneamiento en las zonas de inundación. Los pozos de agua se contaminan por las letrinas, por el arrastre de aguas contaminadas con agroquímicos y proliferan las enfermedades y las plagas de roedores. Los desechos almacenados en las letrinas se movilizaron y contaminaron las aguas.*

O también en la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (MARN, 2013b) *Una situación preocupante es el avance de la urbanización sobre zonas de recarga acuífera. Las principales ciudades del país se ubican en unidades acuíferas de alta producción. La urbanización limita la infiltración, pero además puede propiciar la contaminación de los mismos.*

A continuación se identifican las principales presiones de tipo puntual comentadas.

6.3.2.1. Vertidos realizados ordinarios y especiales

En base a la información disponible y la recopilada en campo se han podido identificar vertidos con destino al subsuelo, o a terreno, tanto de carácter ordinario como especial, que por infiltración a través del suelo, pueden generar un deterioro en el recurso de agua subterráneo, cuyo principal uso es el abastecimiento para consumo humano.

En los Planos del Anexo III (Apéndice III.2), puede verse la ubicación de estos vertidos, y en el Apéndice III.4 del mismo anexo se adjuntan tablas con la información relativa a los mismos.

Las masas de agua que pueden verse afectadas por esta presión de carácter puntual son las siguientes:



- MASub ESA-01: se han identificado dos vertidos de carácter ordinario, de los cuales se desconoce si reciben algún tipo de tratamiento previo y si se realizan a terreno o a cauce. Se localizan en el municipio de San Francisco Menéndez (departamento de Ahuachapán).
- MASub ESA-02: en esta masa se han identificado 12 vertidos en los municipios de Acajutla, Nahuilingo y Nahuizalco, en el departamento de Sonsonate. De estos vertidos, uno es de carácter ordinario, con tratamiento y 12 de tipo especial, de los cuales únicamente uno cuenta con tratamiento previo, 8 carecen de él y 3 se desconoce si pasan por algún tipo de proceso depurativo.
- MASub ESA-03: los vertidos inventariados que pueden generar contaminación en esta masa de agua, son 15, localizados en su mayoría en el municipio de Santa Ana. De estos vertidos, 4 son de tipo ordinario, mientras que 11 son tipo especial. Únicamente 4 vertidos reciben tratamiento, mientras del resto, 3 no cuentan con ningún proceso de depuración y de 8 no se dispone la información al respecto.
- MASub ESA-04: sobre esta masa de agua únicamente se ha encontrado una descarga, localizada en el municipio de Olocuilta perteneciente al departamento de La Paz. Se trata de un vertido ordinario, que cuenta con tratamiento previo.
- MASub ESA-06: se trata de una de las masas de agua de gran extensión y se localiza bajo dos de los departamentos de mayor densidad poblacional (La Libertad y San Salvador) y por ende donde se realizan gran parte de las actividades de origen antropogénico. Se han localizado un total de 108 vertidos, de los cuales 57 son ordinarios y 51 son de carácter especial. Algo más de la mitad reciben algún tipo de tratamiento, mientras que del resto, 20 no cuentan con tratamiento y 32 carecen de la información al respecto.
- MASub ESA-07: el número de vertidos identificados sobre esta de agua es de 12, originados en el departamento de La Paz, principalmente en los municipios de San Luis Talpa y Zacatecoluca. De estos vertidos, 10 son de carácter ordinario (de los cuales 6 reciben tratamiento, 2 no se depuran, y otros dos carecen de información al respecto) y únicamente 2 de tipo especial (ambos con tratamiento).
- MASub ESA-12: se han inventariado 11 vertidos originados en los departamentos de San Miguel (municipios de San Miguel, y en menor medida Quelepa) y Usulután (municipios de San Dionisio, Jiquilisco, Puerto El Triunfo y Usulután). De estos vertidos, 3 son de tipo ordinario y 8 de tipo especial. En relación al tratamiento, únicamente se realiza en dos casos, en otros 3 no se lleva a cabo, mientras que del resto se desconoce si pasan por algún tipo de sistema de depuración.
- MASub ESA-15: sobre esta masa de agua se han localizado 3 vertidos, en el municipio de San Miguel, todos de tipo especial. Dos de ellos cuentan con tratamiento previo, mientras que el otro carece del mismo.
- MASub ESA-20: en este caso, se han identificado 5 vertidos, localizados en su mayoría en el municipio de La Unión. De estos vertidos, 3 son de tipo ordinario y 2 de tipo especial. En relación al tratamiento, éste se realiza en dos de las descargas, mientras que uno no lo recibe y del resto no se cuenta con información suficiente.

6.3.3. Contaminación originada por fuentes difusas

Las fuentes difusas pueden producir afecciones sobre las aguas superficiales y subterráneas; en el caso concreto de las aguas subterráneas, por percolación desde la superficie a los acuíferos.

Del mismo modo que en las aguas superficiales, los botaderos incontrolados de desechos sólidos en las proximidades de los cursos de agua, acaban provocando grandes problemas de calidad de aguas y salud pública, principalmente por los lixiviados que acaban contaminando los suelos, las aguas superficiales y las subterráneas.

También la actividad agropecuaria puede producir afecciones sobre las aguas subterráneas, como de hecho ha podido comprobarse en el territorio salvadoreño. El uso en exceso de los fitosanitarios y a la vista de los datos disponibles, sobre todo de los abonos, está suponiendo un incremento de ciertas sales en los acuíferos, y por tanto también en los suelos. También las explotaciones ganaderas por los motivos anteriormente comentados, debido a la generación de vertidos a terreno, ya sean directos o vía fosas sin depuración ni impermeabilización, lo que fomenta la infiltración de los contaminantes en el suelo, pudiendo llegar en mayor o menor medida a las masas subterráneas, sobre todo en terrenos permeables.

Así por ejemplo se recoge en la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (MARN, 2013b) *en la zona costera, los acuíferos son muy superficiales y altamente vulnerables a la contaminación por la agricultura, nutrientes y agroquímicos, como por los desechos domésticos y la basura.*

Por último, los usos mineros pueden por lo general suponer un importante impacto sobre las aguas subterráneas, con lo que en caso de producirse, se habrá producido también un importante impacto en los suelos y las aguas superficiales. En la actualidad, la minería informal y los pasivos ambientales pueden ser los dos focos contaminantes asociados a esta industria, ya que oficialmente la actividad está en proceso de latencia.

6.3.3.1. Botaderos, rellenos sanitarios y suelos contaminados

La presencia de botaderos y rellenos sanitarios pueden producir lixiviados en los procesos de descomposición de la materia orgánica presente y por acción de las lluvias, los cuales se infiltran a través del suelo, llegando a contaminar las masas de agua subterránea. En cuanto a los suelos contaminados, existe el mismo riesgo de movilización de los contaminantes por efecto de las lluvias.

En los Planos del Anexo III (Apéndice III.2), se puede observar la ubicación de estas fuentes de contaminación.

Las masas de agua subterránea susceptibles de sufrir una contaminación de sus aguas debido a la presencia de botaderos, rellenos sanitarios y suelos contaminados, se describen a continuación:

- MASub ESA-01: Próximo a esta masa de agua se encuentra el relleno sanitario Municipal de San Francisco Menéndez, en el cantón de El Jocotillo y el cual comenzó su operación en agosto de 2003.
- MASub ESA-02: se presenta en la Tabla 51 los botaderos donde se indican las características de estas fuentes de contaminación difusa.

Tabla 51: Inventario de botaderos identificados en la masa de agua MASub ESA-02. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009).

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	CUISNAHUAT	Sonsonate	422135	303134	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
BOTADERO IZALCO	IZALCO	Sonsonate	435586	291450	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
LA MAJADA	JUAYUA	Sonsonate	422135	303134	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006



Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
BOTADERO IZALCO	SAN JULIAN	Sonsonate	435586	291450	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006

Además próximo a esta masa de agua se localiza el relleno sanitario de la Región Metropolitana de Sonsonate, el cual se puso en funcionamiento en junio de 2011.

- ESA-03: se presenta en la Tabla 52 los botaderos donde se indican las características de estas fuentes de contaminación difusa.

Tabla 52: Inventario de botaderos identificados en la masa de agua MASub ESA-03. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009).

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	AHUACHAPAN	Ahuachapán	408081	311152	II-Paz-Jaltepeque	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	APANECA	Ahuachapán	413550	305707	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	COATEPEQUE	Santa Ana	445069	312804	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	CONCEPCION DE ATACO	Ahuachapán	408308	304977	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CANTON EL ROSARIO	EL PORVENIR	Santa Ana	432336	322649	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	EL REFUGIO	Ahuachapán	423099	318689	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SALCOATITAN	Ahuachapán	413550	305707	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	TACUBA	Ahuachapán	397511	310626	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	TURIN	Ahuachapán	416244	314490	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006

Además próximo a esta masa de agua se localiza el relleno sanitario del municipio de Atiquizaya, el cual se puso en funcionamiento en el año 2002.

- MASub ESA-04: sobre esta masa de agua, extremo más occidental, se sitúa el relleno sanitario del municipio de San Antonio (cantón Melara), el cual entró en funcionamiento en el agosto de 2009.
- MASub ESA-05: puede verse afectada por la presencia del relleno sanitario del municipio de Santa Ana, en el cantón de Cujuyo, el cual se encuentra en fase de construcción.
- MASub ESA-06: se presenta en la Tabla 53 los botaderos donde se indican las características de estas fuentes de contaminación difusa.

Tabla 53: Inventario de botaderos identificados en la masa de agua MASub ESA-06. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009) y (Biotec, 2010).

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	AGUILARES	San Salvador	477648	314985	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006



Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	ARMENIA	Sonsonate	440596	295268	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
ZANJON EL MANZANO	COLON	La Libertad	458116	287298	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
ZANJON EL MANZANO	COMASAGUA	La Libertad	458116	287298	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	EL PARAISO	Chalatenango	492191	330927	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	JAYAQUE	La Libertad	458116	287298	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	MONTE SAN JUAN	Cuscatlán	505413	292534	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
EL MOSQUITO	NUEVA CONCEPCION	Chalatenango	469226	326988	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
ZANJON EL MANZANO	SACACOYO	La Libertad	458116	287298	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN BARTOLOME PERULAPIA	Cuscatlán	495197	293657	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN PABLO TACACHICO	La Libertad	469035	316966	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN PEDRO PERULAPAN	Cuscatlán	496635	293214	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SANTA CRUZ MICHAPA	Cuscatlán	501925	291158	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SANTO TOMAS	San Salvador	485543	282021	II-Paz-Jaltepeque	Cerrado	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	TALNIQUE	La Libertad	455771	282873	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
ZANJON EL MANZANO	TEPECOYO	La Libertad	458116	287298	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	TONACATEPEQUE	San Salvador	486038	294992	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		299112	479414	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		297201	479740	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		297127	479859	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SAN SALVADOR		287527	480847	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CIUDAD DELGADO		291132	481377	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CUSCATANCINGO		290141	481499	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CUSCATANCINGO		290203	481495	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		297800	479850	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SAN SALVADOR		288220	481107	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CIUDAD DELGADO		288243	481160	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SAN SALVADOR		288835	480422	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO	MEJICANOS		288878	480394	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010



Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
ABIERTO							
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CUSCATANCINGO		289008	480320	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		289129	480090	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		289108	479818	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	AYUTUXTEPEQUE		293021	479761	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		296089	480459	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		289226	476207	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	AYTUXTEPEQUE		290662	478654	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		289168	478912	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		288777	480076	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		288745	480208	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	MEJICANOS		289139	480057	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO DE RIPIO	AYUTUXTEPEQUE		292992	479347	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		297729	479873	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		297746	479876	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		297653	478875	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CIUDAD DELGADO		288376	481252	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CUSCATANCINGO		295831	480670	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	CUSCATANCINGO		295739	480673	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SOYAPANGO		286060	486057	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SOYAPANGO		289268	487011	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	ILOPANGO		287755	487333	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	ILOPANGO		288836	488547	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	TONACATEPEQUE		288870	488591	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	TONACATEPEQUE		288978	488539	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO DE TEXTILES Y OTROS	SOYAPANGO		286711	485404	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SOYAPANGO		286482	485981	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
BOTADERO A CIELO ABIERTO	SOYAPANGO		288425	487357	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	APOPA		301540	479932	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO DE TEXILES	APOPA		299068	481774	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010
BOTADERO A CIELO ABIERTO	ILOPANGO		287363	489575	I-Lempa	Sin datos	Biotec-2010

Además esta masa de agua puede verse afectada por la existencia de tres rellenos sanitarios: MIDES, en el municipio de Nejapa; del municipio de Suchitoto y del municipio de Tejutla.

Asimismo, se ha localizado un sitio crítico con fuerte contaminación del suelo:

Cantón Sitio del Niño (San Juan Opico): contaminación por plomo procedente de la Planta de fabricación y reciclaje de baterías de Ácido Plomo Usadas (BAPU) de la Sociedad Baterías de El Salvador, S. A. de C. V (MARN, 2012j).

En Agosto del 2010 se proclamó el Estado de Emergencia Actual después de determinar altos niveles de contaminación por plomo en suelo y agua, el cual ha sido prorrogado sucesivamente hasta la actualidad.

El MARN ha realizado importantes esfuerzos, en tratar de reducir el daño provocado por esta contaminación, habiendo sido necesario recurrir a la asistencia técnica internacional y desarrollar una estrategia de intervención más compleja.

- MASub ESA-07: se presenta en la Tabla 54 los botaderos donde se indican las características de estas fuentes de contaminación difusa.

Tabla 54: Inventario de botaderos identificados en la masa de agua MASub ESA-07. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009)

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
CIELO ABIERTO	SAN JUAN NONUALCO	La Paz	509248	263232	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
LOS LIMARES	SAN LUIS LA HERRADURA	La Paz	505688	256602	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN RAFAEL OBRAJUELO	La Paz	505688	256602	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SANTIAGO NONUALCO	La Paz	505688	256602	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
CIELO ABIERTO	TECOLUCA	San Vicente	521567	264120	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006
LA LLANTA	ZACATECOLUCA	La Paz	504723	262803	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006

Asimismo, se ha localizado un sitio crítico con fuerte contaminación del suelo, tal y como se indica en la Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental (MARN, 2013d):



En la explanta formuladora Química Agrícola Internacional, S.A. de C.V (QUIMAGRO), ubicada en Km. 40.5, carretera del Litoral, jurisdicción de San Luis Talpa, se encuentran casi 20 toneladas de plaguicidas altamente tóxicos por contacto –Toxafeno, Etil paration y Metil paration, en donde ya se está realizando una evaluación de la calidad del agua de los pozos artesanales y de suelos de la zona, y se procederá a la destrucción de los tóxicos.

- MASub ESA-09: se presenta en la Tabla 55 los botaderos donde se indican las características de estas fuentes de contaminación difusa.

Tabla 55: Inventario de botaderos identificados en la masa de agua MASub ESA-09. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009)

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
CIELO ABIERTO	GUADALUPE	San Vicente	520366	280427	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN CAYETANO ISTEPEQUE	San Vicente	520366	280427	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
CIELO ABIERTO	TEPETITAN	San Vicente	516567	279190	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
EL BORBOLLON	VERAPAZ	San Vicente	513343	280596	II-Paz-Jaltepeque	Abierto	MARN_BID_2006

- MASub ESA-11: se presenta en la Tabla 56 los botaderos donde se indican las características de estas fuentes de contaminación difusa.

Tabla 56: Inventario de botaderos identificados en la masa de agua MASub ESA-11. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009)

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
RANCHO QUEMADO	EL CARMEN	Cabañas	523786	298950	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	GUACOTECTI	Cabañas	523010	298640	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN ISIDRO	Cabañas	523010	298640	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN LORENZO	San Vicente	520895	287331	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
RANCHO QUEMADO	SAN RAFAEL CEDROS	Cabañas	523010	298640	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CAMINO MACHACAL	SAN SEBASTIAN	San Vicente	518853	289343	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
AGUACAYO	SAN SEBASTIAN	San Vicente	518949	289543	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SENSUNTEPEQUE	Cabañas	523010	298640	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006

- MASub ESA-12: se presenta en la Tabla 57 los botaderos donde se indican las características de estas fuentes de contaminación difusa.

Tabla 57: Inventario de botaderos identificados en la masa de agua MASub ESA-12. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009)

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
CIELO ABIERTO	ALEGRIA	Usulután	555726	265548	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	BERLIN	Usulután	552008	264703	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	CALIFORNIA	Usulután	558213	257267	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
LA CRUCITA	CHAPELTIQUE	San Miguel	578741	279792	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
EL LIMONCILLO	CHINAMECA	San Miguel	569282	265950	I-Lempa	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	DOLORES	Cabañas	544147	294756	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	EL TRANSITO	Usulután	570234	247939	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	EL TRIUNFO	Usulután	560963	270866	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	ESTANZUELAS	Usulután	560963	270866	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	JUCUAPA	Usulután	566093	266912	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
EL CALVARIO	LOLOTIQUE	San Miguel	569640	270660	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
BARRIO EL CENTRO	LOLOTIQUE	San Miguel	570111	270730	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	MERCEDES UMANA	Usulután	556141	270587	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	MONCAGUA	San Miguel	580295	269823	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
A CIELO ABIERTO	NUEVA GUADALUPE	San Miguel	569705	267882	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	NUEVO EDEN DE SAN JUAN	San Miguel	555456	300444	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	NUEVO EDEN DE SAN JUAN	San Miguel	555763	300249	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
BOTADERO	OZATLAN	Usulután	553421	251962	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN BUENAVENTURA	Usulután	566093	266912	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN ILDEFONSO	Usulután	547918	268524	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN JORGE	San Miguel	571067	254551	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
CLANDESTINO	SAN RAFAEL ORIENTE	San Miguel	569687	250977	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
QUEBRADA EL ZAPOTE	SANTA ELENA	Usulután	564147	250959	III-Jiquilisco-Goascorán	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SANTIAGO DE MARIA	Usulután	555809	261216	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006

En esta masa se sitúan dos rellenos sanitarios: el correspondiente a los municipios de Usulután, Puerto El Triunfo, Concepción Batres y Ereguayqui, situado en el cantón el Trillo (Usulután) y el de la ciudad de San Miguel, en el cantón Las Delicias. Estos rellenos entraron en operación diciembre de 2003 y diciembre de 2007, respectivamente.

- MASub ESA-13: se presenta en la Tabla 58 los botaderos donde se indican las características de estas fuentes de contaminación difusa.

Tabla 58: Inventario de botaderos identificados en la masa de agua MASub ESA-13. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009)

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
EL CORRALON	CAROLINA	San Miguel	573816	303347	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006

- ESA-15: esta masa de agua puede presentar afección por la presencia de un suelo contaminado por toxafeno en el municipio de San Miguel, debido al abandono de numerosos barriles en las instalaciones de una la exfábrica formuladora de plaguicidas.
- ESA-17: se presenta en la Tabla 59 los botaderos donde se indican las características de estas fuentes de contaminación difusa.

Tabla 59: Inventario de botaderos identificados en la masa de agua ESA-17. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009)

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	DELICIAS DE CONCEPCION	Morazán	592229	300095	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	OSICALA	Morazán	592229	300095	I-Lempa	Abierto	MARN_BID_2006

Se conoce la existencia de un relleno sanitario en el cantón La Joya, que acopia los desechos sólidos de los municipios de Meanguera y Jocoatique (departamento de Morazán). Este relleno inició su actividad en noviembre de 2003.

- MASub ESA-18: sobre esta masa de agua se sitúa el relleno sanitario del municipio de Perquín (Morazán), en el cantón Casa Blanca, que se puso en funcionamiento en el año 2002. Ocupa una extensión de 3.5 Ha.
- MASub ESA-20: se presenta en la Tabla 60 los botaderos donde se indican las características de estas fuentes de contaminación difusa.

Tabla 60: Inventario de botaderos identificados en la masa de agua MASub ESA-20. Se especifica si el botadero está en operación (abierto) o si ya ha sido clausurado. Fuente: (MARN-BID, 2009)

Botadero	Municipio	Departamento	x	y	Zona Hidrográfica	Estado	Fuente
MUNICIPAL	CONCHAGUA	La Unión	620161	234735	III-Jiquilisco-Goascorán	Cerrado	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	LA UNION	La Unión	627873	244148	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
PASAQUINA	PASAQUINA	La Unión	624146	263387	III-Jiquilisco-Goascorán	Abierto	MARN_BID_2006
MUNICIPAL	SAN ALEJO	La Unión	613199	256695	III-Jiquilisco-Goascorán	Cerrado	MARN_BID_2006

Asimismo, se ha localizado un sitio crítico con fuerte contaminación del suelo, tal y como se indica en la Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental (MARN, 2013d):

...en la mina San Sebastián, localizada en el caserío El Comercio, Cantón San Sebastián, de la jurisdicción de Santa Rosa de Lima, del departamento de La Unión, que fue abandonada después de ser explotada para la extracción de oro y plata. En mayo de 2012, se identificaron los puntos de descarga de aguas procedentes del interior de túneles de la mina, y se procedió a la medición de parámetros de calidad en la corriente de agua procedente del afloramiento antes mencionado, la cual descarga al río San Sebastián a unos 500 metros del sitio, encontrándose un drenaje ácido (pH menor de 3) y contaminación por cianuros.

- ESA-21: el relleno sanitario de la Ciudad de Corinto (Morazán), se sitúa sobre parte de esta masa de agua. Ocupa una extensión de 3.9 Ha y se desconoce cuándo comenzó a funcionar.

6.3.3.2. Usos del suelo (actividad agrícola)

Como se ha comentado, la actividad agrícola se desarrolla principalmente en torno al cultivo de granos básicos, caña de azúcar y café.

Las masas que presentan una mayor presión por esta actividad, son la MASub ESA-02 (departamento de Sonsonate), MASub ESA-03 (Ahuachapán y Santa Ana), MASub ESA-06 (Santa Ana, La Libertad, San Salvador y Cuscatlán), MASub ESA07 (La Paz) y MASub ESA-12 (Usulután) y MASub ESA-15 (San miguel, sobre las que se observa una gran extensión de cultivo de café, seguido de caña de azúcar, granos básicos y cultivos anuales asociados con cultivos permanentes.

En los los Planos del Anexo III (Apéndice III.2), que se adjuntan al presente documento se visualiza la distribución de los diferentes cultivos de regadío y se de secano, de acuerdo a la Tabla 61. En dichos planos se ha representado el porcentaje de ocupación del suelo, de estos cultivos, por municipio y en cada masa de agua subterránea. En los casos en que un municipio forma parte de dos o más masas de agua subterránea, se le ha asignado un valor porcentual, en proporción al área comprendida dentro de cada masa.

Tabla 61: Agrupación de cultivos por regadío o secano. Fuente: Elaboración propia.

Ocupación del suelos	Clasificación
Árboles Frutales	Regadío
Caña de Azúcar	Regadío
Cultivos Anuales Asociados con Cultivos Permanentes	Regadío
Hortalizas	Regadío
Mosaico de Cultivos y Pastos	Regadío
Otros Cultivos Irrigados	Regadío
Pastos Cultivados	Regadío
Café	Secano
Cultivo de Piña	Secano



Ocupación del suelos	Clasificación
Cultivos Permanentes Herbáceos	Secano
Granos Básicos	Secano
Palmeras Oleíferas	Secano
Plataneras y Bananeras	Secano
Terrenos principalmente agrícola, pero con importante espacios de vegetación natural	Secano

Algunos de los posibles efectos que está actividad puede producir sobre las aguas subterráneas son los que se recogen en la Tabla 62.

Tabla 62: Posibles efectos de actividad agrícola sobre las aguas subterráneas. Fuente: Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55) y 1997 (FAO, 1997).

Actividad agrícola	Efectos
	Aguas subterráneas
Aplicación de fertilizantes	Lixiviación del nitrato hacia las aguas subterráneas; los niveles excesivos representan una amenaza para la salud pública.
Aplicación de estiércol	Contaminación de las aguas subterráneas, especialmente por el nitrógeno.
Plaguicidas	Algunos plaguicidas pueden lixiviarse en las aguas subterráneas, provocando problemas para la salud humana a través de los pozos contaminados.
Riego	Enriquecimiento del agua subterránea con sales, nutrientes (especialmente nitrato).
Talas	Perturbación del régimen hidrológico, muchas veces con incremento de la escorrentía superficial y disminución de la alimentación de los acuíferos; influye negativamente en el agua superficial, ya que reduce el caudal durante los períodos secos y concentra los nutrientes y contaminantes en el agua superficial.

6.3.3.3. Explotación ganadera

Tal y como se ha comentado en superficiales, se ha determinado el número de cabezas de ganado por municipio, para los tres tipos de mayor relevancia en el país: avícola, bovino y porcino. A partir de esta información se ha podido determinar la densidad de las cabezas de ganado, agrupadas como una única unidad ganadera, que recae sobre cada acuífero, de las masas de agua subterránea.

En los Planos del Anexo III (Apéndice III.2), puede verse la representación de la distribución de densidad de la unidad ganadera comentada. En el Apéndice III.6 del citado anexo se pueden consultar las cabezas de ganado por masa de agua y acuífero.

En cuanto a la actividad ganadera de tipo avícola, ésta predomina sobre la masa de agua subterránea MASub ESA-06.

En el caso de del ganado bovino, se podría generar cierta afección sobre las masas MASub ESA-02, ESA-06, ESA-07, ESA-12 y ESA-15.

Por último el ganado porcino se encuentra en su mayoría sobre las masas de agua MASub ESA-06 y en menor medida sobre la ESA-02.

6.3.3.4. Zonas mineras

Al igual que se ha comentado relativo a la presión por minería en las aguas superficiales, las zonas mineras, así como los distritos mineros existentes en el país, pueden suponer una importante afección al recurso hídrico subterráneo por infiltración a través del terreno de contaminantes derivados de los procesos de exploración y explotación que se realizaron en el pasado, o que continúan en el presente de acuerdo a prácticas ilegales.

Las zonas de interés minero contenidas en la Capa de Usos del Suelo aportada por el MARN en el año 2013 localizadas sobre o próximas a las masas de agua subterránea de acuerdo a la información aportada por el MARN, son las nombradas a continuación:

- Zonas de interés minero o distritos mineros: Metapán, Chalatenango, El Paisnal, Jutiapa, San Isidro, Yamabal-El Hormiguero, Chapeltique-Sesori, Jocoro y Santa Rosa de Lima.

Las masas de agua subterráneas que pueden verse afectadas por dichas actividades se describen a continuación. En los Planos del Anexo III (Apéndice III.2) puede verse la ubicación espacial de la masa respecto a las zonas mencionadas.

- MASub ESA-06: ubicada en su mayoría bajo los departamentos de La Libertad, San Salvador y Cuscatlán. Esta masa podría presentar afección por la presencia de las zonas de interés minero como “El Paisnal” (minerales de hierro, cobre, plomo, zinc y plata) y “Jutiapa” (mineral de cobre).
- MASub ESA-08: esta masa de agua se encuentra en el noroeste del país, en el departamento de Santa Ana. En esta zona se localizan uno de los yacimientos más importantes conocidos del país para la explotación de los metales preciosos plata y oro, y otros de interés industrial como hierro, cobre, plomo y Zinc. Las zonas de interés minero que podrían deteriorar la masa de agua son las de Metapán, así como las actividades que se desarrollan en la zona del Trifinio. De acuerdo a los resultados de calidad de agua disponibles (Medina, 2009), se observa la presencia concentraciones de hierro que superan el límite máximo permisible para consumo humano (CONACYT NSO: 13.07:08), así como una acidificación de las aguas, lo cual podría estar relacionado con el lavado minero.
- MASub ESA-11: parte de esta masa de agua se localiza en el departamento de Cabañas bajo el distrito minero de San Isidro (minerales de oro y plata).
- MASub ESA-12: esta masa de agua de gran extensión, se encuentra bajo la totalidad del departamento de Usulután y parte de San Miguel. En la zona norte de la misma, se sitúan los distritos mineros de Chapeltique-Sesori y Minitas, ambos de interés por la presencia de yacimientos de oro y plata.

- MASub ESA-16: puede presentar contaminantes provenientes de los distritos mineros de Jocoro, Santa Rosa de Lima y Yamabal-El Hormiguero, en los cuales existen yacimientos de oro y plata.
- MASub ESA-20: se ubica en el departamento de la Unión. Los distritos mineros que pueden ejercer una cierta presión sobre esta masa de agua son los ya mencionados en la masa ESA-16, Yamabal-El Hormiguero y Santa Rosa de Lima.

6.3.4. Otras presiones

Se pueden identificar otros tipos de presiones en aguas subterráneas, resultantes de la actividad humana de difícil tipificación y que no pueden englobarse en las presiones anteriormente citadas, como las causadas por la intrusión salina.

La presión por intrusión marina en las MASub limítrofes a la costa, se produce como resultado de una alteración antrópica; reducción del flujo o una alteración de la dirección del flujo debido a una explotación intensa de las aguas subterráneas. En general, el incremento de las extracciones de agua comporta una disminución del volumen de descargas subterráneas al mar, por lo tanto se puede considerar que la presión por extracción de agua está relacionada directamente con los problemas de intrusión.

Tal y como se muestra en el apartado 5.2. Delimitación de la cuña salina, no existe suficiente información para valorar el impacto de la presión por intrusión marina en las masas de agua subterránea.

Pese a que se desconocen los volúmenes de extracción de las fuentes de agua subterránea (pozos y manantiales) y su estado actual de explotación (En servicio o fuera de servicio), en base a la información disponible de puntos de extracción de agua, se puede estimar donde es más probable que exista presión por extracción, y por ende en aquellas MASub costeras, riesgo de intrusión marina. En la Figura 82, se muestran puntos de extracción de agua obtenidos de:

- La red automática de monitoreo piezométrico en el entorno del AMSS y de Zapotitán (12 captaciones).
- La red de pozos excavados del MARN (143 captaciones).
- Capas shape de puntos del MARN y del mapa hidrogeológico de El Salvador (ANDA-COSUDE, 2008), bastante parejos entre sí, proporcionan información sobre unas 880 captaciones.
- La bibliografía tal como el Plan Maestro (MAG-PNUD, 1982) y los diversos estudios hidrogeológicos disponibles, así como los informes de sondeos incluidos en SIA (UE-MARN, Sistema de información ambiental (SIA), 2007) o facilitados por ANDA, unas 470 captaciones adicionales.
- El Plan Maestro (MAG-PNUD, 1982) y el mapa hidrogeológico de El Salvador (ANDA-COSUDE, 2008) que han permitido recopilar información sobre unos 700 manantiales.

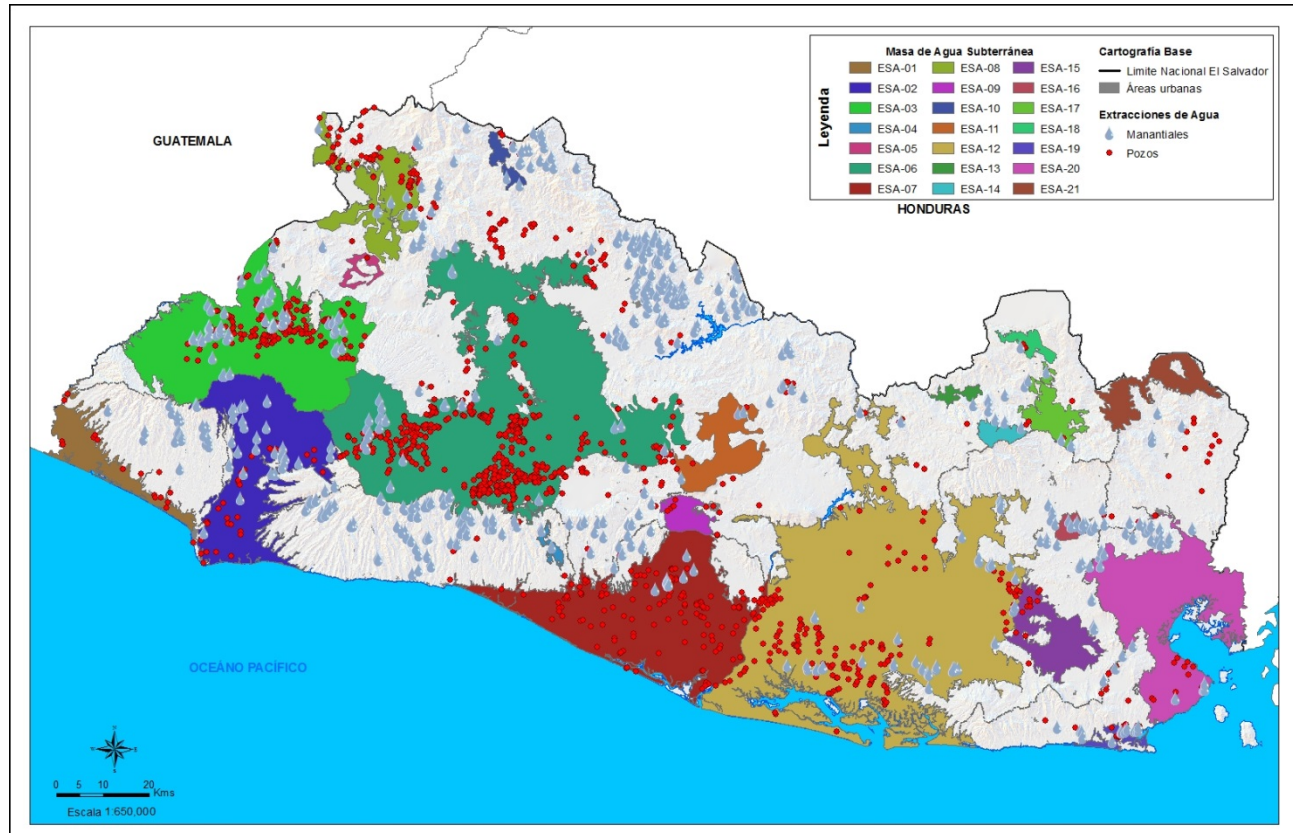


Figura 82. Pozos y Manantiales en El Salvador (Diversas fuentes).

A razón de lo anteriormente comentado, las masas de agua costeras con mayor número de extracciones (pozos y manantiales) son las ESA-12 en la zona de la Bahía de Jiquilisco, ESA-07 en la zona del Estero de Jaltepeque, ESA-02 por la zona de Sonsonate y ESA-01 en la zona de Ahuachapán, así pues es probable que estas masas sean las que tengan mayor presión por intrusión marina, pero sin datos de volúmenes de extracción actualizados y niveles piezométricos resulta complicado por el momento hacer una valoración.

6.4. VERIFICACIÓN DE LOS EFECTOS NEGATIVOS GENERADOS POR LAS PRINCIPALES CAUSAS DE CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

6.4.1. MASub ESA-01

En lo que respecta a la contaminación microbiana se ha observado en todos los casos estudiados una contaminación positiva, que parece haber empeorado desde 1999 hasta el 2004. En los pozos de San Francisco Menéndez las concentraciones de coliformes totales oscilan entre 9,000 y 33 NMP/100 ml, mientras los coliformes fecales rondan los 800-900 NMP/100 ml en todos los casos; además hay presencia generalizada de *Escherichia coli*, con lo que hay una evidente contaminación de origen doméstico y probablemente por ganado desde las mismas poblaciones. En Acajutla las concentraciones de coliformes rondan los 2,000 NMP/100 ml, por lo que también hay

contaminación positiva. Con ello, las aguas del sur del Departamento de Ahuachapán se encuentran altamente contaminadas bacteriológicamente, por lo que su uso está restringido a actividades que sean poco exigentes en materia de calidad de agua; de hecho pone de manifiesto que la contaminación debe proceder de la infiltración de aguas negras cargadas por heces fecales de origen humano y de animales de sangre caliente, con lo que de destinarse estas aguas al consumo humano deben ser sometidas previamente a un proceso de desinfección.

En cuanto a las condiciones físicas y organolépticas analizadas, se han observado incumplimientos de la norma de aguas potables materia de turbidez y sales como sodio, calcio, potasio y magnesio. Los más destacables se han observado en la Colonia ISTA en el que además de altos niveles de calcio, también presenta un importante exceso de cloruros (715 mg/l), de magnesio (163 mg/l), de sodio (360 mg/l) y una elevada dureza (802 mg/l). El aumento conjunto en calcio, magnesio y cloruro parece un claro indicio de influencia de aguas marinas.

Por otra parte, los pozos El Palmar de la Hacienda La Danta y en el Zanjón El Aguacate, presentan muy elevadas concentraciones de TDS y conductividad: en El Palmar se registran 39,300 mg/l de TDS y 80,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras en Aguacate ascienden respectivamente a 14,800 mg/l y 29,800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores muestran un alto riesgo de intrusión salina. De hecho también presentan altos valores de dureza, calcio, cloruros, magnesio, potasio, sodio y sulfatos, por lo que las aguas no presentan características propias de aguas dulces, si no entre salobres y salinas. Es por ello que en el informe se recomienda *“evitar la explotación del acuífero profundo (a profundidades mayores a los -1.5 m) en la zona delimitada por el Canal Seco, sur de Hacienda La Danta y Comunidades Las Salinas y El Chino ya que la probabilidad de encontrar la masa de agua salada es mayor en esta zona.”*

Bola del Monte podría estar presentando unas condiciones entre dulces y salobres, de modo que aunque más moderadas, siguen siendo concentraciones elevadas para su uso potable, lo que podrían estar indicando también cierta presencia de agua salada.

Por último, ninguno de los pozos presenta exceso de nitratos. Aun así, sí hay cierta presencia de este compuesto debido probablemente a las aguas residuales en zonas de mayor densidad poblacional, por lo que según se indica en el informe, *“será necesario establecer medidas de control de estas aguas en esas zonas para evitar el aumento a futuro de las concentraciones de nitratos que puedan provocar riesgos para la salud.”*

En lo que respecta al hierro y al manganeso, también hay elevadas concentraciones en algunos de los pozos estudiados. Hierro y manganeso tienen comportamientos hidroquímicos parecidos, su aumento en las aguas subterráneas puede estar relacionado con un proceso de acidificación de las mismas. Contextos geológicos y procesos que provoquen dicha acidificación pueden ser diversos: contextos volcánicos (no implica necesariamente una erupción), procesos mineros, tratamientos industriales, etc. Un estudio detallado podría concretar con mayor precisión en qué situación se ha producido la comentada química en las aguas analizadas.

Aunque no se dispone de información para todos los pozos, para aquellos para los que sí se dispone no se observan incumplimientos en materia de ácido sulfhídrico, fluoruros, sulfatos, aluminio, cobre, plomo, cianuros y zinc.

6.4.2. MASub ESA-02

En el municipio de Izalco los pozos estudiados presentan cierto exceso de sales como el calcio y el magnesio, dureza, y hierro y manganeso, aunque las desviaciones con respecto a los LMP no son muy elevadas y tampoco parecen valores excepcionalmente altos en aguas naturales. Además, en el caso del pozo que dispone de medición de la contaminación microbiana (pozo Las Palmeras), hay presencia de coliformes totales (>23 NMP/100 ml) y

abundancia de bacterias heterotróficas (>59,000 UFC/ml), por lo que superan los LMP establecidos para aguas potables.

En el municipio de Sonsonate los únicos problemas de calidad detectados se deben a la contaminación bacteriana detectada en los pocos pozos de los que se dispone de datos, detectada a través de las concentraciones de coliformes totales (>23 NMP/100 ml) y a la abundancia de bacterias heterotróficas (950 UFC/ml).

En el municipio de Acajutla no se dispone de información en referencia a la contaminación microbiana, por lo que se desconoce el estado de los mismos en esta materia; sin embargo, sí se tiene constancia de un valor algo elevado para las aguas potables en materia del manganeso en el pozo termo Puerto N° 1, en el que se registran 0.15 mg Mn/l.

6.4.3. MASub ESA-03

A la vista de toda la información disponible, destaca la presencia de coliformes totales en 10 de los pozos estudiados, siendo particularmente elevados en 3 de ellos (SA-17, 18 y 19, entre 1,100 y 2,800 NMP/100 ml). Además se detectan algunos incumplimientos adicionales de los límites máximos y mínimos permisibles establecidos por la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08 para el agua potable, en materia de concentraciones de sales como el calcio y el potasio, que son algo elevados en los pozos, pero que son especialmente llamativos en algunos de ellos, lo que podría tratarse de problemas relacionados con el uso de fertilizantes y de reacciones químicas en el suelo como consecuencia de dicho uso de forma inadecuada. Estos pozos también han presentado altos niveles de nitratos (60-80 mg NO₃/l en alguna campaña).

Otros pozos presentan niveles de mercurio algo superiores al LMP, como es el caso de los pozos SA-12 (ANDA, Sihuacoop, con 0.002 mg/l) y SA-13 (ANDA, El Trébol 1, con 0.0017 mg/l). También hay algún caso particular con alto manganeso (4.83 mg/l en SA-07, pozo particular) y hierro (0.6 mg/l en Colonia Unida). Con cierta frecuencia también hay ciertos niveles de boro por encima del LMP, que oscilan entre 1.8 mg/l de SA-11 (ANDA, Colonia Unida) y 0.3 mg/l. Son elementos comunes en algunas zonas con cierto grado de geotermalismo, aunque también pueden estar asociados a minería artesana, ciertos tipos de suelos o, incluso, en el caso del boro, con el uso de detergentes; por ello se recomendaría la realización de estudios más específicos. En el caso del hierro y del manganeso, ambos son elementos que van muy unidos y que podrían relacionarse con una cierta reducción en el valor de pH del medio.

6.4.4. MASub ESA-06

Se trata de una de las masas de agua de gran extensión y se localiza bajo dos de los departamentos de mayor densidad poblacional (La Libertad y San Salvador) y por ende donde se realizan gran parte de las actividades de origen antropogénico. Tal y como se ha mencionado en el apartado de presiones, existe un número elevado de vertidos, muchos de los cuales carecen de tratamiento, así como un gran número de botaderos. Estas presiones se reflejan en la calidad de las aguas subterráneas de la MASub.

A la vista de todos los datos disponibles de MARN para la MASub ESA-06 en el **Departamento de La Libertad**, se han observado incumplimientos frecuentes de la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, para los coliformes totales en casi todos los pozos estudiados en los municipios de San Juan Opicó, Ciudad Arce y Colón, alcanzándose máximos de 17,000 NMP/100 ml en San Juan de Opicó.



También hay elevadas concentraciones de sales en estos tres municipios como el calcio (máximo en el Caserío Areneras en San Juan Opicó, ZP-50, con 134 mg/l); potasio (máximo en 18.7 mg/l en ZP-12, en San Juan Opicó); magnesio (máximo en 150 mg/l en ZP-14, en Colón); así como de metales como el hierro (máximo de 1.3 mg/l en ZP-19, en Ciudad Arce) y manganeso (máximo en 2.3 mg/l en ZP-22, en Ciudad Arce).

Además se observan incumplimientos con carácter más puntual en el caso del boro (máximos que rondan 0.9 mg/l en varios pozos en el municipio de Colón), dureza (máximo de 605 mg/l, en ZP-50, en San Juan Opicó), mercurio (0.01 mg/l en ZP-50, en San Juan Opicó), plomo (máximo de 0.036 mg/l en ZP-46 en Ciudad Arce, y cuyo posible corrosión de tuberías a pH relativamente bajos, infiltración de carburantes, etc.), TDS (máximo en 1,575 mg/l en ZP-12, en San Juan Opicó), y sulfatos (520 mg/l en ZP-50, en San Juan Opicó). Hay un pozo en particular que presenta altas concentraciones de cloruros, conductividad eléctrica, potasio y TDS, ascendiendo respectivamente a 886 mg/l, 2,140 μ S/cm, 164 mg/l y 1,230 mg/l; se trata del pozo de CENTA PP8, en el Cantón de San Andrés.

Además, parece haber un problema con los nitratos es bastante generalizado, ya que en gran número de los pozos estudiados hay elevadas concentraciones, cuyos máximos ascienden a 287 mg NO₃/l en el Caserío La Arenera en el municipio de San Juan Opicó, probablemente debido a la actividad agrícola ya que esta MASub tiene una presión elevada debido a esta actividad.

En el caso concreto del municipio de Quezaltepeque, apenas se dispone de información, pero de los dos pozos estudiados (Guevara, 2011), se han detectado niveles de nitratos por encima del LMP, sobre todo en el pozo PP11, en el que se han registrado 87 mg NO₃/l, y un pH sensiblemente ácido, de 5.9 unidades; así como de potasio, ascendiendo en MAN1 a 58 mg/l.

En el municipio de Socacoyo, de nuevo se dispone de información para dos pozos por parte del MARN (ZP-20 y ZP-24), en los que hay cierto exceso de boro, manganeso y potasio, pero en los que no se observa presencia de coliformes ni otros problemas de calidad.

En el municipio de Antigua Cuscatlán destacan los bajos niveles de pH en 4 de los pozos estudiados, aunque en dos de ellos los valores son muy ácidos, en 3.5-4.0 unidades, con lo que a falta de datos adicionales como metales y temperatura, entre otros, se estima que pueden deberse a un flujo ácido de origen volcánico-hidrotermal, por la cercanía del volcán de San Salvador; asimismo, tratándose de una zona densamente poblada contigua al municipio de San Salvador, puede estar produciéndose cierto aporte de contaminantes derivados las actividades desarrolladas en la zona, como ciertos metales, que de forma indirecta producen una acidificación del agua.

Y por último, en el municipio de Santa Tecla, se dispone de información en 3 manantiales, destacando únicamente un valor relativamente bajo de pH en uno de ellos, con 5.9 unidades.

En lo que respecta al **Departamento de Sonsonate**, se dispone de información de 5 pozos ubicados en el municipio de Armenia, en el que vuelve a detectarse presencia de coliformes totales en concentraciones que oscilan entre los 30 y los 1,600 NMP/100 ml, aunque no se detectan problemas con otros parámetros de calidad analizados.

Por otra parte, en el **Departamento de El Salvador** se ha observado de nuevo exceso de potasio en algunos pozos y manantiales de los municipios de Nejapa y San Salvador. Además, en el caso de los municipios de Ciudad Delgado, Apopa, San Marcos y Cuscatancingo destaca los bajos niveles de pH en algunos de los manantiales y pozos estudiados, de entre 2.7 y 5.8 unidades, con lo que a falta de datos adicionales, se estima que pueden deberse a un flujo ácido de origen volcánico-hidrotermal, por la cercanía del volcán de San Salvador; asimismo,

tratándose de una zona densamente poblada contigua al municipio de San Salvador, puede estar produciéndose cierto aporte de contaminantes derivados las actividades desarrolladas en la zona, como ciertos metales, que de forma indirecta producen una acidificación del agua. Por último, en los municipios de Soyapango y San Martín no se detectan problemas de calidad, al menos a la vista de los parámetros analizados.

En el **Departamento de Cuscatlán** sólo se dispone de información en materia de nitratos, pH y TDS para 2 pozos ubicados en los municipios de San Pedro Perulapán y San Bartolomé Perulapia, descartándose problemas con estos parámetros.

En el **Departamento de Chalatenango**, en la zona de influencia del embalse Cerrón Grande (CEL, 2010), llama la atención los altos coliformes fecales cuantificados (también de coliformes totales) en todos los pozos estudiados, y especialmente en los pozos P5b CG y P2 CG, en el que los valores promedios ascienden a 1.5 NMP/100 ml y 35,700 NMP/100 ml, respectivamente (y en el caso de los totales a 2.7 millones y 300.000 NMP/100 ml, respectivamente), lo que hace totalmente desaconsejable el consumo de las aguas, ya que son niveles propios de aguas residuales. Además también hay presencia de aceites y grasas en todos los pozos, y altas concentraciones de carbono orgánico en algunos de ellos.

En lo que respecta a la conductividad, a pesar de que los valores habituales son bajos, en algunas campañas ascienden por encima de 1,700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en algunos de los pozos. También hay ciertos incumplimientos en lo que respecta a los cloruros (máximo de 400 mg/l); y de calcio, sodio y potasio, y en menor medida de dureza. Además hay ciertos niveles de nitratos por encima del límite máximo permisible (máximo en 95.7 mg NO_3/l).

En cuanto a los sólidos, turbidez y de TDS, hay incumplimientos en todos los pozos para alguno de estos parámetros.

A modo de resumen puede decirse que, aunque ya se han indicado posibles causas para explicar los incumplimientos detectados en elementos tales como el plomo, mercurio, boro, calcio, potasio, hierro, manganeso, etc. o en parámetros como el pH, precisar su causa exacta es muy complicado sin estudios adicionales específicos y de detalle.

6.4.5. MSub ESA-07

A la vista de los datos disponibles, se detectan ciertos incumplimientos de los LMP establecidos para las aguas potables en lo que se refiere al hierro y al manganeso (posibles, como ya se ha comentado, en el caso de aguas algo ácidas). En el caso del hierro los incumplimientos se detectan en los municipios de San Luís Talpa (donde se registra el máximo, de 1 mg/l) San Pedro Masahuat y Zacatecoluca; en el caso del manganeso, en los municipios El Rosario (máximo de 2 mg/l) y San Luís Talpa. De los pozos en los que se dispone de datos de contaminación microbiana, ubicados en los municipios de El Rosario, Zacatecoluca y San Vicente, se detecta cierta contaminación en los dos pozos de El Rosario, presentando concentraciones bajas de coliformes fecales, pero presentes, en 4.5 NMP/100 ml; coliformes totales, entre 33 y 11 NMP/100 ml; y *E.coli* en uno de ellos (Granja La Unica), con 2 NMP/100 ml.

En lo que se refiere a los plaguicidas analizados, el resultado ha sido negativo, por lo que no se ha detectado contaminación en los pozos estudiados.

6.4.6. MASub ESA-08

Ninguno de los pozos analizados asociados a la MASub ESA-08 supera los límites máximos y mínimos permisibles establecidos por la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, para los parámetros cloruro, conductividad, magnesio, sodio, TDS, sulfatos y temperatura. Se destaca que no se dispone de datos de coliformes fecales.

Sin embargo, en el municipio de Metapán se observa un incumplimiento del LMP establecido para el pH, por superar un poco el valor máximo (valor máximo en Que-MA-15, con 9.3 unidades). Además, se supera el LMP establecido para el hierro total, alcanzándose el máximo en Que-PE-15, con 0.51 mg/l. También en este pozo se incumplen los LMP para los parámetros calcio (valor promedio de 132 mg/l), nitratos (muy elevados, con un valor promedio de 170 mg NO₃/l), nitritos (2.14 mg N/l) y manganeso (el máximo asciende a 1.3 mg/l).

Se dispone de información adicional para 4 pozos en la zona de influencia del Lago de Güija (CEL, 2010). Los pozos ubicados en el noroeste del lago en el Cantón de Tecomapa presentan mayores concentraciones de coliformes fecales y totales que el pozo situado al sureste en el Cantón de Las Piedras, pero en todos los casos hay presencia probada, así como ciertas concentraciones significativas de aceites y grasas en todos ellos, y en alguna ocasión de carbono orgánico. Los niveles de ambos parámetros están indicando que están contaminados por actividad antrópica. En lo que respecta a las sales, hay ciertos incumplimientos en lo que se refiere a la dureza, sodio, calcio y potasio (posible relación con el uso inadecuado de fertilizantes), sobre todo en el noroeste, pero no en materia de conductividad y cloruros. En cuanto a la turbidez y los TDS apenas hay incumplimientos; tampoco en cuanto a los nitratos, que se mantienen por debajo del LMP, pero sí en cuanto a nitrógeno total. Puntualmente en el noroeste se registra algo de hierro, aunque no de magnesio. Los parámetros arsénico, cromo VI, pH, temperatura y fenoles no presentan incumplimientos.

6.4.7. MASub ESA-11

De los datos disponibles, sólo se detecta un incumplimiento en lo que respecta al conteo bacteriano heterotrófico, que asciende a 590 NMP/100 ml, y por lo tanto supera el LMP establecido para aguas potables.

6.4.8. MASub ESA-12

Esta masa de agua de gran extensión, se encuentra bajo la totalidad del departamento de Usulután y parte de San Miguel, con presiones por vertidos puntuales y botaderos, así como por la actividad agrícola y ganadera (bovino), que están provocando problemas de calidad del agua.

Se dispone de abundante información de la calidad de la masa de agua ESA-12, a partir de varias fuentes, en los Departamentos de San Miguel y Usulután.

En lo que respecta al **Departamento de San Miguel**, los parámetros pH, conductividad, TDS, cloruros, fluoruros, sulfatos, sodio, manganeso y nitratos cumplen los límites máximos y mínimos permisibles establecidos por la Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08, con algunas excepciones. Sí se identifican incumplimientos de la norma de carácter puntual en materia de hierro, aunque es importante resaltar que sólo se dispone de un dato, que se sitúa en 1 mg/l.

Datos adicionales de pozos localizados mayoritariamente en el municipio de San Miguel, y algunos también en el municipio de Quelapa, indican presencia probada de coliformes totales en una parte importante de ellos. Dos de

ellos presentan un máximo muy destacable de 30,000 NMP/100 ml, siendo los pozos SM-10 y SM-47. Incumplimientos relativamente frecuentes se observan en el caso del magnesio (máximo en 38.8 mg/l), calcio (aunque en ningún caso las concentraciones son superiores a 100 mg/l), potasio (máximo en 18.2 mg/l) - una vez más, la presencia de aguas ácidas y usos inadecuados de fertilizantes es posible-, y arsénico, que se ha detectado a concentraciones superiores a las recomendadas para el consumo en algunos de los pozos (0.1 mg/l) y cuyo origen está asociado al volcán de San Miguel, el cual se transporta de las partes altas de la cuenca hacia las partes bajas donde se localizan los pozos, por medio de formaciones permeables (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008). También hay presencia de altas concentraciones de boro en muchos de los pozos, pero que destacan en los pozos SM-01 (1.37 mg/l), SM-05 (1.80 mg/l), SM-06 (1.04 mg/l) y SM-09 (1.17 mg/l), SM-15 (1.30 mg/l).

También hay incumplimientos puntuales en materia de dureza; nitratos, que sólo superan estos últimos el límite máximo permisible en algunos pozos de manera muy sensible, y cuya presencia se asocia a la existencia de fosas sépticas en las vecindades (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008); y metales como el cadmio, el mercurio, el níquel y el plomo. En la zona norte de la MASub, se sitúan los distritos mineros de Chapeltique-Sesori y Minitas, ambos de interés por la presencia de yacimientos de oro y plata. Los procesos volcánicos-geotérmicos, la presencia de aguas relativamente ácidas, la minería artesana y los posibles usos de detergentes pueden explicar gran parte de los incumplimientos descritos, aunque no se puede precisar más sin estudios adicionales.

En cuanto a los pozos en Bahía de Jiquilisco (**Departamento de Usulután**), destaca el incumplimiento generalizado en materia de hierro, aunque se mantiene por debajo de 1 mg/l, y potasio, cuyo valor máximo promedio alcanza 29 mg K/l, varias causas podrían estar implicadas en la misma zona: presencia de aguas marinas, uso inadecuado de fertilizantes, presencia de aguas ligeramente ácidas, tampoco es extraño el aumento del flúor en aguas con altos contenidos en sodio, etc., por lo que los trabajos de investigación adicionales vuelven a recomendarse.

Adicionalmente a todo lo expuesto hasta el momento, en el informe específico de la campaña de 2008 ejecutada por MARN (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008), se indica una serie de comentarios que *desde el punto de vista Microbiológico, la parte profunda del acuífero (de San Miguel) tiene aguas de buena calidad y no está contaminado con coliformes fecales. Con relación a los químicos inorgánicos de alto riesgo, el Arsénico presenta un serio problema de contaminación para los pozos de ANDA y los de algunas Urbanizaciones Privadas. La parte somera del acuífero tiene aguas de mala calidad y no debe usarse para el abastecimiento humano, tanto en el aspecto Microbiológico como de Otros Químicos y Químicos de Alto Riesgo como el Arsénico.*

Además de todos estos datos, se dispone de información de la masa subterránea en la **zona de influencia del embalse 15 de Septiembre** (CEL, 2010). En concreto se dispone de 3 pozos monitorizados, que se ubican en los cantones de San Francisco, en el municipio de San Ildefonso, y en el cantón de La Palomia del municipio de Nueva Granada (Departamento de Usulután). De los datos disponibles, llama la atención la presencia de aceites y grasas en todos ellos en algunas campañas, alcanzándose un máximo de 53 mg/l; también hay presencia de coliformes fecales (y de coliformes totales) en todos ellos, lo que indica una contaminación de origen doméstico, que alcanza sus niveles máximos en 4,700 NMP/100 ml de coliformes fecales (valor promedio para todas las campañas disponibles), y de coliformes totales en 29,000 NMP/100 ml. Su presencia por tanto no hace apto el consumo de las aguas sin un tratamiento previo.

Las aguas monitorizadas presentan además alta dureza, y en casos puntuales altas concentraciones de calcio (promedio en 85 mg/l), TDS (538 mg/l), y en menor medida de potasio, cuyo valor promedio se mantiene en el rango adecuado para el consumo, aunque no en algunas campañas, que superan sensiblemente los 10 mg/l. También de potasio (posible uso inadecuado de fertilizantes).



Incumplimientos de carácter puntual se observan para los parámetros carbono orgánico y turbidez en todos ellos en alguna campaña. No hay altos valores de pH y temperatura, metales como el arsénico, cromo VI, hierro, otras sales como los cloruros, el magnesio, y contaminantes como los fenoles.

Por otra parte, se ha desarrollado un estudio de la calidad de varios pozos de consumo humano ubicados en el municipio de Concepción Batres, en el Departamento de Usulután (Herrera, 2012): 3 pozos en la Comunidad La Arenera, 3 pozos en San José, 3 en El Progreso y 1 en la Comunidad Hacienda Nueva. En lo que respecta a la contaminación microbiana, todos los pozos salvo el de la Comunidad Hacienda Nueva presentan resultados positivos para coliformes totales y fecales y *Escherichia coli*, con lo que hay una evidente contaminación de origen doméstico de las aguas. Los parámetros pH, temperatura, olor, color verdadero, sabor, turbidez y TDS, dureza, hierro, sodio y sulfatos son por lo general propias de aguas adecuadas para el consumo humano. La excepción se produce en el Pozo 3 de San José, que según se indica en el informe presenta un olor y color rechazable y elevada turbidez (32 NTU), lo que podría deberse a que según se indica en el informe, el pozo se encontraba contaminado con zompopos y se estaba tratando con el plaguicida Folidol, o quizá esté relacionado con las altas concentraciones de hierro detectadas (1.3 mg/l). También presenta elevadas concentraciones de mercurio, en el que se alcanza 11.64 mg/l según el presente estudio; estos niveles hacen que sea totalmente inadecuado para el consumo y cualquier otro uso, dado su alta toxicidad, aunque se recomienda un monitoreo de confirmación de que estas concentraciones se estén manteniendo tan elevadas.

6.4.9. MASub ESA-15

Las mayores presiones en esta MASub son debidas a la actividad agrícola y ganadera -especialmente bovino- y a vertidos puntuales.

De la información disponible de los pozos del MARN, distribuidos en el Municipio de San Miguel, en la ciudad de San Miguel y los cantones de Miraflores y El Tecometal, se tiene constancia de que los parámetros cloruros, fluoruros, sulfatos y sodio se mantienen por debajo de los correspondientes límites máximos permisibles. Este no es el caso del potasio, sílice, calcio y nitratos, que alcanzan algunos máximos destacables. Así por ejemplo se observa un máximo de sílice con 168 mg/l, valor alto aunque posible en aguas naturales, especialmente en contextos de aguas algo salobres; un máximo de calcio de 138 mg/l, cuyo origen puede estar en un posible uso inadecuado de fertilizantes; y un máximo de nitratos de 335 mg NO₃/l.

Por otra parte, se dispone de datos adicionales para una serie de pozos en su mayoría profundos para abastecimiento, ubicados en el municipio de San Miguel, en la propia ciudad así como en el Cantón El Jute, y el Cantón El Papalón, aunque en este último caso son someros de uso doméstico. Destacan las altas concentraciones en algunos pozos, donde ascienden a 1,500 NMP/100 ml. También se observan incumplimientos en cuanto calcio y potasio en algunos pozos, que son los parámetros que más veces supera el límite máximo permisible; en cuanto al potasio puede tener origen en un probable uso indebido de fertilizantes. Y en materia de arsénico, cuyo origen está asociado al volcán de San Miguel, el cual se transporta de las partes altas de la cuenca hacia las partes bajas donde se localizan los pozos, por medio de formaciones permeables (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008).

Adicionalmente a todo lo expuesto hasta el momento, en el informe específico de la campaña de 2008 ejecutada por MARN (MARN-HIDRODESARROLLO, S.A, 2008), se indica que, tal y como se ha puesto de manifiesto en la MASub ESA-12, *desde el punto de vista Microbiológico, la parte profunda del acuífero (de San Miguel) tiene aguas de buena calidad y no está contaminado con coliformes fecales. Con relación a los químicos inorgánicos de alto riesgo, el Arsénico presenta un serio problema de contaminación para los pozos de ANDA y los de algunas*

Urbanizaciones Privadas. La parte somera del acuífero tiene aguas de mala calidad y no debe usarse para el abastecimiento humano, tanto en el aspecto Microbiológico como de Otros Químicos y Químicos de Alto Riesgo como el Arsénico.

6.4.10. MASub ESA-19

Apenas se dispone de información en dos pozos ubicados en El Icacal y Playas Negras (MARN/JICA-BIOTEC, 2006), en materia de coliformes fecales, algunos metales y plaguicidas. Lo más destacable es que en ambos pozos se detectan concentraciones de coliformes fecales, por lo que no se recomienda el consumo de las aguas, evitando de este modo enfermedades intestinales derivados de ello. Las mayores concentraciones se registran en El Icacal, con 5,000 NMP/100 ml.

En cuanto a los metales, se ha observado cierta presencia de plomo en Playas Negras, cuyas concentraciones se sitúan en el mismo límite de 0.01 mg/l, por lo que es importante tenerlo también en consideración. El plomo puede estar asociado al deterioro de tuberías en presencia de aguas algo ácidas, mientras que el níquel podría estarlo a aguas residuales con detergentes.

No se han identificado valores de residuos de plaguicidas en las estaciones analizadas que superen los límites máximos permisibles establecidos en la norma.

6.4.11. MASub ESA-20

En esta MASub ubicada al S.E. del país las presiones más significativas son debidas a los vertidos puntuales y botaderos. También pueden ejercer una cierta presión sobre esta masa los distritos mineros de Yamabal-El Hormiguero y Santa Rosa de Lima.

Los estudios de FUSADES (MARN/JICA-BIOTEC, 2006) facilitan información de coliformes fecales, algunos metales y plaguicidas en varios pozos en la costa del Departamento de La Unión, todos ellos alimentados de la MASub ESA-20. Lo más destacable es que en todos los casos se detectan concentraciones de coliformes fecales, por lo que no se recomienda el consumo de las aguas, evitando de este modo enfermedades intestinales derivados de ello. Las mayores concentraciones se registran en El Huisquil con 5,000 NMP/100 ml y Punta Jocote con 2,400 NMP/100 ml. En el resto se mantienen por debajo de 1,000 NMP/100 ml.

En cuanto a metales, se ha observado problemas de contaminación por mercurio en Punta Jocote, en el que se alcanzan niveles de 0.01mg Hg/l (posibles lavados mineros), aunque no se observa en ningún pozo elevadas concentraciones de arsénico, níquel y plomo. Se destaca que tampoco se han identificado valores de residuos de plaguicidas en las estaciones analizadas que superen los límites máximos permisibles establecidos en la norma.

Por otra parte, los pozos estudiados en el municipio de Pasaquina, en el Departamento de La Unión, en los cantones de San Felipe y Piedras Blancas, y en la comunidad Agua Agría, de acuerdo a los indicadores de contaminación microbiana, los tres pozos presentan ciertas concentraciones de coliformes totales, aunque son negativos o muy bajos en el caso de coliformes fecales y *Escherichia coli*; se recomienda la cloración para la eliminación de las coliformes totales.

Existen además altas concentraciones de hierro y de turbidez en el pozo del Cantón Piedras Blancas, que ascienden a 0.7 mg/l y a 39 NTU, respectivamente. También hay concentraciones traza de este metal en los otros dos pozos, debido posiblemente a la presencia de aguas algo ácidas.

7. CONDICIONES NATURALES EN LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

En el presente acápite se hace una aproximación, en la medida de lo posible, y siempre a partir de la información disponible, a las condiciones naturales de las aguas superficiales y subterráneas. En lo que respecta a las aguas superficiales, hay gran cantidad de limitantes que interfieren en la calidad de las aguas, como se ha puesto de manifiesto en apartados anteriores en el presente Documento de Trabajo, con lo que no ha sido posible establecer una condiciones naturales de las aguas; a pesar de ello, se han identificado algunas zonas poco alteradas, de las que se pone de manifiesto la situación de los principales indicadores de calidad.

En materia de aguas subterráneas, sin embargo, sí se ha podido conseguirse en parte este objetivo, indicándose las condiciones naturales de las masas de agua estudiadas, siempre que se ha dispuesto de datos en la MASub.

7.1. CONDICIONES NATURALES EN AGUAS SUPERFICIALES

A la vista de la calidad general del agua en las zonas hidrográficas estudiadas, no hay ninguna estación de monitoreo inalterada, es decir, que no presente presiones aguas arriba, y por lo tanto que sea apta para establecer las condiciones naturales del agua. En su defecto, hay algunas estaciones que podría decirse que están mínimamente alteradas por la acción antrópica, en comparación con el estado general de la cuenca; son las estaciones en las que presentarían una buena calidad, salvo por alguno de los parámetros analizados, que supera los rangos de concentración recomendados y que por tanto indican que están sufriendo algún tipo de presión. Las estaciones son las siguientes:

- A-01-JUPUL: estación de monitoreo del MARN en el río Jupula, antes de llegar la Loma Los Muertos, en San Ignacio, en Chalatenango. En la estación se ha observado buena oxigenación (el promedio para los muestreos 2009-2010 asciende a 7.7 mg/l, pero el muestreo ejecutado en el año 2011 se muestra especialmente desoxigenado en toda la cuenca, con lo que el promedio para los tres años desciende a 6.9 mg/l, baja DBO₅ (valor promedio de 1 mg/l) y bajos nutrientes, tanto en lo que se refiere a fosfatos (0.01 mg P-PO₄/l para el muestreo del año 2011), como a nitratos (0.45 mg N-NO₃/l en promedio para todos los muestreos). A pesar de estas buenas condiciones de calidad, y a pesar de no haberse observado una fuente de presión sobre la estación, se ha detectado presencia de coliformes fecales (500 NMP/100 ml en valor promedio), un valor máximo de 0.01 mg Cu/l, y elevadas concentraciones de fenoles (1.85 mg/l, que aun estando por debajo del máximo recomendado por EPA, está indicando contaminación de origen antropogénico, ya que los fenoles no tienen origen natural).
- A-01-GRAMA: estación de monitoreo en el río El Gramal, Cantón y Caserío E Gramal, antes de Tierra Blanca, en Chalatenango. En la estación se ha observado buena oxigenación (el promedio para los muestreos 2009-2010 asciende a 7.9 mg/l, pero el muestreo ejecutado en el año 2011 se muestra especialmente desoxigenado en toda la cuenca, con lo que el promedio para los tres años desciende a 6.9 mg/l), baja DBO₅ (1 mg/l) y bajos nutrientes, tanto en lo que se refiere a fosfatos (0.03 mg P-PO₄/l para el muestreo del año 2011), como a nitratos (0.43 mg N-NO₃/l). A pesar de ello, y de que no se ha observado una fuente de presión sobre la misma, sí se ha observado presencia de coliformes fecales (1,066 NMP/100 ml en valor promedio), un valor máximo de 0.01 mg Cu/l, y elevadas concentraciones de fenoles (1.93 mg/l), con lo que es evidente la existencia de alguna fuente de presión.
- A-01-SANJO: estación del MARN ubicada en el río San José, en la Finca San Francisco, aguas abajo de la quebrada La Quebradota, en Metapán. Presenta buena oxigenación (el promedio para los muestreos 2009-2010 asciende a 7.7 mg/l, pero el muestreo ejecutado en el año 2011 se muestra especialmente



desoxigenado en toda la cuenca, con lo que el promedio para los tres años desciende a 6.7 mg/l), baja DBO₅ (1.7 mg/l) y bajos nitratos (0.40 mg N-NO₃/l). Sin embargo, se observan niveles medios de fosfatos (0.08 mg P-PO₄/l para el muestreo del año 2011), presencia de coliformes fecales (1,150 NMP/100 ml en valor promedio), y relativamente elevadas concentraciones de fenoles (1.40 mg/l), aunque no se ha observado una fuente de presión aguas arriba de la estación.

- A-01-GUAJO: estación del MARN ubicada en el río Guajoyo, antes de la estación San Francisco Guajoyo, aguas abajo de la quebrada los Filines, Metapán. Presenta buena oxigenación (el promedio para los muestreos 2009-2010 asciende a 7.3 mg/l, pero el muestreo ejecutado en el año 2011 se muestra especialmente desoxigenado en toda la cuenca, con lo que el promedio para los tres años desciende a 6.3 mg/l), baja DBO₅ (2.7 mg/l) y bajos nitratos (1.02 mg N-NO₃/l). Sin embargo, hay elevadas concentraciones de fosfatos (0.23 mg P-PO₄/l para el muestreo del año 2011), presencia de coliformes fecales (1,010 NMP/100 ml en valor promedio), y elevadas concentraciones de fenoles (2.50 mg/l). Es probable que la fuente de contaminación sea la colonia Guajoyo.

7.2. CONDICIONES NATURALES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se ha procedido a elaborar la caracterización hidroquímica de las aguas subterránea en régimen natural en aquellas MASubs en las que se ha dispuesto de información suficiente a partir de analíticas realizadas, como muy tarde, en el año 1985, tiempo hasta el que se ha considerado que los recursos hídricos de este tipo se encontraban relativamente poco afectadas por las actividades socio-económicas desarrolladas en el país.

De esta manera, se ha dispuesto de 36 analíticas tomadas entre los años 1974 y 1985 correspondientes a 6 MASubs, 17 acuíferos y 8 regiones hidrográficas diferentes, en la Figura 83, puede observarse la distribución de las muestras disponibles.

No se ha podido establecer por tanto la caracterización hidroquímica de 15 MASub: ESA-01, ESA-04, ESA-05, ESA-07, ESA-08, ESA-10, ESA-11, ESA-13, ESA-14, ESA-16, ESA-17, ESA-18, ESA-19, ESA-20 y ESA-21. Tal y como se observa en la Figura 83, muchas de estas MASub se encuentran en la zona oriente del país.

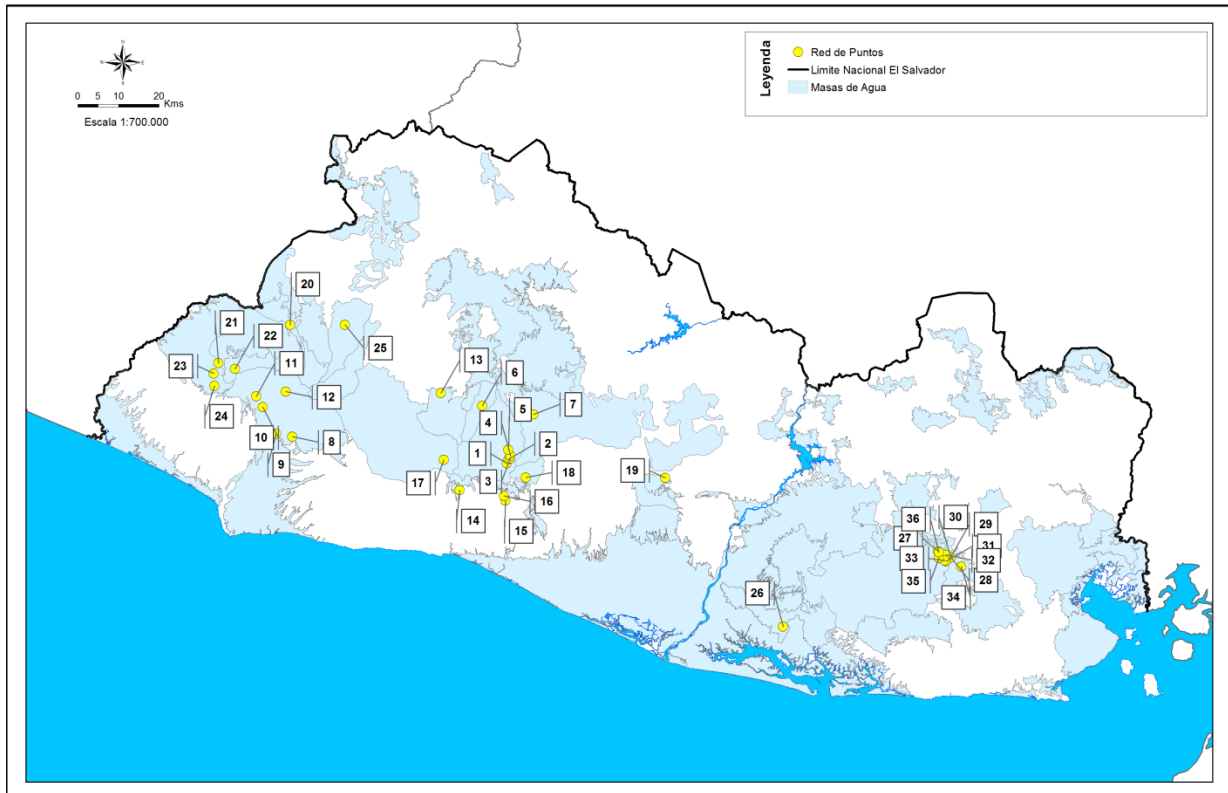


Figura 83. Distribución y numeración de las 36 muestras de aguas subterráneas localizadas entre los años 1974 y 1985 en El Salvador. Fuente: elaboración propia

Con estos puntos se han podido realizar la caracterización hidroquímica de 6 MASub, las muestras pertenecen a los puntos de agua que se indican en la Tabla 63, agrupadas por MASub y acuíferos.

Tabla 63. Caracterización hidroquímica de las MASub a partir de puntos localizados con analíticas hidroquímicos, pertenecientes al periodo 1974-1985.

MASub	Muestra	Acuífero	Fecha muestreo	Facies hidroquímica
ESA-02	8	ESA-02-02	28/02/1975	Bicarbonatada cálcica
	9	ESA-02-02	09/07/1975	Bicarbonatada cálcica
	10	ESA-02-02	19/11/1975	Bicarbonatada cálcica
	11	ESA-02-02	27/02/1985	Bicarbonatada magnésica
	12	ESA-02-02	20/10/1975	Bicarbonatada cálcico-magnésica
ESA-03	20	ESA-03-04	22/12/1981	Bicarbonatada magnésica
	21	ESA-03-01	05/09/1975	Bicarbonatada sódico-potásica
	22	ESA-03-02	03/05/1975	Bicarbonatada cálcica
	23	ESA-03-01	28/10/1976	Bicarbonatada cálcica
	24	ESA-03-01	02/09/1975	Bicarbonatada cálcica

MASub	Muestra	Acuífero	Fecha muestreo	Facies hidroquímica
	25	ESA-03-07	oct-75	Bicarbonatada sodico-potásica
ESA-06	1	ESA-06-12	18/05/1974	Bicarbonatada cálcica
	2	ESA-06-12	29/08/1975	Bicarbonatada cálcica
	3	ESA-06-12	29/08/1975	Bicarbonatada cálcica
	4	ESA-06-12	11/08/1975	Bicarbonatada cálcica
	5	ESA-06-12	16/07/1975	Bicarbonatada magnésica
	6	ESA-06-13	22/07/1975	Bicarbonatada magnésica
	7	ESA-06-19	07/10/1975	Bicarbonatada cálcica
	13	ESA-06-05	22/05/1984	Bicarbonatada magnésica
	14	ESA-06-03	08/10/1975	Bicarbonatada cálcica
	15	ESA-06-09	16/09/1975	Sulfatada sodico-potásica
	16	ESA-06-09	06/02/1979	Bicarbonatada cálcica
	17	ESA-06-01	26/08/1975	Bicarbonatada cálcica
18	ESA-06-15	25/05/1976	Sulfatada sodico-potásica	
ESA-09	19	ESA-09-02	26/05/1976	Bicarbonatada cálcica
ESA-12	26	ESA-12-03	ago-78	Bicarbonatada sodico-potásica
	27	ESA-12-07	ago-75	Bicarbonatada sodico-potásica
	28	ESA-12-07	Entre 1975 y 1985	Bicarbonatada sodico-potásica
	29	ESA-12-07	mar-76	Bicarbonatada sodico-potásica
	30	ESA-12-07	ago-78	Bicarbonatada cálcica
	31	ESA-12-07	ago-75	Bicarbonatada cálcica
	32	ESA-12-07	mar-76	Bicarbonatada sodico-potásica
	33	ESA-12-07	dic-77	Bicarbonatada sodico-potásica
	35	ESA-12-07	ene-78	Bicarbonatada cálcica
36	ESA-12-07	ago-75	Bicarbonatada sodico-potásica	
ESA-15	34	ESA-15-01	ene-78	Bicarbonatada sodico-potásica

De dichas analíticas, 18 han presentado una facies hidroquímica (tipo de hidroquímico) bicarbonatada cálcica, 10 bicarbonatada sodico-potásica, 5 bicarbonatada magnésica, 1 bicarbonatada cálcico-magnésica y 2 sulfatada sodico-potásica tal y como se muestra en el diagrama de Piper de la Figura 84. Diagrama de Piper representando las 36 muestras localizadas de aguas subterráneas entre los años 1974 y 1985 en El Salvador

El hecho de que la mayoría de las muestras disponibles pertenezcan a recursos hídricos subterráneos bicarbonatadas podría ser indicativo de que éstas son aguas jóvenes (con reducido tiempo de permanencia en el acuífero) por ser el anión CO_3H^- el primero que se disuelve (con los valores de pH normales en las aguas subterráneas); cuando las aguas empiezan a saturarse en éste es frecuente que el anión SO_4^{2-} inicie su disolución si existe en el medio. Los materiales volcánicos del entorno contienen importantes cantidades de SO_4^{2-} por lo que su importante ausencia en las

aguas subterráneas podría deberse, aunque no es la única posibilidad, a que el tiempo de tránsito de éstas en la mayoría de los acuíferos es relativamente bajo y no da lugar a que se produzca una disolución importante de los materiales que atraviesan.

Por el contrario sí existe una variación importante de los cationes Na^+K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} que pueden evolucionar más rápidamente en función de las materiales atravesados y/o de los frecuentes intercambios iónicos que pueden producirse con el sustrato.

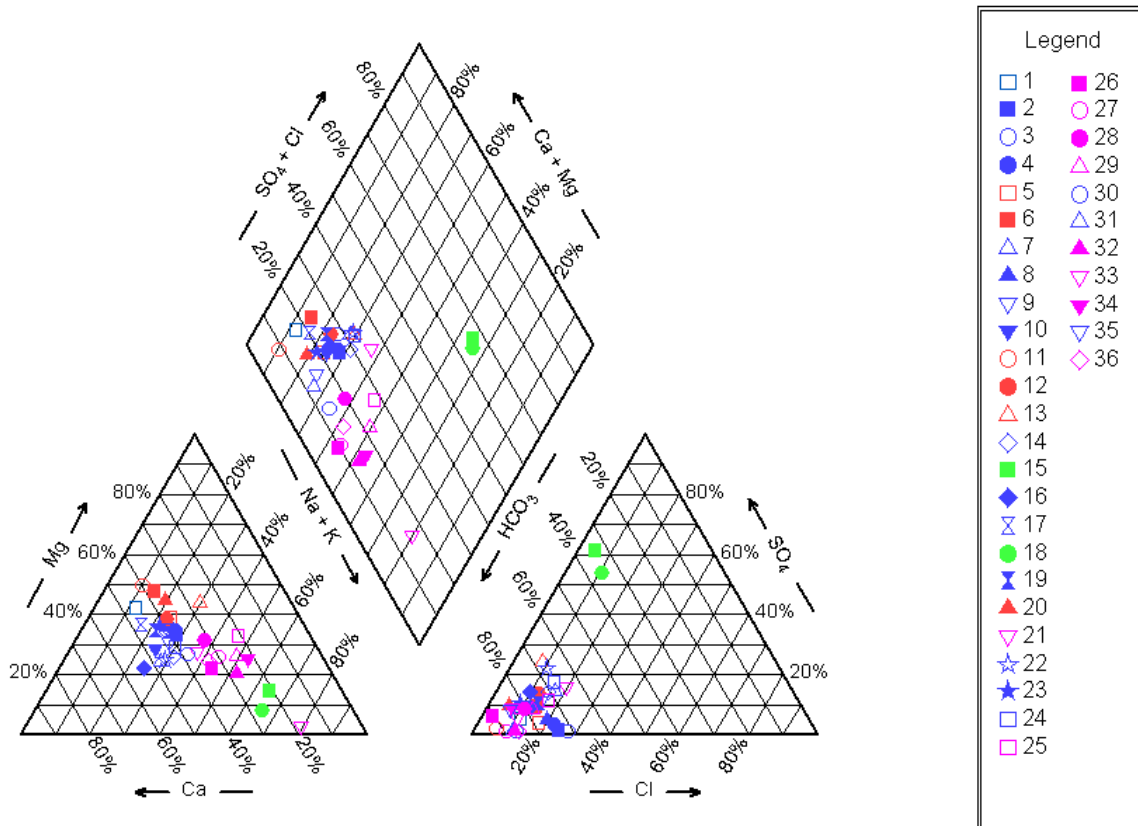


Figura 84. Diagrama de Piper representando las 36 muestras localizadas de aguas subterráneas entre los años 1974 y 1985 en El Salvador.

En los diagramas de Piper se representan mezclas en % (de aniones y cationes) a partir de tres componentes, normalmente para los aniones $\text{CO}_3\text{H}^+ \text{CO}_3^-$, SO_4^- y Cl^- y para los cationes Na^+K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , es decir los iones mayoritarios.

8. OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES

La mejora de la calidad del agua es uno de los principales desafíos socio-ambientales, dado los problemas crecientes de contaminación de los cuerpos de agua asociados a actividades antrópicas, que están contribuyendo a una pérdida del ecosistema, una disminución de la disponibilidad de los recursos hídricos para los diferentes usos previstos y un problema grave relacionado con la salud pública.

Por este motivo, uno de los objetivos de la planificación hidrológica es tratar de alcanzar el buen estado de las aguas superficiales y subterráneas, previniendo su deterioro y protegiendo, mejorando y regenerando las aguas y reduciendo progresivamente la contaminación.

Para el logro de estos propósitos, un condicionante esencial es la definición de objetivos medioambientales siguiendo una serie de pautas, lineamientos y procedimientos que permitan su establecimiento en aguas superficiales, subterráneas y marinas. De esta forma se podrá realizar una adecuada gestión del recurso hídrico. Es también importante una formulación de objetivos realistas, los cuales deben adaptarse a la capacidad económica y administrativa del país e ir ajustándola progresivamente.

El recurso hídrico puede ser utilizado para múltiples actividades y necesidades, de acuerdo a su disponibilidad desde el punto de vista de la cantidad y la calidad. Uno de los lineamientos y principios claves para la gestión de estos recursos es la identificación y clasificación de los cuerpos de agua, el reconocimiento de los usos actuales y el establecimiento de los usos potenciales o aptitudes a corto, medio y largo plazo.

Por otro lado la valoración del estado de los distintos cuerpos de agua no puede realizarse únicamente en base a los usos que tenga definidos, sino que debe considerarse también la calidad y estructura de los ecosistemas acuáticos en condiciones naturales. Para ello es necesario contar con unas condiciones de referencia definidas para cada tipo identificado.

Como se deduce de lo anterior, otro factor clave es el conocimiento de la calidad real del agua y así poder establecer en qué medida esa calidad es adecuada para los usos actuales, si existen compatibilidades y conflictos de algún tipo y su desviación frente a las condiciones de referencia.

En resumen, la determinación de los usos actuales, los perfiles de calidad de los cuerpos de agua y las condiciones de referencia, constituyen el punto de partida en el proceso de establecer objetivos de calidad de los cuerpos de agua. Consecuentemente la aplicación de indicadores de calidad fisicoquímica y biológica de las aguas resultarán de gran ayuda.

La participación pública también resulta importante, se debe hacer tomar conciencia de la importancia del control de la contaminación del agua entre quienes toman decisiones y el público en general. Las decisiones deben tomarse en consenso con los actores y grupos de interés que puedan estar afectados por la planificación e implantación de medidas para el logro de los objetivos de calidad.

En este apartado se propone además de establecer los objetivos medioambientales basados en los usos actuales, definir como objetivo general el conseguir el “buen estado” de las masas de agua y el “no deterioro” de las mismas. En El Decreto 50 (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1987) en su anexo número 0.1 establece una clasificación de cuerpos de agua de acuerdo a diferentes usos. Sin embargo, este decreto se encuentra desfasado en cuanto a los usos actuales del agua.

Concretamente establece los siguientes tramos según los diferentes usos:

- **Abastecimiento:** indica 11 obras para abastecimiento de acuerdo a la siguiente tal y como puede verse en la Tabla 64.

Tabla 64: Cuerpo de agua primera clase. Uso: Consumo humano. Fuente: (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1987).

Cuerpo de agua	Población a abastecer	Ubicación de la obra
Río Lempa	AMM. de S.S	El Astillero
Río Sucio	AMM. de S.S	Quezaltepeque
Río Ateos-Talnique	AMM. de S.S	San Andrés
Río Cuaya	AMM. de S.S	Ilopango
Río Guazapa	AMM. de S.S	Guazapa
Lago de Ilopango	AMM. de S.S	Ilopango
Río Chilama I	La Libertad	La Libertad
Comalapa Chinameca	San Francisco	La Paz a 2 km de la población
Apancoyo	Cuisnahuat	A 1km de la población
Apala	San Cristóbal	Dpto. Cuscatlán a 1 km de la población
Río Seco	San Carlos	Dpto. Morazán a 2 km de la población

Del análisis realizado en el Producto No. 6 *Usos, demandas y presiones actuales* los usos, en la actualidad existen 7 plantas potabilizadoras, de cuales únicamente 2 se encuentran próximas o coinciden en ubicación con las obras de abastecimiento mencionadas en este Decreto. Las plantas de potabilización referidas son:

- Las Pavas: realiza la toma del río Lempa, en el municipio de San Pablo Tachachico.
- Chilama. realiza la toma del río Chilama, en el municipio de La Libertad.
- **Pesca artesanal:** El Decreto 50 (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1987) establece 16 cuerpos de agua para este uso, los cuales se listan a continuación:
 - Río Paz
 - Río Grande de San Miguel



- Río Jiboa
- Lago de Ilopango
- Laguna de Olomega
- Lago de Güija
- Lago Coatepeque
- Laguna Jocotal
- Embalse 5 de noviembre
- Embalse Cerrón Grande
- Estero La Unión
- Estero Barra de Santiago
- Estero Jaltepeque
- Estero Jiquilisco
- Estero Tamarindo
- Estero Pto. Ávalos.

Actualmente este uso sigue vigente en prácticamente todos los cuerpos de agua listados, diferenciando entre pesca continental y pesca marítima (MARN, MOP, VMVDU, 2004):

- Pesca continental:
 - Laguna de Metapán
 - Lago de Güija
 - Lago de Coatepeque
 - Río Ceniza o Negro (cabecera, estación Izalco)
 - Río Sucio (estación Atiocoyo)
 - Embalse de Cerrón Grande
 - Embalse de 5 de noviembre
 - Embalse de 15 de septiembre
 - Lago de Ilopango
 - Río El Carrizo (estación Sta. Cruz Porrillo, el río El Carrizo es un tributario del río San Antonio en la Región Hidrográfica F-jiboa-Estero de Jaltepeque).
 - Laguna El Jocotal.
 - Laguna de Olomega
- Pesca marítima:

- o Estero Barra de Santiago.
- o Bocana El Limón (Acajutla).
- o Los Cóbanos.
- o Playa Iscacuyo (Teotepeque, La Libertad).
- o Playa Talmarcito (La Libertad).
- o Desembocadura del río Chilama.
- o Estero de Jaltepeque.
- o Bahía de Jiquilisco.
- o Golfo de Fonseca.
- **Riego agrícola:** El Decreto 50 (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1987) nombra cuerpos de agua de tercera clase a los destinados para riego agrícola, los cuales ascienden a un total de 119, clasificándose la toma en cuatro tipos de obra: presa, bocatoma, bombeo y derivación. Estos puntos de toma corresponden a agua superficial.

En la actualidad existen 560 bocatomas de riego, aportadas por el MAG en el año 2013, las cuales toman agua en su mayoría de agua superficial. De éstas en torno a 34 son coincidentes con las seleccionadas en el Decreto 50, por su correspondencia con el nombre del río, ya que la disposición del sistema de coordenadas presente en éste, ha dificultado su correcta representación gráfica.

De acuerdo a la ubicación de las bocatomas mencionadas, se han podido identificar los tramos sobre los que se está realizando un uso para riego agrícola:

- o **Región Hidrográfica A-Lempa:**
 - Río Cusmapa en su parte alta.
 - Río El Angue en su parte alta.
 - Río San José en su parte media.
 - Río Lempa, aguas arriba de la confluencia con el río Jayuca y quebradas dentro del Distrito de riego y avenamiento Atiocoyo Norte.
 - Tributarios del río Lempa:
 - Río Mojaflares: desde aguas abajo de la confluencia con el tributario principal (sin muelle) hasta el final del tramo.
 - Río Jayuca en la parte media-alta
 - Río El Salitre en la parte media.
 - Río Grande de Tilapa, en su parte media.
 - Cuenca del río Suquiapa:

- Parte alta en el río El Molino, aguas abajo del núcleo urbano de Santa Ana, y el tramo bajo del río Pacayán (parte baja de cuenca del río Suquiapa)
- Tramos bajo del río Suquiapa dentro del Distrito de riego y avenamiento de Atiocoyo Sur.
- Cuenca del río Sucio:
 - Tramos dentro del Distrito de riego y avenamiento de Zapotitán: quebradas del río Obraje, río Talnique, río Chuchucato, río Colón o Los Chorros y sus quebradas tributarias, quebradas del río Belén.
 - Tramo bajo del río Sucio dentro del Distrito de riego y avenamiento de Atiocoyo Sur.
 - Parte alta, en el río Palio (tramo medio) y parte media en el río Claro (tramo alto).
- Cuenca del río Acelhuate: parte media, en la cabecera del río San Antonio.
- Cabeceras de los tributarios de la parte alta del río Quezalapa: río Tempisque, río Sisimico, río Tizapa y río Mucuyo.
- Río Copinolapa en su tramo alto.
- Río Tepemechín (tramo bajo), tributario del río Sirigual.
- Río Machacal en su tramo alto (tributario del río Titihuapa).
- Río Titihuapa en su tramo bajo.
- Río La Joya, en su tramo medio (tributario del río Jiotique).
- Quebrada El Puenteillo (en su tramo medio).
 - Río Lempa, en desembocadura.
- **Region Higráfica B-Paz:**
 - Río San Antonio: Tramo alto del río.
 - Río Agua Caliente: Tramo alto del río.
- **Región Hidrográfica C-Cara Sucia:**
 - Río El Sacramento: Tramo medio del río.
 - Río El Huiscoyol: Tramo medio del río.
 - Río El Quequeisque: Tramo medio del río.
 - Río San Francisco o La Soledad: Tramo medio del río.
 - Río La Palma: Tramo alto del río.



- Río Cara Sucia: Tramo medio y bajo del río.
- Río El Izcanal: Tramo medio del río.
- Río Aguachapío: Tramo medio del río.
- Río Guayapa: Tramo medio-bajo del río.
- Río El Naranjo: En todo su recorrido.
- Río El Rosario: Tramo bajo del río.
- Río Cauta: En todo su recorrido.
- Río Tapaguasuya (afluente del río Copinula): Tramo medio del río.
- Río Copinula: Tramo medio y bajo del río.
- Río Sunzacuapa: Tramo medio-bajo del río.
- Río San Pedro, Sucio o Sihupán (afluente del río Sunzacuapa): En todo su curso.
- Río Cacahuata (afluente del río Tepechapa): Tramo alto del río.
- Río Santo Domingo (afluente del río San Pedro o La Barranca): Tramo medio del río.
- Río San Pedro o La Barranca: Tramo alto-medio del río.
- **Región Hidrográfica D-Sonsonate-Banderas:**
 - Cuenca Grande de Sonsonate:
 - Río Grande de Sonsonate o Sensunapán: Tramo medio y alto del río.
 - Río Las Monjas o Los Trozos (afluente del río Sensunapán): Tramo alto y bajo del río.
 - Río Cuyuapa (afluente del río Sensunapán): Tramo medio y bajo del río
 - Río Las Hojas: Tramo bajo del río.
 - Río Las Cañas: Tramo alto del río.
 - Río Huiscoyol: Tramo alto del río.
 - Río Dominguez: Tramo medio del río.
 - Río Chimalapa: Tramo alto-medio del río.
 - Cuenca Banderas:
 - Río El Quequeisque (afluente del río Ceniza o Negro): Tramo medio del río.
 - Río Tecuma (afluente del río Ceniza o Negro): Tramo alto y medio del río.

- Río Chuteca o Agua Caliente (afluente del río Tecuma) En todo su recorrido.
- Río Chiquihuat (afluente del río Tazula): Tramo alto y medio del río.
- Río Tazula (afluente del río Banderas): Tramo medio y bajo del río.
- Río Ceniza o Negro (afluente del río Banderas): En todo su recorrido.
- Río Banderas: Tramo medio del río.
- **Región Hidrográfica E-Mandinga-Comalapa:**
 - Río Mandinga: Tramo medio del río.
 - Río Grande: Tramo bajo del río.
 - Río Chilama: Tramo alto-medio del río.
 - Río Tihuapa: Tramo alto del río.
 - Río Comalapa: Tramo bajo del río.
- **Región Hidrográfica F-Jiboa-Estero de Jaltepeque:**
 - Cuenca del río Jiboa:
 - Cañada San José: Tramo medio del río.
 - Río Jiboa: Tramo bajo del río.
 - Cuenca del Estero de Jaltepeque:
 - Río Huiscoyolapa (afluente del río Jalponga): Tramo medio del río.
 - Río Jalponga: Tramo medio-bajo del río.
 - Río Acomunca: Tramo medio fundamentalmente y tramo bajo del río.
 - Río Sapuyo: Tramo medio fundamentalmente y tramo bajo del río.
 - Río Blanco: Tramo alto-medio del río.
 - Río El Espino (afluente del río Sapuyo): Tramo alto del río.
 - Río Apanta (afluente del río San Antonio o Amate): Tramo alto del río.
 - Río El Puente (afluente del río San Antonio): Tramo medio del río.
 - Río Rosario o Salamar (afluente del río San Antonio): Tramo bajo del río.
 - Río Las Yeguas (afluente del río San Antonio o Amate): Tramo medio del río.
 - Río Angulo (afluente del río San Pedro): Tramo alto-medio del río.
 - Río San Pedro (afluente del río San Antonio o Amate): Tramo bajo del río.
 - Río San Jerónimo (afluente del río San José): Tramo alto del río



- Río Agua Caliente (afluente del río San Ramón y del río Ojushte): Tramo alto del río.
- Río Jalapa (afluente del Río Agua Caliente): Tramo bajo del río.
- Río El Ojushte (afluente del río Guajoyo): Tramo alto y medio del río.
- Río Bravo o El Palomar (afluente del río La Bolsa): Tramo alto del río.
- Río El Caracol o San Felipe: (afluente del Río Los Achiotes): Tramo medio del río.
- Río La Bolsa: Tramo bajo del río
- **Región Hidrográfica G-Bahía de Jiquilisco:**
 - Río Aguacayo, en su parte alta.
 - Quebrada del pueblo, cabecera del río San Lázaro o El Zope
 - Río Chuquito o San Lucas, en su tramo medio.
 - Río El Molino, en su tramo medio.
- **Región Hidrográfica H-Grande de San Miguel:**
 - Río Yoloaiquín:
 - Parte media, aguas arriba del núcleo urbano de Ssan Francisco Gotera.
 - Tributarios en la parte alta del río Yoloaiquín: río El Potrero (tramo medio-bajo) y río Araute (tramo bajo).
 - Río Sesembra en su tramo medio.
 - Río Las Cañas a lo largo de todo el tramo.
 - Río El Pueblo en tramo alto y en sus tributario Los Abelines (tramo medio) y río Chiquito o La Joya (tramo medio).
 - Río Chapeltique en su parte alta.
 - Río Grande de San Miguel:
 - En su tramo medio (agua abajo del núcleo urbano de San Miguel).
 - En su parte baja y en el tributario río El Guayabo (tramo medio-bajo)
- **Región Hidrográfica J-Goascorán:**
 - Quebrada San Eduard en su tramo medio (tributario del río Pasaquina).

Asimismo, se deberán tener en cuenta en fases posteriores del proyecto los usos potenciales y los recursos hídricos destinados a suministrar estos usos.

De acuerdo con lo expuesto en el acápite 3.2. los objetivos de calidad propuestos para los tramos identificados con un uso son:

- Aguas destinadas a consumo humano: Decreto No 51 para aguas crudas complementado con algunos parámetros exigidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para Agua Potable, o recomendados por EPA.
- Aguas destinadas a riego: Decreto 51 complementados con algunos parámetros recomendados por la FAO.
- Aguas destinadas para la propagación piscícola: Decreto 51 complementados con algunos parámetros recomendados por la EPA.
- Aguas destinadas para uso recreativo por contacto directo: recomendaciones de la OMS.

Se considera importante también establecer algunos objetivos para aquellas masas donde no se ha identificado ningún uso. Estos objetivos se proponen para reducir paulatinamente la contaminación y prevenir así el deterioro del recurso y proteger y mejorar su estado.

- $DBO_5 < 4 \text{ mg/l}$
- Oxígeno Disuelto $>6 \text{ mg/l}$
- Coliformes fecales $< 1,000 \text{ NMP/100 ml}$
- Ortofosfatos: $0.1-0.5 \text{ mg P-PO}_4/\text{l}$
- $6 < \text{pH} < 9$
- $\text{NO}_3^- < 25 \text{ mg/l}$
- $\text{NH}_4^+ < 1 \text{ mg/l}$

Las condiciones de referencia de los distintos tipos de masas de agua se podrán establecer cuando se tengan suficientes estudios al respecto.

La implantación de estos objetivos se debe realizar, tal y como se ha comentado, de forma progresiva y teniendo en cuenta la capacidad económica y administrativa de los organismos responsables de alcanzarlos. La legislación europea ya indica que en los casos en los que técnicamente o por las condiciones naturales no es viable cumplir con los objetivos o cuando su cumplimiento conlleva costes desproporcionados, se podrán establecer objetivos menos rigurosos ó en su caso exenciones.

Se recomienda el establecimiento de Guías de calidad para la determinación de indicadores de calidad fisicoquímica y biológica de las aguas que ayuden al establecimiento de objetivos ambientales adaptados a la realidad del país, tarea que se encuentra fuera del ámbito del PNGIRH.



9. REVISIÓN DE LA RED Y RECOMENDACIONES

En este acápite se describe el proceso de revisión preliminar de la red de monitoreo de aguas superficiales que actualmente está en explotación por el MARN, a través de la Dirección General del Observatorio Ambiental. Dicha revisión se ha realizado a partir del cruce del inventario de presiones con los resultados de calidad del agua disponibles, con el fin de detectar las deficiencias de la actual red y proponer mejoras y recomendaciones en cuanto a número de puntos, distribución y parámetros a analizar.

Proximamente se llevará a cabo la toma de muestras y determinaciones analíticas en zonas consideradas *a priori* prioritarias, cuyos resultados servirán de insumo para una revisión definitiva de la red de monitoreo de agua superficial.

9.1. INTRODUCCIÓN

Conscientes del deterioro y la modificación de las características naturales del agua, que provocan alteraciones en el medio ambiente las cuales pueden generar una disminución de la biodiversidad; alteraciones del ciclo biológico; causar enfermedades, tanto por consumo directo como por consumo de productos agrícolas contaminados, con la consecuente disminución de los niveles de salud pública; y limitar la generación de recursos económicos del país por la disminución de determinadas actividades, como como puede ser el turismo, por problemas sanitarios y estéticos; entre los años 2002 y 2006 se diseñó una **Red de Evaluación de la Calidad del Agua**.

La Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA) es la Unidad del MARN de El Salvador que se encarga, entre otras funciones, de explotar la Red de Monitoreo de Calidad de Agua. Desde el año 2006 realiza el monitoreo permanente de la calidad y cantidad de agua, mediante la recolección de muestras y análisis de parámetros de calidad de agua con el propósito de evaluar su condición para permitir el desarrollo de la vida acuática y aptitud para diferentes: agua cruda para potabilizar, agua para riego, agua para contacto recreativo directo y propagación piscícola. También se calcula el índice de calidad de agua, que es un índice de calidad general que lo que proporciona son las condiciones del agua en el lugar.

Inicialmente la red contaba con 114 puntos distribuidos en las 10 regiones hidrográficas para poder determinar la calidad del agua. Posteriormente, se detectó que había zonas importantes del país que no estaban cubiertas adecuadamente en la red, como la zona del Trifinio, en la frontera con Guatemala, por lo que se ubicaron nuevos puntos de muestreo, creciendo la red de monitoreo de 114 a 124 puntos de control. Por los problemas de sequía de hoy en día, el número de sitios de control ha variado, ya que en algún caso, no se puede tomar muestra debido a la falta de agua en el cauce. Así pues, la red consta de 123 sitios de control (Figura 85), en 55 ríos distribuidos en el territorio nacional.

Cada uno de los sitios fue elegido considerando todos los aspectos necesarios para garantizar que sea representativo del curso de agua, es decir, que caracterice la calidad de toda la masa de agua que circula por el sitio en un período de tiempo dado, según lo indicado por los protocolos de monitoreo de calidad y cantidad de agua de la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA).



Figura 85. Red de sitios para la evaluación de la calidad de agua de los ríos a nivel nacional (MARN-DGOA, 2012)

En todos los sitios de muestreo, se realizan mediciones de caudal, mediciones de parámetros “in situ” y toma de muestras para su posterior análisis en el laboratorio, siendo la frecuencia de muestreo y análisis de carácter anual. Los parámetros que se analizan en la red son los que se muestran en la Tabla 65 y la Tabla 66:

Tabla 65. Parámetros seleccionados medidos en campo y su aplicación (MARN-DGOA, 2012).

Parámetros	Unidad	Potabilizar	Riego	Ambiental	Contacto
Temperatura Ambiente	°C			x	
Temperatura del agua	°C			x	
PH	u pH	x	x	x	
Conductividad	Siemens/cm		x		
Turbidez	UNT	x		x	x
Oxígeno disuelto	mg/l	x		x	x

Tabla 66. Parámetros seleccionados para ser medidos en laboratorio a partir de en las muestras recolectadas y su aplicación (MARN-DGOA, 2012)

Parámetros	Unidad	Potabilizar	Riego	Calidad Ambiental	Contacto
DBO ₅	mg/l	x		x	
Ortofosfatos	mg/l			x	
Nitratos	mg/l	x		x	



Parámetros	Unidad	Potabilizar	Riego	Calidad Ambiental	Contacto
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	x		x	
Cloruros	mg/l	x	x		
Sodio	mg/l		x		
Calcio	mg/l		x		
Magnesio	mg/l		x		
Cobre	mg/l	x			
Zinc	mg/l	x			
Coliformes fecales	NMP/100 ml	x	x	x	x
Fenoles	mg/l	x			
Color Aparente	uCo-Pt	x			
CRS	meq/l		x		

Por otra parte, el MARN, a través de la Unidad de Humedales, realiza el monitoreo permanente en la laguna de Metapán, así como en el lago de Güija, ambos pertenecientes al complejo lago de Güija, que fue declarado sitio RAMSAR el 16 de diciembre del 2010.

En la laguna de Metapán se realiza la toma de muestras y mediciones in situ en cuatro sitios de control en los meses de septiembre, octubre y noviembre, tanto de en agua como en sedimento. En la Figura 86 se muestra la localización de dichos sitios de control.

Mediante la explotación de esta red se pretende establecer una línea base de información de calidad de agua de La Laguna de Metapán y su afluente el Río San José.

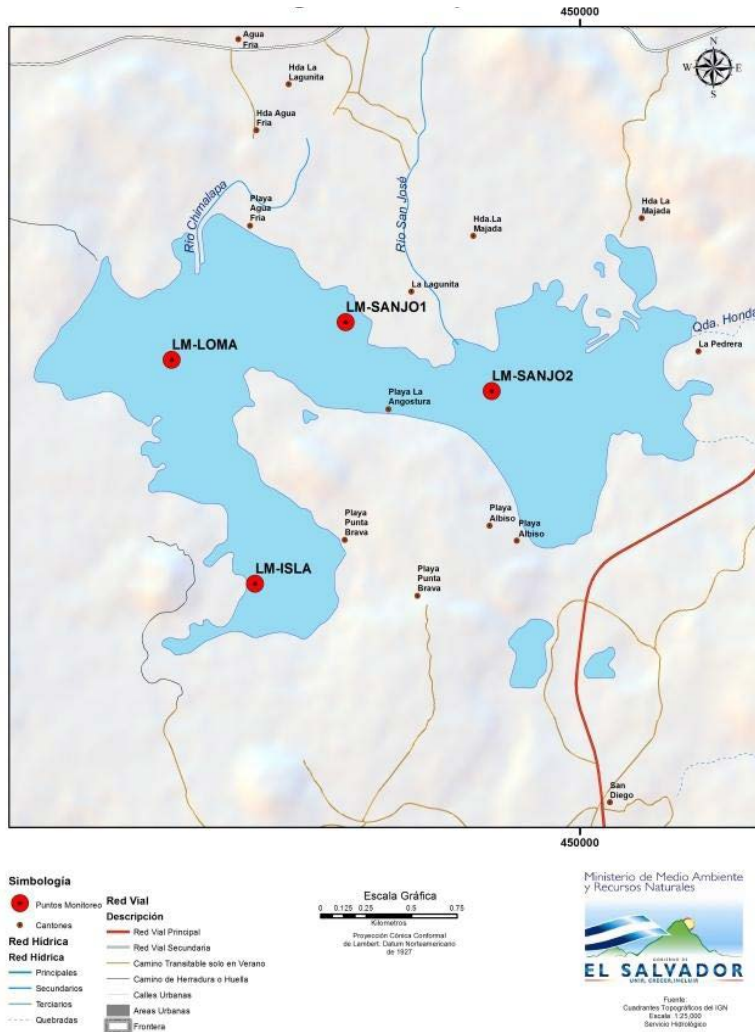


Figura 86. Sitios de control para la evaluación de la calidad de agua en la laguna de Metapán (MARN, 2012h)

En estos puntos se realizan mediciones in situ y se realiza la toma de muestras tanto de agua como de sedimento, para su posterior análisis en laboratorio. Los parámetros analizados en las muestras de agua se muestran en la **Tabla 67**. No se encuentra el origen de la referencia..

Tabla 67. Parámetros medidos en las muestras recolectadas de agua en la Laguna de Metapán (MARN, 2012h)

Parámetros	Unidad
Oxígeno disuelto	% Saturación
Coliformes fecales	NMP/100 ml
DBO ₅	mg/l
Nitratos	mg/l
Fosfatos	mg/l



Parámetros	Unidad
Temperatura	°C
Turbidez	UNT
Sólidos disueltos totales	mg/l
Cianuros	mg/l
Cobre	mg/l
Cinc	mg/l
Plomo	mg/l
Aluminio	mg/l
Cadmio	mg/l
Níquel	mg/l

En cuanto a los sedimentos, se analizan los parámetros que se muestran en la Tabla 68:

Tabla 68. Parámetros medidos en las muestras recolectadas de sedimento en la Laguna de Metapán (MARN, 2012h)

Parámetros	Unidad
Plomo	mg/kg
Aluminio	mg/kg
Cadmio	mg/kg
Níquel	mg/kg
Cobre	mg/kg
Cinc	mg/kg

Por otro lado, se realiza el monitoreo en el Lago de Güija y sus afluentes, Angue, Ostúa y Cusmapa, con el fin de obtener información de los niveles tóxicos presentes en estos cuerpos de agua, ya que al tratarse de una cuenca compartida con Guatemala, es susceptible de presentar contaminación proveniente de las actividades antrópicas que se generan tras la frontera.

La red consta de nueve puntos, donde se toman muestras tanto de agua como de sedimentos, y cuya ubicación se muestra en la Figura 87:

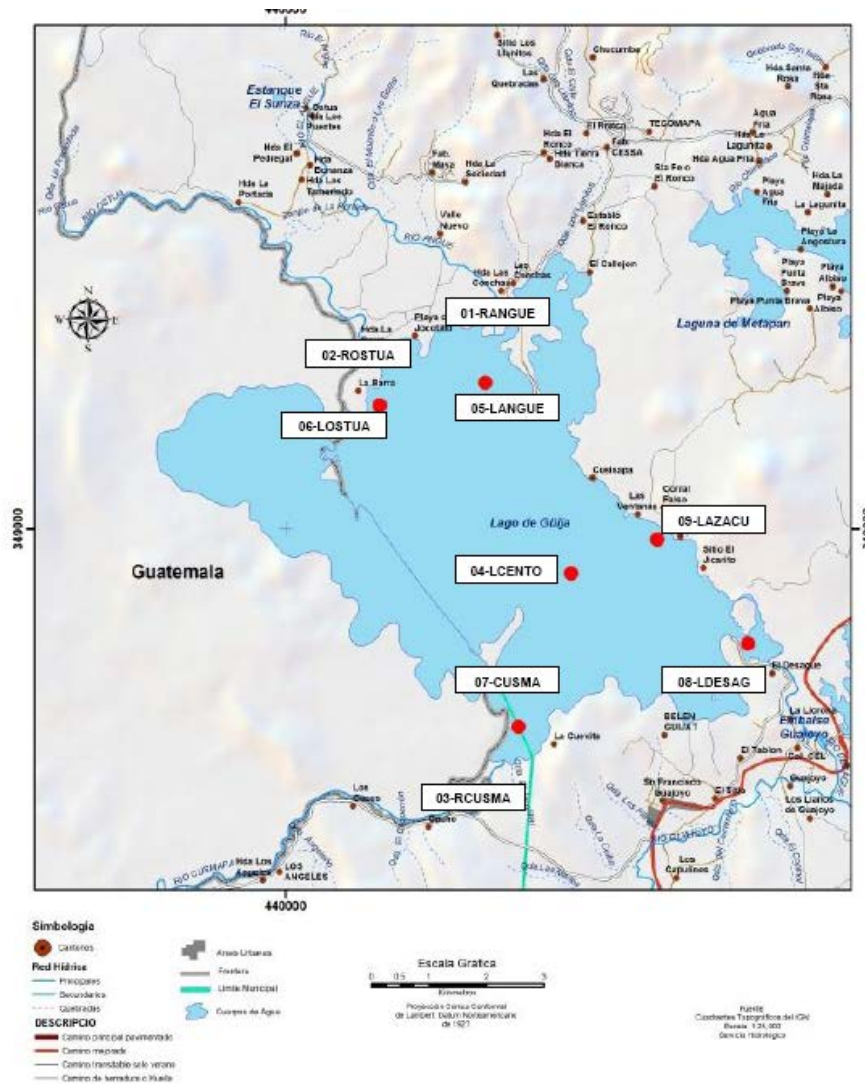


Figura 87. Sitios de control para la evaluación de la calidad de agua en el lago de Güija y sus afluentes (MARN, 2012f)

En cada punto se analizan parámetros in situ de calidad con una sonda multiparamétrica y se realiza la medida de transparencia con el Disco de Secchi. Por otro lado lleva a cabo el análisis de elementos tóxicos, los cuales se muestran en la Tabla 69, Tabla 70, Tabla 71 y Tabla 72.

Tabla 69. Parámetros medidos en las muestras recolectadas de agua en los ríos Angue, Cusmapa y Ostúa, tributarios del lago Güija (MARN, 2012f)

Parámetros	Unidad
Cianuros	mg/l
Cobre	mg/l
Cinc	mg/l



Parámetros	Unidad
Plomo	mg/l
Aluminio	mg/l
Cadmio	mg/l
Níquel	mg/l
Arsénico	mg/l
Mercurio	mg/l

Tabla 70. Parámetros medidos en las muestras recolectadas de agua en lago Güija (MARN, 2012f)

Parámetros	Unidad
Cianuros	mg/l
Cobre	mg/l
Cinc	mg/l
Plomo	mg/l
Aluminio	mg/l
Cadmio	mg/l
Níquel	mg/l

Tabla 71. Parámetros medidos en las muestras recolectadas de sedimento en los ríos Angue, Cusmapa y Ostúa, tributarios del lago Güija (MARN, 2012f)

Parámetros	Unidad
Cromo Hexavalente	mg/kg
Cobre	mg/kg
Cinc	mg/kg
Plomo	mg/kg
Aluminio	mg/kg
Cadmio	mg/kg
Níquel	mg/kg
Arsénico	mg/kg
Mercurio	mg/kg

Tabla 72. Parámetros medidos en las muestras recolectadas de sedimento en lago Güijja (MARN, 2012f)

Parámetros	Unidad
Cromo Hexavalente	mg/kg
Cobre	mg/kg
Cinc	mg/kg
Plomo	mg/kg
Aluminio	mg/kg
Cadmio	mg/kg
Níquel	mg/kg

A continuación se describen la metodología seguida y los criterios establecidos para realizar la revisión de estas redes de monitoreo y definir así la ubicación de nuevas estaciones de control propuestas. Esta revisión se ha basado fundamentalmente en los resultados obtenidos en la explotación de las redes descritas, las causas y fuentes de contaminación inventariadas y las características propias del terreno.

También se ha propuesto aumentar el número de parámetros a analizar en las distintas estaciones pues se consideran necesarios para conocer realmente la calidad de las aguas.

9.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PUNTOS DE CONTROL DE LAS REDES DE MONITOREO

Se ha realizado la revisión de la red de monitoreo de aguas superficiales existente para conseguir los siguientes objetivos:

- Conocer el estado actual de la calidad del agua superficial
- Que sirva de base para adoptar estrategias para combatir la contaminación
- Vigilar de manera sistemática la calidad de las aguas afectadas por vertidos urbanos o industriales, y en concreto, controlar el efecto que produce la emisión de sustancias peligrosas en el medio acuático receptor
- Evaluar el cumplimiento de la normativa vigente
- Que en un futuro sea capaz de evaluar la efectividad de las posibles medidas adoptadas para el control y la reducción de la contaminación

De forma general, la revisión de la ubicación de las estaciones de control de aguas superficiales se ha realizado en base a los siguientes criterios generales:

- Se han ubicado estaciones de control en los ríos con entradas y salidas del País
- Se han ubicado estaciones de control en la cabecera de los principales ríos para conocer las condiciones de referencia
- En aquellos cuerpos en los que se han identificado presiones importantes de fuentes puntuales, se ha valorado si hay suficientes puntos como para evaluarla tanto la magnitud y el impacto de las más importantes como del conjunto de todas ellas
- Para masas de agua que presentan presiones importantes de fuentes difusas se ha evaluado si el número de puntos y la ubicación de los mismos son los adecuados para evaluar el impacto que generan

- Se han ubicado nuevos puntos de control en aquellos cuerpos de agua en los que se han identificado presiones destacables y no tienen datos de calidad.
- Se ha dado prioridad a las zonas de especial relevancia medioambiental, situadas en el ámbito geográfico de la zona de estudio.
- Se ha priorizado también la presencia de bocatomas de agua destinada a riego y consumo humano (condiciones prepotables).

A continuación se describen los criterios específicos por los que se han reubicado determinadas estaciones de monitoreo actuales o seleccionado nuevas. Al final de este apartado se presentan unas tablas en las que se indica el motivo de la selección.

Establecer las condiciones de referencia del cauce

En la cabecera de los principales cauces es necesario establecer un punto de muestreo para definir las condiciones de referencia, es decir, naturales del río. Para que esta muestra sea representativa debe tomarse en un punto suficientemente alejado de fuentes de contaminación antrópica que puedan ejercer un efecto significativo sobre estas condiciones naturales.

Conocer la calidad de las aguas a la entrada y salida del País

Se han ubicado puntos en todos los ríos principales a la entrada y salida del país, para así conocer las características de calidad del agua

Controlar la influencia del terreno y la afección de los cauces secundarios sobre los ríos principales

A lo largo del recorrido hacia su desembocadura, los ríos reciben aportes del terreno sobre el que discurre la cuenca y de los cauces secundarios que drenan en el mismo. Para controlar la evolución de las características del agua del río a lo largo de dicho recorrido, así como la influencia que tienen estos aportes sobre el mismo, es necesario establecer una serie de puntos de control intermedios.

Para ello se ha llevado a cabo una ramificación del cauce (en principio zona *alta, media y baja*), dónde se han situado puntos de monitoreo, con el fin de asegurar el correcto seguimiento del cambio en las condiciones del agua. Así, de acuerdo con las características específicas de cada cauce, puede resultar necesario establecer más de un punto en cada tramo, para asegurar la correcta caracterización del río.

En el caso concreto de la confluencia entre ríos, de forma general se establecerán tres puntos de muestreo: uno en el cauce del río principal, aguas arriba de la confluencia de la desembocadura del río considerado como secundario, cuyo objeto es definir las condiciones del agua del río principal antes de recibir los aportes del segundo, otro, en el río considerado como secundario, aguas arriba de la confluencia para definir las características del aporte, y finalmente un tercero, en el cauce del río principal, aguas abajo de la desembocadura del río secundario para controlar su influencia.

En líneas generales, el último punto de monitoreo de cada río corresponderá al de su desembocadura (bien sea en el océano o en un cauce de mayor entidad); este punto servirá como referencia de sus condiciones de salida y por tanto (junto con el de su parte más alta) de control del río en su conjunto

Controlar la influencia de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas, botaderos operativos o clausurados, zonas de explotación minera y pasivos ambientales

Una de las principales presiones sobre la calidad del agua de los ríos está asociada a los vertidos de efluentes de aguas residuales domésticas crudas o provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, además, también está asociada a la presencia de actividades agrícolas, industriales y mineras. Éstas actividades provocan contaminación tanto de origen puntual (vertidos) como difusa (escorrentía asociados a agricultura, botaderos y pasivos ambientales, que acaban, tarde o temprano, alcanzando los cauces).

Con el fin de controlar la influencia real que generan sobre la calidad del agua de los ríos, se han establecido una serie de puntos de control aguas abajo de las principales fuentes de contaminación identificados.

Controlar la calidad del agua de lagunas, lagos, cuerpos de agua artificiales y zonas de especial protección ambiental

También se han establecido una serie de estaciones de monitoreo para controlar las características de la calidad de agua de lagos y lagunas presentes. Se ha seleccionado un punto de control a la entrada (en el tributario principal) y otro a la salida para controlar la evolución de la calidad del agua como consecuencia de su paso por el cuerpo de agua

No se han ubicado estaciones de control en los ríos intermitentes o de poco caudal y en las pequeñas lagunas que no presenten presiones significativas

Es importante destacar que en la red de monitoreo propuesta existen muchas estaciones de control que responden a varios de los criterios expuestos (puntos multipropósito), con los que se puede controlar diferentes aspectos de los indicados a la vez.

9.3. CODIFICACIÓN DE LOS NUEVOS PUNTOS DE CONTROL DE LAS REDES DE MONITOREO

Para codificar las nuevas estaciones de control propuestas se ha seguido el sistema de codificación de las estaciones de muestreo de aguas superficiales adoptado por el MARM (DGOA 2006 – 2011), que se basa en la siguiente estructura:

(Letra – XX- nombre de cauce).

- La letra que corresponde a la región hidrográfica dónde se ubica el punto (ver Tabla 73):

Tabla 73: Letra asignada a cada Región Hidrográfica

Región Hidrográfica	
Lempa	A
Paz	B
Cara Sucia - San Pedro	C
Grande de Sonsonate - Banderas	D
Mandinga - Comalapa	E



Región Hidrográfica	
Jiboa-Estero de Jaltepeque	F
Bahía de Jiquilisco	G
Grande de San Miguel	H
Sirama	I
Goascorán	J

- Dos dígitos que hacen referencia al número de puntos que existen en el tramo de río:
 - o 01. Primer punto de muestreo.
 - o 02. Segundo punto de muestreo.
 - o X1: Cuando se desconoce el número de puntos, se ha utilizado la expresión X + número.

- Las cinco o seis primeras letras del nombre del cauce en mayúsculas:
 - o CONCHA
 - o IPAYO
 - o SOYATE, etc.

- En los casos en los que se propone desplazar un punto de la red MARM, este se ha renombrado con el mismo código del MARM seguido de **(1)**.
 - o A-01-ANGUE (1)
 - o A-02-GRANDE (1)
 - o A-03-METAY (1)

9.4. SELECCIÓN DE BATERÍAS DE ANÁLISIS

Se ha realizado también una evaluación de los parámetros que se considera necesario analizar para realizar una correcta caracterización de la calidad de las aguas. Para ello se han tenido en cuenta tanto las características naturales del terreno como las principales fuentes y causas de contaminación presentes, así como la normativa vigente.

Parámetros “in situ”(ver Tabla 74)

Tabla 74: Parámetros “ins situ” propuestos

Parámetros “in situ”
Temperatura del agua (°C)
Temperatura Ambiente (°C)
Concentración oxígeno disuelto (mg/l)
Saturación oxígeno disuelto (%)

Parámetros “in situ”
pH
Conductividad eléctrica a 20°C (µS/cm)

Batería A: parámetros básicos(ver Tabla 75)

Tabla 75: Batería de parámetros básicos

Parámetros Batería A	
Sólidos sedimentables (mg/l)	Fósforo total (mg P/l)
Sólidos suspendidos (mg/l)	Fosfatos (meq P-PO4/l)
Sólidos disueltos totales (mg/l)	Amonio total (mg N-NH4+/l)
Color (ud Co-Pt)	Amoniaco no ionizado (mg NH3/l)
Turbidez (NTU)	Nitrógeno Kjeldahl (mg N/l)
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	Nitratos (mg N-NO3-/l)
Coliformes totales (NMP/100 ml)	Nitritos (mg N-NO2/l)
Aceites y grasas (mg/l)	Fenoles (mg/l)
DQO (mg/l)	Detergentes (mg/l)
DBO (mg/l)	Sodio (meq Na+/l)
Sulfatos (meq SO42-/l)	Calcio (meq Ca2+/l)
Cloruros (meq Cl-/l)	Carbonatos
Magnesio (meq Mg2+/l)	Bicarbonatos
Boro (mg/l)	Potasio

Batería B: metales (ver Tabla 76)

Tabla 76: Parámetros de la Batería B “Metales”

Parámetros Batería B	
Plomo (mg/l)	Cinc (mg/l)
Arsénico (mg/l)	Cobre (mg/l)
Cadmio (mg/l)	Cobalto (mg/l)
Cromo total (mg/l)	Estaño (mg/l)
Mercurio	Selenio (mg/l)
Aluminio	Hierro (mg/l)
Niquel (mg/l)	Manganeso (mg/l)

Batería C: plaguicidas (ver Tabla 77):

Tabla 77: Parámetros de la Batería C “Plaguicidas”

Parámetros Batería C
Organoclorados (µg/l)
Organofosforados (µg/l)
Glifosatos (ug/l)
Carbamatos (ug/l)

Batería D: otros parámetros (ver Tabla 78):

Tabla 78: Parámetros de la Batería D “Otros parámetros”

Parámetros Batería D
Sulfuros (mg/l)
Fluoruros (mg/l)
Cianuros (mg/l)

9.5. PRESENTACIÓN DE LAS REDES DE MONITOREO PROPUESTAS

Como resumen de esta revisión se puede decir que se han seleccionado 147 nuevas estaciones de control, distribuidos de la siguiente manera (ver Tabla 79)

Tabla 79: Tabla resumen del número de estaciones propuestas en el proceso de revisión de la red de monitoreo de aguas superficiales.

Zona Hidrográfica		Región Hidrográfica	
Río Lempa	77	Lempa	77
Paz - Jaltepeque	51	Cara Sucia - San Pedro	6
		Grande de Sonsonate - Banderas	3
		Jiboa-Estero de Jaltepeque	14
		Mandinga - Comalapa	22
		Paz	6
Jiquilisco - Goascorán	19	Bahía de Jiquilisco	4
		Goascorán	3



Zona Hidrográfica		Región Hidrográfica	
		Grande de San Miguel	11
		Sirama	1
TOTAL	147	TOTAL	147

Dentro de estos 147 nuevos puntos, se incluyen 27 que se corresponden con un cambio de ubicación de los propuestos por el MARN para que sean más representativos (representados en la tabla general con sombreado de color rojo).

En el Anexo V, se adjunta un plano (apéndice V.1) donde se puede observar la distribución de los puntos de monitoreo propuestos. Asimismo se incluye una tabla (apéndice V.2) donde se detalla toda la información referente a cada sitio de control.

10. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En materia de calidad de aguas superficiales, y a la vista de la información procesada, se ha observado una serie de problemas comunes a lo largo del territorio salvadoreño, que en gran medida se debe al bajo índice de cobertura de alcantarillado sanitario en el país (que se concentra en un alto porcentaje en San Salvador), y al prácticamente inexistente tratamiento de las aguas residuales urbanas e industriales antes de su vertido a las aguas superficiales y al terreno, lo que acaba contaminando seriamente las aguas superficiales y subterráneas. De hecho aún en el caso de disponer de sistema de alcantarillado, las aguas acaban siendo vertidas sin una depuración previa, por lo que los problemas de salubridad y calidad del agua no son eliminados sino que se trasladan a otros puntos de la red de drenaje. Esta situación se hace especialmente peligrosa en aquellas zonas receptoras en las que se usan las aguas de los ríos para atender necesidades domésticas, como lavar la ropa, aseo personal o incluso el consumo directo de las mismas, con el consecuente impacto sobre la salud, sobre todo en época seca, cuando hay una menor dilución de los vertidos que se producen aguas arriba, y por lo tanto llega una mayor carga contaminante por unidad de volumen consumido.

En las zonas rurales además se suma el problema de la letrinización, que es muy baja en el país, a pesar de algunos proyectos ejecutados en el pasado, y que en las condiciones actuales suponen un foco de contaminación de las aguas subterráneas, y un foco de afecciones a la salud de la población.

Además de las presiones por vertidos directos a cauce de aguas residuales de tipo ordinario y especial, otra presión de tipo puntual sobre las aguas superficiales puede ser la actividad acuícola, para la que cabe destacar la producción en el departamento de Usulután, principalmente de camarón marino, aunque la afección a la calidad del agua que pueda producir, se genera esencialmente sobre la Bahía de Jiquilisco, ubicada en la Zona Hidrográfica III-Jiquilisco-Goascorán.

Además de estos problemas, hay gran cantidad de zonas de acopio de desechos sólidos en las proximidades de los cursos de agua, lo que acaba lixiviando a las aguas superficiales y subterráneas, y provocando grandes problemas de calidad de aguas y salud pública. A esta situación se le suma un más que probable uso inadecuado de los fitosanitarios y abonos, lo que supone cambios en la química del suelo y el agua, un exceso de nutrientes en ambos compartimentos, y la presencia de contaminantes persistentes en algunas zonas.

Lo más característico es que hay una destacable contaminación bacteriológica en la mayor parte del país, lo que indica que hay gran cantidad de vertidos de tipo ordinario y especial que se realizan a lo largo de las distintas cuencas a las aguas superficiales sin una adecuada depuración, y mayoritariamente con una ausencia total de tratamiento. Debido a estos vertidos también se ha registrado cierta contaminación orgánica, con frecuencia acompañada por una desoxigenación de los principales cauces y lagos/embalses, que en ocasiones es de gran relevancia, rozando la anoxia. También hay elevadas concentraciones de fenoles a lo largo de la mayor parte de la cuenca, otro indicador de contaminación de tipo antropogénico. Debido a los niveles de los parámetros anteriormente comentados, es totalmente desaconsejable el consumo por parte de la población de las aguas superficiales sin un tratamiento previo que incluya desinfección, sobre todo a la vista de los niveles de coliformes fecales disponibles. También es desaconsejable el uso de las aguas para riego de cultivos que se consuman frescos, como es el caso de los productos hortícolas.

En materia de nutrientes, por lo general no se registran concentraciones elevadas de nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal, pero sí destacan las concentraciones de ortofosfatos, que con frecuencia se mantienen bastante por encima de los límites que recomienda la EPA a partir de los cuales pueden hacerse evidentes problemas de

eutrofización en los ríos y lagos. A este respecto, es posible que haya un componente de contaminación natural (andisoles, suelos derivados de cenizas volcánicas que presentan capacidad de fijación del fósforo), pero no se dispone de suficientes datos para establecer si efectivamente hay un componente natural. Pero es probable que la actividad agrícola que predomina en el país esté aportando una cantidad importante de fosfatos a las aguas. Estos niveles se ven agravados por los aportes industriales y domésticos que se concentran en determinadas zonas.

También se detecta ciertos niveles de cobre a lo largo de la región hidrográfica, que aunque no resulta elevado para el consumo de aguas crudas tras un tratamiento convencional, no lo es tampoco para el riego; a la vista de los datos disponibles sí es superior con frecuencia a los límites a partir de los cuales, según EPA, podrían producirse efectos agudos o crónicos sobre los peces.

En materia de conductividad, pH y sales, por lo general se detectan pocos problemas por valores extremos, por lo que habrá pocas afecciones sobre la vida piscícola y el riego. En cuanto a los sólidos totales disueltos, la turbidez y el color, las zonas más contaminadas sí presentan importantes afecciones sobre estos parámetros, mientras en el resto de la cuenca se mantienen en valores que no superan las recomendaciones y/o normas para riego, vida piscícola y aguas crudas que hayan de pasar por un tratamiento convencional.

Adicionalmente, se han identificado otras presiones como aquellas causadas por las especies invasoras. En la Estrategia Nacional de Biodiversidad (MARN, 2013e), ya se menciona la problemática de este hecho como consecuencia de los desequilibrios de los ecosistemas. Las especies invasoras más importantes identificadas en el país son: la Tilapia (*Oreochromis Sp.*), el Guapote tigre (*Cichlasoma sp*), el Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) o el Pato Chancho o Cormorán Neotropical (*Phalacrocorax Brasilianus*).

En lo que respecta a la representatividad de los datos de calidad de aguas superficiales de MARN (DGOA), hay algunas incongruencias que resultan recurrentes en los datos observados para las distintas regiones hidrográficas. El primero de ellos es la falta de concordancia en algunos máximos de coliformes fecales, con las concentraciones de DBO_5 y de oxígeno disuelto, que en ocasiones se mantienen bajas en el primer caso, y altas en el segundo; esta situación no parece ser propia de una zona altamente contaminada, ya que los tres parámetros suelen ir correlacionados de esta manera.

Resulta llamativa también la desoxigenación registrada en el año 2011 a lo largo de todo el país, siendo dicho año considerado hidrológicamente húmedo, y observándose que este descenso generalizado del oxígeno en el agua no va acompañado por un aumento significativo de otros parámetros, como la DBO_5 , la conductividad o los sólidos. Es por ello por lo que podría pensarse en que se haya producido algún problema técnico con el sensor de oxígeno disuelto en dicha campaña de muestreos, aunque con la información que se tiene disponible no se puede corroborar.

También resulta destacable la elevada frecuencia con que se han observado altos valores de fenoles a lo largo del país. A este respecto, en zonas con alta contaminación de origen doméstico e industrial es posible detectarse esos niveles en el agua, pero resulta llamativa la frecuencia con la que éstos se presentan. Sería por tanto recomendable realizar una revisión del procedimiento seguido en el laboratorio para descartar posibles contaminaciones cruzadas que estén generando falsos positivos durante las determinaciones, ya que quizá éste podría ser, al menos en algunas ocasiones, los motivos por el que se cuantifiquen valores tan altos a lo largo de toda la cuenca del Lempa y tributarios.

En lo que respecta al cobre, es muy probable que los valores facilitados no sean igual a 0.01 mg/l, sino inferior a 0.01 mg/l, es decir, que este valor sea en realidad el límite de detección de la técnica analítica, y no un valor en concreto, con lo que en realidad ese valor estaría indicando que hay ciertos niveles de cobre en el agua, pero que

no han podido ser cuantificadas (<0.01 mg/l, y $no = 0.01$ mg/l). Con ello los niveles de cobre serían más bajos de lo que aparenta a la vista de los resultados aunque sí es evidente que hay presencia de este metal a lo largo de las cuencas; es esperable que parte de este cobre pueda tener origen natural (zonas de interés minero; fuentes epitermales), aunque también puede estarse aumentando vía antropogénica, lo que resulta más evidente en las zonas más contaminadas de la región.

Con cierta frecuencia se observan también falta de correlación entre las concentraciones de color aparente, con los TDS, turbidez, DBO_5 y conductividad. Es muy probable que en estas ocasiones en los que hay falta de correlación se deba a una sobrestimación de los valores de color aparente.

En relación a la **calidad de las aguas costeras**, en el año 2012 el MARN llevó a cabo el análisis en 27 puntos del litoral salvadoreño, repartidos entre playas (21), esteros y bocananas (6) del que se concluyó que en cuanto a la calidad bacteriológica, cerca del 70% de las playas evaluadas, presentaron una valoración “muy buena” para actividades recreativas con contacto humano, de acuerdo a la norma *OMS 2003 Guidelines for safe recreational water environments. Vol 1* y el 30% restante resultó con una calidad apta para este tipo de actividades (MARN, 2012^a).

Se recomienda realizar el seguimiento continuado de calidad de las aguas costeras, puesto que estas aguas poseen una elevada importancia ecológica, biológica, económica y sociopolítica y se encuentran expuestas a importantes presiones de origen antropogénico que pueden causar una afección a dicho recurso.

En cuanto a la calidad de las aguas subterráneas, y a la vista de los datos disponibles, en todas aquellas masas que disponen de datos en materia de contaminación bacteriológica han dado resultado positivo, siendo en ocasiones la contaminación por coliformes fecales muy elevada. Su origen es doméstico y del ganado, aunque también de industrias cuya actividad se centra en los animales vivos y los productos del reino animal. En estos casos, de destinarse las aguas al consumo humano deben ser sometidas previamente a un proceso de desinfección.

Otras afecciones generalizadas en buena parte de las masas estudiadas se deben a la existencia de concentraciones de algunos metales y sales por encima de los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria: NSO. 13.49.01:09, relativa al uso del recurso como agua potable. Es el caso de metales como el hierro y el manganeso, que tienen comportamientos hidroquímicos parecidos, y cuyo aumento en las aguas subterráneas puede estar relacionado con un proceso de acidificación de las mismas, de distinto origen (contextos volcánicos, procesos mineros, tratamientos industriales, etc.). En casos mucho más puntuales, se han detectado elevadas concentraciones de plomo, cuyo origen puede estar en la posible corrosión de tuberías a pH relativamente bajos, o en la infiltración de carburantes, entre otros; concentraciones de arsénico en algunos pozos en San Miguel, que está asociado al volcán de San Miguel, y que se transporta de las partes altas de la cuenca hacia las partes bajas donde se localizan los pozos, por medio de formaciones permeables; y concentraciones de mercurio en algunos pozos en el municipio de Concepción Batres (Departamento de Usulután), que puede tener su origen en el uso de agroquímicos en los alrededores de los pozos y la presencia de explotaciones mineras artesanales.

En el caso de las sales, abundan el calcio, el potasio y el magnesio, con frecuencia a niveles de nuevo superiores a los LMP; podría tratarse de problemas relacionados con el uso de fertilizantes y de reacciones químicas en el suelo como consecuencia de dicho uso de forma inadecuada.

Además de las sales y los metales, en algunos pozos se ha observado un exceso de nitratos, sobre todo en el distrito de riego de Zapotitán (Departamento de La Libertad), y en algunos pozos en el municipio San Miguel, en los que se

observan concentraciones muy elevadas. Es importante tener en consideración que se trata de un químico orgánico de alto riesgo para la salud, por lo que no es recomendable el consumo de aguas cargadas de nitratos.

En los Departamentos de San Salvador y de La Libertad (en el municipio de Antigua Cuscatlán), se han registrado bajos valores de pH, muy por debajo de 6 unidades, LMP para las aguas potables. Se estima que pueden deberse a un flujo ácido de origen volcánico-hidrotermal, por la cercanía del volcán de San Salvador; asimismo, tratándose de una zona densamente poblada contigua al municipio de San Salvador, puede estar produciéndose cierto aporte de contaminantes derivados las actividades desarrolladas en la zona, como ciertos metales, que de forma indirecta producen una acidificación del agua.

Por último, se ha identificado otras presiones, como es la causada por la intrusión salina. Aquellas MASub limítrofes a la costa con una reducción del flujo o una alteración de la dirección del flujo, como consecuencia de la sobreexplotación de las aguas, están en riesgo por problemas de intrusión. De hecho se han identificado ciertas zonas en alto riesgo de intrusión salina en el Departamento de Ahuachapán, a la vista de los datos disponibles de conductividad, TDS y sales como los cloruros, entre otras, ante lo que es recomendable evitar la explotación del acuífero profundo ya que la probabilidad de encontrar la masa de agua salada es mayor en esta zona.

A la vista de las importantes **presiones e impactos identificados en las masas de agua superficiales y subterráneas**, la gestión de las aguas residuales, a través de plantas de tratamiento de aguas residuales, y la construcción de alcantarillado sanitario; así como el control y desmantelamiento de los botaderos incontrolados, y su sustitución por rellenos sanitarios debidamente implantados, son las principales tareas a abordar para la mejora generalizada de la calidad de las aguas superficiales, y para prevenir el deterioro de las aguas subterráneas. Los esfuerzos deben maximizarse en las zonas más pobladas y concentradas del país, con la finalidad de reducir el fuerte impacto que están suponiendo sobre el medio ambiente. Ello no quita con que el esfuerzo no deba generalizarse a los pequeños asentamientos poblacionales distribuidos a lo largo del país en zonas rurales, y que carecen en muchas ocasiones por completo de una solución digna a sus problemas de saneamiento, y que repercute en la salud de los pobladores y del ecosistema en general. A este respecto, y tal y como se pone de manifiesto en el PNODT (MARN, MOP, VMVDU, 2004), *parece por tanto claro que el plantear como objetivo a medio y largo plazo la progresiva letrización en el país, pasa por impulsar de manera gradual y de acuerdo a las capacidades locales, el fortalecimiento de la gestión municipal. En las circunstancias actuales, en general, las municipalidades no poseen los medios suficientes, técnicos y económicos, para complementar la gestión de sistemas de alcantarillado de ANDA.*

La mejora de la calidad del agua es uno de los principales objetivos de la planificación hidrológica, con la finalidad de tratar de **alcanzar el buen estado de las aguas superficiales y subterráneas**, previniendo su deterioro y protegiendo, mejorando y regenerando las aguas y reduciendo progresivamente la contaminación. Para el logro de estos propósitos, un condicionante esencial es la **definición de objetivos medioambientales**, que permitan realizar una adecuada gestión del recurso hídrico. Es también importante una formulación de objetivos realistas, los cuales deben adaptarse a la capacidad económica y administrativa del país e ir ajustándola progresivamente. A este respecto, y a la vista de la calidad general del agua en las zonas hidrográficas estudiadas, por el momento no se ha observado ninguna estación de monitoreo inalterada, es decir, que no presente presiones aguas arriba, y por lo tanto que sea apta para establecer las **condiciones naturales del agua**, punto inicial para la definición de los objetivos ambientales.

La determinación de los usos actuales, los perfiles de calidad de los cuerpos de agua y las condiciones de referencia, constituyen el punto de partida en el proceso de establecer objetivos de calidad de los cuerpos de agua. Se recomienda para ello el establecimiento de **Guías de calidad para la determinación de indicadores** de calidad fisicoquímica y biológica de las aguas que ayuden al establecimiento de objetivos ambientales adaptados a la



realidad del país. A su vez, se recomienda el establecimiento de **Guías de análisis de presiones e impactos sobre masas de agua**, que permitan la determinación de las presiones significativas, a través de la definición de criterios y valores umbral. Para la elaboración de ambas guías se requiere de estudios específicos, los cuales se encuentran fuera del ámbito de competencia del PNGIRH, pero que pueden surgir como una necesidad en los planes de acción.

Por el momento, los objetivos de calidad propuestos para los tramos identificados con un uso son los expuestos para los usos de consumo humano, riego, propagación piscícola y uso recreativo contemplados en el Decreto 51, y complementados con recomendaciones internacionales como FAO, EPA y OMS. Además, se han establecido una serie de recomendaciones para aquellas masas donde no se ha identificado ningún uso, con el fin de reducir paulatinamente la contaminación y prevenir así el deterioro del recurso y proteger y mejorar su estado. Para ello se ha recomendado bajos niveles de materia orgánica, nutrientes y coliformes, buena oxigenación y pH en valores neutros, evitando valores extremos.

Como recomendación adicional, resultaría de gran importancia realizar una **revisión crítica de la actual Norma Salvadoreña Obligatoria de aguas residuales descargadas a cuerpo receptor (NSO.13.49.01:09)**, con la finalidad de moderar los extremadamente permisivos valores máximos permisibles establecidos en la Tabla 2 de la citada norma, sobre todo en materia de DBO y DQO, ya que con esos valores tan elevados los impactos sobre las aguas receptoras resultan inevitables. Del mismo modo, se hace necesario mejorar sustancialmente la situación de los vertidos ordinarios, que por el momento prácticamente carecen de un tratamiento mínimo antes de su vertido al medio receptor.



11. REFERENCIAS

- Demarcación Hidrográfica del Júcar. (2013). *Proyecto del Plan Hidrológico. Demarcación Hidrográfica del Júcar. Anejo 9.*
- FAO. (1997). Obtenido de Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55) y 1997: <http://www.fao.org/docrep/w2598s/w2598s00.HTM>
- Soil Remediation Circular.* (2009). Obtenido de <http://www.esdat.net>
- ANDA- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (2013). Obtenido de <http://www.anda.gob.sv/>
- CEL - Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del río Lempa. (2013). Obtenido de <http://www.cel.gob.sv/>
- CNR - Centro Nacional de Registros de la República de El Salvador. (2013). Obtenido de <http://www.cnr.gob.sv/>
- FISDL - Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local. (2013). Obtenido de <http://www.fisdl.gob.sv/>
- Agroindustrias Alarcón S.A. de C.V. (2011). *Informe ambiental año 2011.*
- Aguilar, N. d. (2012). *Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para agua apta para consumo humano de Concepción, Quezaltepeque, Chalatenango.*
- Alcaldía de Conchagua. (s/f). *Alcaldía Municipal de Conchagua.* Recuperado el 2013, de <http://www.alcaldiadeconchagua.gob.sv/>
- Alcaldía de San Miguel. (2012). *Alcaldía Municipal de San Miguel.* Recuperado el 2013, de <http://www.alcaldiasanmiguel.gob.sv/>
- Alcaldía de San Vicente. (2013). *Alcaldía de San Vicente.* Recuperado el 2013, de <http://www.alcaldiadesanvicente.gob.sv/>
- Alcaldía de Santa Tecla. (2012). *Alcaldía de Santa Tecla Ciudad Digital.* Recuperado el 2013, de <http://www.santatecladigital.gob.sv/>
- Alcaldía de Sonsonate. (2010). *Alcaldía Municipal de Sonsonate.* Recuperado el 2013, de <http://www.alcaldiadesonsonate.org/>
- Alcaldía Municipal de Ahuachapán. (2012). *Alcaldía Municipal de Ahuachapán.* Recuperado el 2013, de <http://www.alcaldiadeahuachapan.org.sv/>
- Alcaldía Municipal de Chalatenango. (2013). *Municipalidad de Chalatenango.* Recuperado el 2013, de <http://www.chalatenango.gob.sv/>
- Alcaldía Municipal de Cojutepeque . (s/f). *Municipalidad de Cojutepeque.* Recuperado el 2013, de <http://www.cojutepeque.gob.sv/>
- Alcaldía Municipal de San Francisco Gotera. (2011). *Alcaldía Municipal San Francisco Gotera.* Recuperado el 2013, de <http://alcaldiasanfranciscogotera.com/>
- Alcaldía Municipal de Santa Ana. (2010). *Alcaldía Municipal de Santa Ana.* Recuperado el 2013, de <http://www.santaana.gob.sv/>



- Alcaldía Municipal de Sensuntepeque. (s/f). *Alcaldía Municipal de Sensuntepeque*. Recuperado el 2013, de <http://www.sensuntepeque.gob.sv/>
- Alcaldía Municipal de Usulután. (s/f). *Alcaldía Municipal de Usulután*. Recuperado el 2013, de <http://alcaldiausulután.gob.sv/>
- Aliaga, S. y. (1978). *Análisis de Consistencia de Series Hidrometeorológicas*. Lima - Perú: Publi DRAT, Universidad Nacional Agraria "La Molina".
- ANA. . (2008). *Delimitación y Codificación de Cuenclas Hidrográficas del Perú. Resumen Ejecutivo*. Lima, Perú: Autoridad Nacional del Agua. Ministerio de Agricultura.
- ANDA. (1998). *Normas Técnicas Para Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras*.
- ANDA. (2011). *Memoria de Labores 2011*. San Salvador.
- ANDA. (2012). *Boletín Estadístico 2011 No. 33* .
- ANDA. (2012). *Memoria de Labores de ANDA (2009-2012)*. San Salvador.
- ANDA. (2013). *Página Web. Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados*. Obtenido de <http://www.anda.gob.sv/>
- ANDA. (2013b). *Elaboración de diagnóstico y catastro georeferenciado de sistemas de agua potable y saneamiento rurales no administrados por ANDA*. San Salvador: Unidad de Adquisiciones y Contrataciones Institucional. Bases del Concurso Público N° CP 02/2013-FCAS. Noviembre 2013.
- ANDA-COSUDE. (2008). *Mapa Hidrogeológico de El Salvador*.
- ANDA-SNET. (2007). *Informe Final. Modelos para el manejo de los recursos hídricos de El Salvador*.
- Andreu et al. (s/fecha). *Modelo SIMGES de Simulación de la Gestión de Recursos Hídricos, incluyendo Utilización Conjunta. Versión 3.03.01. Manual del usuario*.
- Andreu, J. (1993). *Conceptos y métodos para la planificación hidrológica*. CIMNE Barcelona .
- Andreu, J., Capilla, J. E., & Sanchis, E. (1991). AQUATOOL: A Computer Assisted Support System for Water Resources Research Management Including Conjunctive Use. (D. P. Loucks, & J. Da Costa, Edits.) *Decision Support Systems, G26*, 333-335.
- Armida, O. (2007). *Diagnóstico Nacional de Calidad Sanitaria de las Aguas Superficiales de El Salvador*. San Salvador.
- Asamblea Legislativa. (1941). *Ley Agraria*. San Salvador: Diario Oficial N° 66, Tomo 132 del 21/03/1942.
- Asamblea Legislativa. (1980). *Ley de Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)*. San Salvador: Diario Oficial N° 230, Tomo 269 del 05/12/1980.
- Asamblea Legislativa. (1981). *Ley sobre Gestión Integrada de Recursos Hídricos*. San Salvador: Diario Oficial N° 221, Tomo 273 del 01/12/1981.



- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1893). Constitución de la República de El Salvador. Aprobada por D.L. N.º 38, de 15 de diciembre de 1983; publicado en D.O. N.º 234, tomo 281, de 16 de diciembre de 1983.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1939). Ley de expropiación y de ocupación de bienes por el Estado. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 174, tomo No. 127, de 17 de agosto de 1939.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1942). Ley Agraria. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 66, tomo No. 132 de 21 de marzo de 1942.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1948). *Ley de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del río Lempa*. San Salvador: Diario Oficial.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1948). Ley de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del río Lempa. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 210, tomo No. 145, de 27 de septiembre de 1948 .
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1951). Ley de Urbanismo y Construcción. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 107, tomo No. 151, de 11 de junio de 1951. Modificada con fecha 20 de abril de 2012.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1961). Ley de Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 191, tomo No. 193, de 19 de octubre de 1961. Reforma publicada en el Diario Oficial No. 230, tomo 269, de 5 de diciembre de 1980.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1970). *Ley de Riego y Avenamiento*. San Salvador: Diario Oficial.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1970). *Ley de Riego y Avenamiento*. San Salvador: Aprobada por D.L. N.º 153, de 11 de noviembre de 1970; publicado en el D.O. N.º 213, tomo 229, de 23 de noviembre de 1970.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1970). Ley de Riego y Avenamiento. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 213, tomo No. 229, de 23 de noviembre de 1970.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1973). *Ley sobre control de pesticidas, fertilizantes y productos para usos agropecuario*. San Salvador: Diario Oficial N° 85, Tomo 239 de 10/05/1973.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1973). *Ley sobre control de pesticidas, fertilizantes y productos para usos agropecuario*. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 85, tomo No. 239, de 10 de mayo de 1973.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1981). Ley sobre Gestión Integrada de Recursos Hídricos. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 221, tomo 273 del 2 de diciembre de 1981 .
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1986b). Código Municipal. Publicado en el Diario Oficial No. 23, tomo No. 290, de 5 de febrero de 1986.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1987). *Reglamento sobre la calidad del agua, el control de vertidos y las zonas de protección*. San Salvador: Diario Oficial.



- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1988). *Código de Salud*. San Salvador: Publicado en el Diario Oficial No. 86, tomo No. 299, de 11 de mayo de 1988 .
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1994). Decreto Legislativo de ratificación del Convenio regional para el manejo y conservación de los ecosistemas naturales forestales y el desarrollo de plantaciones forestales. San Salvador: Publicado en el Diario Oficial No. 155, tomo No. 324, de 24 de agosto de 1994.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1994). Decreto Legislativo de Ratificación del Convenio sobre Diversidad Biológica. Publicado en el Diario Oficial No. 92, tomo No. 323, de 18 de mayo de 1994.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1994). Ley del Fondo Ambiental de El Salvador. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 120, tomo No. 323, de 29 de junio de 1994.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1995). *Ley de Minería*. San Salvador: Diario Oficial.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1996). Ley General de Electricidad. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 201, tomo No. 333, de 25 de octubre de 1996.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1996b). *Ley de Minería*. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 16, tomo No. 330, de 24 de enero de 1996 .
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1997). Código Penal. San Salvador: Publicado en el Diario Oficial No. 105, tomo No. 335, de 10 de junio de 1997.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1998). *Ley de Medio Ambiente*. San Salvador: Diario Oficial N° 79, Tomo 339 del 04/03/1998.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1998). *Ley de Medio Ambiente*. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 79, tomo 339, de 4 de mayo de 1998.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1998b). Decreto Legislativo No. 201 de 2 de julio de 1998. El Salvador: Publicado en el Diario Oficial No. 201, tomo No. 342, de 28 de octubre de 1998.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1998b). *Ley de Medio Ambiente*. San Salvador: Diario Oficial N° 79, Tomo 339 del 04/03/1998.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2000). *Reglamento especial de aguas residuales*. San Salvador: Diario Oficial N° 101, Tomo 347 del 01/06/2000.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2001). *Ley general de ordenación y promoción de la pesca y acuicultura*. San Salvador: Diario Oficial N° 240, Tomo 353 de 19/12/2001.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2001). *Ley general de ordenación y promoción de la pesca y acuicultura*. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 88, Tomo No. 375, de 17 de mayo de 2007 .
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2002). *Ley Forestal*. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 110, tomo No. 355, de 17 de junio de 2002.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2005). Ley de turismo. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 237, tomo No. 369, de 20 de diciembre de 2005 .



- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2005a). *Ley de protección civil, prevención y mitigación de desastres*. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 160, tomo No. 368, de 31 de agosto de 2005.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2011). *Ley de ordenamiento y desarrollo territorial*. San Salvador: Diario Oficial N° 143, Tomo N° 392 del 29/07/2011.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2011). *Ley de ordenamiento y desarrollo territorial*. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 143, tomo No. 392, de 29 de julio de 2011.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2012). *Ley de Áreas Naturales Protegidas*. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 32, tomo No. 366, de 15 de febrero de 2012.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2013). *Ley especial de socios público privados*. Publicada en el Diario Oficial No. 102, tomo No. 399, de 5 de junio de 2013.
- ASI. (2013). *Informes Sectoriales y Ranking Industrial 2013*. Asociación Salvadoreña de Industriales.
- Balairón, L. (2000). *Gestión de recursos hídricos*. Ediciones UPC.
- Banco Mundial. (2005). *Provisión de Servicios de Infraestructura en El Salvador: Combatiendo la Pobreza, Reanudando el Crecimiento*. Washington DC (EE. UU.).
- Banco Mundial. (2013). *Estudio de Monitoreo de Avance de País en Agua Potable y Saneamiento*. Informe MAPAS 2013. Programa Agua y Saneamiento (PAS). Banco Mundial.
- Barbón, S. M., Handall, A. Y., & Turish, S. (2009). *Caracterización de la subcuenca del río Sucio a través de la evaluación de la calidad del agua y el patrón de dispersión de contaminantes*.
- Barraza, J., & Melara, E. (2008). *Monitoreo preliminar de calidad ambiental de Bahía de Jiquilisco con base a coliformes fecales*.
- Barrera, M. (2010). *Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de áreas de recarga en el acuífero de San Salvador*.
- Barrera, M. (2010). *Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de áreas de recarga en el acuífero de San Salvador*. San Salvador: Universidad de El Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Unidad de Posgrados.
- BASIM-UICN. (2005). *Investigación Sobre La Calidad del Agua en las Subcuencas del Sur de Ahuachapán*.
- Bautista, C. (2003). *Aguas. Guía Técnico-Jurídica*. Mundi-Prensa.
- BCR. (2012). *Estadísticas Económicas 2012*. Banco Central de Reserva de El Salvador.
- Bergström, S. (1995). *The HBV model, computer models of watershed hydrology*. Water Resources Publications.
- Bernabé, J. A. (2010). *Políticas Públicas del Subsidio del Agua Potable y Gas Propano en El Salvador y su Impacto en la Distribución del Ingreso*. Nuevo Cuscatlán: Universidad Centroamericana "José Simeón Canas".
- BID. (2008). *Agua Potable y Saneamiento Básico. Plan Estratégico Sectorial. Diagnóstico Básico y Bases de Acción / Propuestas*. Consultor: Roberto Chama. Noviembre de 2008.



- BID-SC. (2013). *Caracterización y aforo de aguas residuales en descargas del alcantarillado sanitario a cuerpos receptores de la ciudad de Santa Ana, municipio y departamento de Santa Ana. Informe final*. San Salvador.
- Biotec. (2010). *Medidas de Control de la Contaminación de los Ríos Tomayate y Las Cañas*.
- Biotec. (2010). *Medidas de Control de la Contaminación de los Ríos Tomayate y Las Cañas*.
- Biotec. (2010). *Medidas de Control de la Contaminación de los Ríos Tomayate y Las Cañas*.
- BM-GEF-MARN. (2010). *Integración de la información en fichas de Áreas de Conservación en el Estudio de Racionalización y Priorización del Sistema de Áreas naturales Protegidas de la República de El Salvador*. San Salvador.
- Buch, M. y. (2010). *Trifinio: Transboundary Aquifer Systems in the Upper Lempa River Basin, El Salvador, Guatemala and Honduras, in Central America*. París: ISARM. International Conference "Transboundary Aquifers: Challenges and new directions".
- Burnash et al. (1973). *A generalized streamflow simulation system-conceptual modelling for digital computers*. U.S. Department of Commerce, National Weather service and State of California, Department of Water Resources.
- Cabralés, & García. (2011). *Diagnóstico y monitoreo de la calidad del agua del río Sucio en el Valle de San Andrés*. Santa Tecla.
- Calderón, V. (2003). El mercado de electricidad en El Salvador. *ILPES/CEPAL*. Santiago de Chile: Presentación.
- Cañas. (1997). *Situación actual de los recursos hídricos en las cuencas Sucio, Acellhuate y Cuaya 1996-1997*.
- Cases. (2012). *El mercado del tratamiento y suministro de agua en El Salvador*. San Salvador.
- Castellanos, M. T. (2011). *Consultoría para realizar el análisis del resultado de las muestras tomadas en tramo del río Sucio y elaboración de informe parcial por estación climática en cinco lugares seleccionados, e informe consolidado final*. San Salvador.
- CDC. (2008). *Sistemas Privados de Agua Potable: Semilla de la Privatización en El Salvador*. San Salvador: Centro para la Defensa del Consumidor.
- CDC. (2009). *Con la Sed a Cuestas: Cumplimiento de las Metas del Milenio en Agua Potable y Saneamiento en El Salvador*. San Salvador: Centro de Defensa del Consumidor.
- CEDEX. (2013). *La codificación de redes fluviales: la experiencia del CEDEX*.
- CEL. (2010). *Monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del río Lempa, 2003-2008*.
- CEL. (2010b). *Memoria de Labores 2010*. San Salvador: Disponible en <http://www.cel.gob.sv/>.
- CEL. (2010b). *Memoria de Labores 2010*. San Salvador: Disponible en <http://www.cel.gob.sv/>.
- CEL. (2012). *Memoria de Labores 2012*. Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.
- CEL. (2013). *Caracterización del fitoplancton y zooplancton del lago de Güija, 2013*. San Salvador.
- CEL. (2013). *Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa*. Recuperado el 6 de 10 de 2013, de Historia: http://www.cel.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=84

- CEL. (2013). *Informe de Rendición de Cuentas de la Gestión 2011-2012*. Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.
- CENDEPESCA. (2003). *Estadísticas pesqueras y acuícolas. Volumen 29. Año 2002*.
- CENDEPESCA. (2006). *Estadísticas pesqueras y acuícolas. Volumen 32. Año 2005*.
- CENDEPESCA. (2007). *Estadísticas pesqueras y acuícolas, Volumen 33. Año 2006*.
- Centro de Cambio Global - UC-SEI. (2009). *Guía Metodológica. Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP*. Chile.
- CEPAL. (2007). *Istmo Centroamericano: Estadísticas del subsector eléctrico (actualizadas a 2006)*. San Salvador: Naciones Unidas. Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL).
- CEPAL. (2011). *Evaluación de daños y pérdidas en El Salvador ocasionados por la depresión tropical 12 E*.
- CEPAL-UN. (2005). *Integrando economía, legislación y administración en la gestión del agua y sus servicios en América latina y el Caribe*.
- CEPAL-UN. (2006). *Los instrumentos económicos en la gestión del agua. El caso de Costa Rica*.
- CHEREQUE, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil*. Lima - Perú: Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).
- CHF-FUNDE. (2004). *Los conflictos ambientales relacionados con el agua (Olomega, Yamabal-Gualabo y El Jocotal)*.
- CICH. (2011). *Turismo y desarrollo en El Salvador. Registro de recursos naturales y culturales*. San Salvador.
- Claros, G., & Menjívar, N. (2010). *Análisis del nivel de contaminación de las aguas del río Acelhuate en el tramo zoológico-río Arenal Monserrat y propuesta de un sistema de tratamiento*.
- CNE. (2011). *Plan indicativo de la expansión de la generación eléctrica de El Salvador*.
- CNE. (2012). *Plan maestro para el desarrollo de la energía renovable*. San Salvador.
- CNE. (2013). *Consejo Nacional de Energía*. Obtenido de http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=115&Itemid=196
- CNE. (2013). *Informe Anual 2013 del Mercado Eléctrico de El Salvador*.
- CNE. (2013). *Web CNE*. Recuperado el Junio de 2013, de <http://www.cne.gob.sv>: http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=110&Itemid=195
- CNE. (2014). <http://www.cne.gob.sv>.
- CNR. (s/fecha). *Monografía departamental y sus municipios*. San Salvador.
- COMURES. (2003). *Diagnóstico de la Situación Actual de Ochenta y Ocho Sistemas de Agua Potable, Administrados por las Municipalidades y por Otros Entes*. San Salvador.
- Consejo de Ministros. (2007). *Reglamento Interno del Órgano Ejecutivo*. San Salvador: Publicado en el Diario Oficial No. 105, tomo 375, de 11 de junio de 2007. Última reforma publicada en el DO. No. 193, tomo 385, de 16 de octubre de 2009.



- Consejo de Ministros. (2012). *Política Nacional de Medio Ambiente*. San Salvador: Diario Oficial.
- Cordero, M., Franco, L., & Hernández, R. (2005). *Diagnóstico de la calidad de agua en época seca en el canal principal del río Jiboa y propuesta de mitigación de fuentes contaminantes, en una zona crítica*. San Salvador.
- Cornejo, K., & Esquivel, I. (2008). *Determinación de la contaminación microbiológica del agua del manantial El Paterno ubicado en el municipio de Sensuntepeque. Departamento de Cabañas*.
- CORSATUR. (2012). *Tendencias del Turismo*.
- CTPT. (s/f). *El Trifinio: Los recursos hídricos en la parte alta de la cuenca del río Lempa*.
- Cuéllar, E., & Duarte, R. (2011). Alteración del ciclo hidrológico en El Salvador: Tendencias y desafíos para la gestión territorial. *PRISMA. Programa salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente*. N.º 44.
- DESINVENTAR. (2012). *Base de datos Desinventar El Salvador*.
- DHJ. (2013). *Proyecto del Plan Hidrológico. Demarcación Hidrográfica del Júcar. Anejo 9*.
- Díaz et al. (2010). *La dinámica agroambiental de la zona norte del humedal Cerrón Grande*.
- DIGESTYC. (2004). *Encuesta de hogares de propósitos múltiples*. San Salvador.
- DIGESTYC. (2008). *VI Censo de población y V de vivienda de 2007. Población, vivienda y hogares*. San Salvador (El Salvador): Dirección General de Estadística y Censos. Ministerio de Economía.
- DIGESTYC. (2009). *Estimaciones y Proyecciones Municipales de Población 2005 - 2020*. San Salvador.
- DIGESTYC. (2011). *Directorio Económico de Empresas*.
- DIGESTYC. (2012). *Censo de Actividades Económicas 2011-2012*. Dirección General de Estadística y Censos.
- DIGESTYC. (2012). *Directorio Económico 2011 - 2012*. San Salvador.
- DIGESTYC. (2013). *Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples*. San Salvador.
- DIGESTYC. (2013). <http://www.digestyc.gob.sv>. Recuperado el 10 de julio de 2013, de <http://www.digestyc.gob.sv/servers/redatam/htdocs/CPV2007S/index.html>
- Dimas. (2005). *La Situación del Recurso Hídrico en El Salvador*.
- Dominguez. (2007). *Caracterización biofísica de ecosistemas acuáticos asociados al río Cara Sucia*.
- Duarte, J. (1998). *Estudio hidrogeológico del acuífero de Guluchapa, San Salvador, El Salvador*. San José: Universidad de Costa Rica. Escuela Centroamericana de Geología. Sistema de Estudios de Posgrado. Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio".
- Ducci, J., & García, L. J. (2013). *Principales indicadores financieros de entidades prestadoras de servicios de agua potable y saneamiento en América Latina y El Caribe*. División de Agua y Saneamiento. Banco Interamericano de Desarrollo. Enero de 2013.

- Embajada de España en El Salvador. (2011). *El sector eléctrico y la implementación de la eficiencia energética en El Salvador*. San Salvador: Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en El Salvador. Julio de 2011.
- Embajada de España en El Salvador. (2012). *El mercado del tratamiento y suministro de agua en El Salvador*. San Salvador: Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en El Salvador.
- EPA. (1986). *Quality Criteria for Water - Goldbook*. Warhmgton, DC.
- ESA Consultores. (2004). *Servicios de Agua Potable y Saneamiento para los Pobres en Centroamérica*. Estudio para el Banco Mundial.
- ESRI. (2013). *Geodatabase Model Framework*.
- ESRI. (s/f). *ArcGIS Hydro Data Model*.
- Estrela, T. (1992). *Modelos matemáticos para la evaluación de los recursos hídricos*. Madrid: CEDEX.
- FANCA. (2006). *Las Juntas de Agua en Centroamerica*. Red Centroamericana de Accion del Agua.
- FAO. (1985). *Water quality for agriculture*. Retrieved from FAO Corpotate Document Repository: <http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/t0234e00.htm>
- FAO. (1989). *Irrigation Water Management: Irrigation Scheduling*. Roma.
- FAO. (1998). *FAO Irrigation and Drainage Papers. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Versión 56*.
- FAO. (2000). *El Riego en America Latina y El Caribe en Cifras*.
- FAO. (2009). *Manual Tecnica Cropwat*.
- FAO. (2010). *Fortalecimiento del marco jurídico en materia de gestión de los recursos hídricos en El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua. Informe Intermedio. Diagnóstico Politico-Legal para El Salvador*. San Salvador, 13 de abril de 2010: FAO. Informe Elaborado por Nadia Ramos. Programa de Cooperación Gubernamental CGP/RLA/171/SPA.
- FEMID. (s.f.). *Sistema comunitario de alerta temprana para inundaciones . Proyecto MARLAH. Cara Sucia, Ahuachapan, El Salvador*.
- FISDL. (2005). *Metodologia para priorizar los municipios con base en su condición de pobreza* .
- FISDL. (2013). *Memoria de Labores 2012* . Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local .
- Flamenco. (2009). *♣ Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca sur del río Acelhuate conformada por los ríos Ilohuapa y El Garrobo, y propuesta de mitigación de fuentes contaminantes*.
- Flamenco, N., & Henríquez, J. (2009). *Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca sur del río Acelhuate conformada por los ríos Ilohuapa y el Garrobo, y propuesta de mitigación de fuentes contaminantes*.
- FOCARD-APS. (2012). *Documento base en apoyo al plan de trabajo del grupo temático regional de excretas y aguas residuales* .
- FOCARDS-APS. (2009). *Contexto Temático para la Agenda Nacional de Saneamiento*.



- FOMILENIO. (2010). *Línea de Base Agua y Saneamiento ELBAS - DIGESTYC*. Recuperado el 6 de 01 de 2012, de www.mca.gob.sv/wfDocumentos.aspx
- FONAES. (2013). *Informe inicial Consultoría: Diseño y puesta en marcha de Mecanismo Financiero para el sector Hídrico bajo el Fondo Nacional del Ambiente de El Salvador (FONAES)*. Octubre 2013.
- Foro del Agua. (2010). *El Saneamiento en Cifras*.
- FUNDARRECIFE-FIAES. (2007). *Informe final: “Monitoreo biológico del alga Acanthophora Spicifera, en la zona del arrecife de Los Cóbanos*. San Salvador.
- FUNDARRECIFE-FIAES. (2008). *Informe de “Diagnóstico de principales fuentes de contaminación en el Área Natural Protegida Complejo Los Cóbanos*. San Salvador.
- FUNDE. (2003). *Política y plan de acción de convivencia con la sequía en El Salvador*.
- FUNDE. (2006). *Alternativas para el desarrollo*.
- FUNDEMAS. (2006). *Río Lempa. Caudal de vida*. Fundación empresarial para la acción social.
- Funpadem. (2000). *Cuenas internacionales: conflictos y cooperación en Centroamérica*. Fundapem y Fundación Ford. Proyecto: Cooperación Transfronteriza en Centroamérica. Febrero 2000.
- FUSADES. (2011). *Agua y Calidad de Vida*.
- FUSADES-DEES-CEDES. (2007). *Estado Situacional del Medio Ambiente y Recursos Naturales en El Salvador. Estudio Técnico No. 1. Gobernabilidad Ambiental para el Desarrollo Sostenible en El Salvador*.
- GEF-BM-MARN. (2010). *Integración e información en fichas de Áreas de Conservación. Estudio de Racionalización y Priorización del Sistema de Áreas Naturales Protegidas de la República de El Salvador*. San Salvador.
- Geólogos del Mundo-ASACMA. (2001). *Estudio hidrogeológico y geológico del Complejo de San Marcelino (departamento de Santa Ana & Sonsonate)*. San Salvador.
- Gierloff-Emden, G. H. (1976). *La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica - Oceanográfica*. San Salvador El Salvador C.A.: Dirección de Publicaciones del Ministerio de Educación.
- Gil, L. (2007). *Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad intrínseca del Sistema acuífero del municipio de Nejapa, San Salvador, El Salvador*. Costa Rica.
- GM. (2004a). *Informe de las características hidrogeológicas de un sondeo sito en el cantón San Felipe, municipio de Pasaguina, La Unión, El Salvador*. La Unión.
- GM. (2004b). *Informe de las características hidrogeológicas de un sondeo sito en comunidad Agua Agría, municipio de Pasaguina, La Unión, El Salvador*. La Unión.
- GM. (2004c). *Informe de las características hidrogeológicas de un sondeo sito en el cantón Piedras Blancas, municipio de Pasaguina, La Unión, El Salvador*. La Unión.
- GM. (2005). *Fortalecimiento en la Gestión de los Recursos Naturales y Riesgos Geológicos en el Municipio de Jucuarán 2005*.



- GM-UNES. (2013). *Detección de la salinidad en el acuífero de la cuenca baja del río Paz. San Francisco Menéndez, Ahuachapán. El Salvador.*
- Gobierno de El Salvador. (2012). *Fomilenio II - Evaluación Ambiental Estratégica.*
- Gobierno Municipal de la Ciudad de San Salvador. (s/f). *Gobierno Municipal de la Ciudad de San Salvador.* Recuperado el 2013, de <http://www.amss.gob.sv/index.php>
- Guevara, J. (2011). *Modelación numérica de flujo del acuífero El Playón comprendido entre el Cantón Sitio del Niño y el campo de pozos de San Juan Opico administrado por ANDA.* San Salvador: UES.
- GUEVARA, J. (2011). *Modelación numérica de flujo del acuífero El Playón comprendido entre el Cantón Sitio del Niño y el campo de pozos de San Juan Opico administrado por ANDA.* San Salvador: UES.
- GWP-INBO. (2009). *Manual para la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas.* Global Water Partnership (GWP) e International Network of Basin Organizations (INBO).
- Hargreaves, G. y. (1985). *Reference crop evapotranspiration from temperature.* Applied Engineering in Agriculture, 1, 96-99.
- Heras R. (1983). *Recursos hidráulicos, síntesis, metodología y normas.* España.
- Hernández et al. (2010). *Atlas geográfico de los Insectos acuáticos. Indicadores de calidad ambiental de aguas de los ríos de El Salvador.* San Salvador (El Salvador): Universidad de El Salvador.
- Hernández, R. (2006). *El cultivo de camarón marino en la Bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador.*
- Herrera, P. (2012). *Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua de pozo para el consumo humano en las comunidades La Arenera, San Jose y el Progreso del municipio de Concepción Batres en el departamento de Usulután.*
- Hommer-Dixon, T. F. (1999). *Environment, Scarcity and Violence.* Princeton, New Jersey (EE. UU.): Princeton University Press.
- I. Jimenez, L. S.-M. (2004). *Inventario Nacional y Diagnóstico de Humedales de El Salvador.* MARN, AECID.
- ICMARES-UES. (2006). *Formulación del diagnóstico de la línea base de las condiciones biofísicas, socioeconómicas e institucionales del sistema arrecifal de Los Cóbano.*
- ICMARES-UES. (2007). *Propuesta de Plan de Manejo para el área natural protegida Arrecife Los Cóbano.* Universidad de El Salvador-Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de El Salvador. San Salvador.
- IGN. (2000). *Atlas de El Salvador.*
- IGN. (2000). *Atlas de El Salvador, 4ª edición.* San Salvador: CNR.
- IHCantabria-MARN. (2011). *Catálogo de vulnerabilidad y riesgo debido a la inundación por tsunami en la costa de El Salvador. Evaluación del riesgo por tsunami en la costa de El Salvador. Fase II: vulnerabilidad y riesgo.*
- Ingeniería sin Fronteras. (2008). *Escasez en la abundancia. La construcción del derecho al agua en El Salvador.*
- INRENA. (1995). *Mapa Ecológico del Perú.* Lima.



- International, W. (2010). *Dinámica hidrológica en la cuenca baja del río Paz. Proyecto: Gestión integrada de recursos hídricos y medios de vida en el río Paz El Salvador – Guatemala.*
- INYPESA. (2000). *Plan de desarrollo territorial para el Valle de San Andrés. Síntesis del informe final.* San Salvador.
- Iraheta, E., & Aurely, A. (2006). *Propuesta de monitoreo de fuentes contaminantes en el río Titihuapa .*
- ISF-ADES. (2012). *Plan director para el abastecimiento y saneamiento de zonas rurales en cabañas en la cuenca del Río Titihuapa.*
- ISTU. (2013). *ISTU - Instituto Salvadoreño de Turismo.* Recuperado el 2013, de <http://www.istu.gob.sv/>
- Jimenez, L. y L. Sánchez-Marmol & N. Herrera. (2004c). *Inventario Nacional y Diagnóstico de humedales de El Salvador. MARN-AECID.* San Salvador.
- Jimenez, L. y L. Sánchez-Marmol. (2004a). *Humedal Cerrón Grande. Propuesta de Sitio Ramsar. MARN/AECID. .* San Salvador.
- Jimenez, L. y L. Sánchez-Marmol. (2004b). *Humedal de Laguna de Olomega. Propuesta de Sitio Ramsar. MARN-AECID.* San Salvador.
- Johnson, E. (2002). *A Measured Step Towards Sustainability for Rural Community Water Supply: One Metering Strategy that Works.*
- Jouravlev, A. S. (s/f). *MARN.* Recuperado el 27 de 09 de 2013, de La importancia del ordenamiento institucional del sector hídrico en El Salvador: http://www.marn.gob.sv/phocadownload/ordenamiento_institucional_recurso_hidrico.pdf
- Junker, M. (2005). *Método RAS para determinar la recarga de agua subterránea.* San Salvador: UE, Proyecto FORGAES.
- La Geo. (2014). *lageo.sv.* Obtenido de <http://www.lageo.com.sv/?cat=1009&title=%BFComo%20funciona%20una%20central%20geot%E9rmica?&lang=es>
- LaGeo. (2013). *lageo.com.* Obtenido de <http://www.lageo.com.sv/centrales.php>
- Landaverde, L., & Romero, L. (2008). *Determinación de la calidad fisicoquímica de las aguas subterráneas según ICA en diferentes pozos de San Salvador y zonas extendidas.* San Salvador.
- Linsley K. R. Jr., K. A. (1975). *Hidrología para ingenieros.* México: Editorial McGraw-Hill.
- Linsley K., R. J. (1967). *Hidrología para ingenieros.* España: Ediciones Castilla. Primera Edición.
- Long, E., Field, L., & MacDonald, D. (1998). Predicting toxicity in marine sediments with numerical sediment quality guidelines. *Environ Toxicol Chem*, 17:714–727.
- Losilla, M. e. (2001). *Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central.* San José: Universidad de Costa Rica.
- MAG - Ministerio de Agricultura y Ganadería. (s.f.). Obtenido de http://www.mag.gob.sv/index.php?option=com_phocadownload&view=section&id=9&Itemid=221



- MAG. (1970). Ley de Riego y Avenamiento. Noviembre 1970.
- MAG. (1976). *Cuenca hidrográfica del río Grande de San Miguel*. San Salvador: Dirección General de Recursos Naturales Renovables. Servicio Hidrológico.
- MAG. (1980). *Evapotranspiración potencial en El Salvador*. Santa Tecla (El Salvador).
- MAG. (2012). *Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2011 - 2012*.
- MAG. (2012). *Distritos de riego y avenamiento de El Salvador, C.A.* San Salvador.
- MAG. (2012). *Sistemas de riego utilizados en la República de El Salvador, C.A.* San Salvador.
- MAG. (2012a). *Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2011 - 2012*.
- MAG. (2012b). *Catálogo de bocatomas por cuencas hidrográficas de El Salvador, C.A.* Soyapango.
- MAG. (2012c). *Clasificación de ríos por cuencas hidrográficas de El Salvador, C.A.*
- MAG. (2012d). *Consumo de agua con fines de riego en la República de El Salvador, C.A.* San Salvador.
- MAG. (2012e). *Periodos de riego en la República de El Salvador*. San Salvador.
- MAG. (2012f). *Sistemas de riego utilizados en la república de El Salvador, C.A.* San Salvador.
- MAG. (2012g). *Distritos de riego y avenamiento de El Salvador, C.A.* San Salvador.
- MAG. (2012h). *Tarifa por el trámite del permiso para riego en la República de El Salvador*.
- MAG. (2013). *Boletín informativo SINGAR*. San Salvador.
- MAG. (2013). *Boletín informativo SINGAR*. San Salvador.
- MAG. (2013). *Boletín Informativo SINGAR*. San Salvador.
- MAG. (2013). *Informe de Rendición de Cuentas de la Gestión 2011-2012*.
- MAG. (2013b). *Registro de bocatomas de riego 2012-2013*.
- MAG. (2013k). *Pecuario y Acuicola*.
- MAGA. (2009). *Mapa de Cuencas Hidrográficas a Escala 1/50,000, República de Guatemala. Método Pfafstetter - Primera Aproximación*. Guatemala.: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Magaña. (2010). *Resumen Ambiental Nacional*. .
- Magaña, S. y. (2005). *Estudio Hidrogeológico de la subcuenca del río Grande de San Miguel*. San Salvador: UCA.
- Magdaleno, F. (2005). *Caudales ecológicos: conceptos, métodos e interpretaciones*. CEDEX.
- MAG-PNUD. (1982). *Plan maestro de desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos*. San Salvador.
- Mancomunidad Fronteriza Trinacional Río Lempa. (2013). *Mancomunidad Fronteriza Trinacional Río Lempa*. Recuperado el 24 de 08 de 2013, de <http://www.trinacionalrioempa.org/>



- Mangle, A. d.-A. (2010). *Identificación de riesgos y construcción participativa de Mapa de Vulnerabilidad en la cuenca Región Bahía de Jiquilisco. Proyecto Reducción de vulnerabilidades y gestión integral de la cuenca hidrográfica y reserva de la biósfera Xirihualtique B.Jiquil.*
- MARN - Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s.f.). Obtenido de <http://www.snet.gob.sv/>
- MARN. (2000). *Reglamento especial de aguas residuales*. San Salvador: Diario Oficial N° 101, Tomo 347 del 01/06/2000.
- MARN. (2002). *Estrategias de Descontaminación de los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa*. San Salvador.
- MARN. (2003a). *Informe Nacional. Estado Actual de las Áreas Naturales Protegidas. El Salvador, I Congreso Mesoamericano de Áreas Protegidas*. MARN.
- MARN. (2003b). *Integración de la información existente relacionada con el estudio. Fichas de las Áreas de Conservación*. San Salvador.
- MARN. (2004). *Plan de manejo del área natural y humedal de la bahía de Jiquilisco*. San Salvador. El Salvador.
- MARN. (2005a). *Estado del Conocimiento de la biodiversidad de El Salvador. Documento Final*. Melibea Gallo.
- MARN. (2005b). *Estrategia Nacional de Gestión de Áreas Naturales Protegidas y corredor Biológico*.
- MARN. (2006). *II Informe Nacional Sistema de Áreas Naturales Protegidas*. MARN.
- MARN. (2007a). *Calibración del modelo HBV a nivel horario en la cuenca del Río Grande de San Miguel para sistema de Alerta Temprana*.
- MARN. (2007b). *Evaluación de los impactos hidrológicos e hidráulicos asociados a las subcuencas de la planicie costera central de El Salvador*.
- MARN. (2007c). *Línea base para el establecimiento de la estrategia y del plan de descontaminación hídrica*. San Salvador.
- MARN. (2008). *Monitoreo preliminar de calidad ambiental de bahía de Jiquilisco con base a coliformes fecales*.
- MARN. (2008). ♣ *Monitoreo preliminar de calidad ambiental de bahía de Jiquilisco con base a coliformes fecales*.
- MARN. (2010). *Informe de Labores 01 de Junio de 2009 al 31 de Mayo de 2010*.
- MARN. (2010b). *III Informe de Áreas Naturales Protegidas. III Congreso Mesoamericano de Áreas Protegidas*.
- MARN. (2011a). *Análisis de vulnerabilidad. Región Hidrográfica de Apaneca-Berlín. Departamento de Usulután. Berlín*.
- MARN. (2011b). *Análisis de vulnerabilidad. Región Hidrográfica de Cara Sucia - San Pedro - Belén. Departamento de Sonsonate. San Antonio del Monte*.
- MARN. (2011c). *Análisis de vulnerabilidad. Región Hidrográfica de Cara Sucia - San Pedro - Belén. Departamento de Sonsonate. Santa Catarina Masahuat*.
- MARN. (2011d). *Análisis de vulnerabilidad. Región Hidrográfica de Cara Sucia - San Pedro - Belén. Departamento de Sonsonate. Acajutla*.



- MARN. (2011e). *Análisis de vulnerabilidad. Región Hidrográfica de Cara Sucia - San Pedro - Belén. Departamento de Sonsonate. Santo Domingo de Guzmán.*
- MARN. (2011f). *Análisis de vulnerabilidad. Región Hidrográfica de Cara Sucia - San Pedro - Belén. Departamento de Sonsonate. Sonsonate.*
- MARN. (2011g). *Análisis de vulnerabilidad. Región Hidrográfica de Cara Sucia - San Pedro. Departamento de Ahuachapán. Guaymango.*
- MARN. (2011h). *Análisis de vulnerabilidad. Región Hidrográfica de Cara Sucia - San Pedro. Departamento de Ahuachapán. Jujutla.*
- MARN. (2011i). *Análisis de vulnerabilidad. Región Hidrográfica de Cara Sucia - San Pedro. Departamento de Sonsonate. Salcoatitán.*
- MARN. (2011j). *Análisis de vulnerabilidad. Región Hidrográfica de Cara Sucia-San Pedro-Belén. Departamento de Ahuachapán. San Pedro Puxtla.*
- MARN. (2012a). *Determinación del estado sanitario del agua de mar en las playas turísticas de El Salvador. Diciembre 2012.*
- MARN. (2012a). *Determinación del estado sanitario del agua de mar en las playas turísticas de El Salvador. Diciembre 2012.*
- MARN. (2012b). *Bases del concurso público internacional. Unidad de Adquisiciones y contrataciones. San Salvador: MARN, 27 de noviembre de 2012.*
- MARN. (2012c). *Catálogo de Mapas de Zonas Críticas Prioritarias en Humedales Ramsar de El Salvador. San Salvador.*
- MARN. (2012d). *Escenarios de riesgos: Amenaza por inundación. Cuenca alta del río Acelhuate: Arenal Monserrat, Arenal Mejicanos, Arenal Tutunichapa, Quebrada El Garrobo.*
- MARN. (2012e). *Escenarios de riesgos: Amenaza por inundación. Región hidrográfica Sonsonate – Banderas.*
- MARN. (2012f). *Evaluación de elementos tóxicos en el lago de Güija y sus afluentes ríos Angue, Ostúa y Cusmapa año 2012.*
- MARN. (2012f). *Evaluación de elementos tóxicos en el lago de Güija y sus afluentes ríos Angue, Ostúa y Cusmapa año 2012.*
- MARN. (2012g). *Evaluación ambiental estratégica de la estrategia de desarrollo para la franja costero marina: Resumen de las recomendaciones.*
- MARN. (2012g). *Evaluación de la calidad del agua de la laguna de Metapán para el año 2012.*
- MARN. (2012h). *Evaluación de la calidad del agua de la laguna de Metapán para el año 2012.*
- MARN. (2012i). *Calidad del agua de las playas para uso recreativo.*
- MARN. (2012i). *Determinación del estado sanitario del agua de mar en las playas turísticas de El Salvador. Diciembre 2012.*



- MARN. (2012i). *Directorio Asociaciones de cuencas, regantes, municipales, unidades ambientales, juntas administradoras de agua potable y asociaciones no gubernamentales*. Programa de Gobernabilidad y Planificación de la Gestión de Recurso Hídrico en El Salvador. Diciembre 2012.
- MARN. (2012j). *Informe del Proceso de la Declaratoria de Emergencia Ambiental por contaminación de plomo en Cantón Sitio del Niño (Agosto 2010-Septiembre 2012)*.
- MARN. (2012k). *“Determinación de sustancias tóxicas en agua y suelo, en áreas expuestas a desechos de minería metálica en el nororiente de el salvador”*.
- MARN. (2013). *Estrategia Nacional de Recursos Hídricos*.
- MARN. (2013). *Estrategia y plan ambiental operativo. Humedal Complejo Bahía de Jiquilisco*.
- MARN. (2013). *Estrategia y plan ambiental operativo. Humedal Complejo Bahía de Jiquilisco*.
- MARN. (2013). *Evaluación cuantitativa del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador. Borrador*. San Salvador: MARN.
- MARN. (2013a). *Boletín Climatológico Anual de 2012*. San Salvador.
- MARN. (2013b). *Estrategia Nacional de Recursos Hídricos*.
- MARN. (2013b). *Estrategia y plan ambiental operativo. Humedal Complejo Bahía de Jiquilisco*.
- MARN. (2013c). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*.
- MARN. (2013d). *Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental*.
- MARN. (2013e). *Estrategia Nacional de Biodiversidad*.
- MARN. (2013e). *Evaluación cuantitativa del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador*. San Salvador: Borrador de junio de 2013 (informe y presentación). Sin validez oficial.
- MARN. (14 de 08 de 2013f). *Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Recuperado el 25 de 08 de 2013, de Zonificación ambiental relacionada con la evaluación de la sensibilidad territorial al riesgo en la carretera Panorámica y su área de influencia (10 municipios): http://www.marn.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=1861%25marn-entrega-atlas-de-zonificacion-ambiental-a-diez-municipios-ubicados-en-area-de-influencia-de-la-carretera-panoramica&catid=1%25noticias-ciudadano&Itemid=77
- MARN. (2013g). *Información del Observatorio Ambiental*. San Salvador - El Salvador.
- MARN. (2013h). *Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental*.
- MARN. (s.f.). *Resultados monitoreo de aguas residuales. Proyecto Piloto “Monitoreo de la Calidad del Agua Descargada al Río Sucio y sus impactos sobre éste”*.
- MARN. (s.f.). *Áreas Naturales Protegidas*. El Salvador.
- MARN, MOP, VMVDU. (2004). *Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial*.
- MARN, MOP, VMVDU. (2004). *Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial*.



- MARN-AMBIENTEC. (2008). *Consultoría “Análisis del marco técnico y jurídico de las aguas residuales (manejo, reuso de aguas, con caracterización y disposición de lodos; y propuesta de normas técnicas)”*.
- MARN-AMBIENTEC. (2008). *Consultoría “Análisis del marco técnico y jurídico de las aguas residuales (manejo, reuso de aguas, con caracterización y disposición de lodos; y propuesta de normas técnicas)”*.
- MARN-BID. (2009). *Segundo Censo Nacional de Desechos Sólidos Municipales*.
- MARN-DGOA. (2011). *Informe de Calidad de Aguas de los Ríos de El Salvador. Año 2010*. San Salvador.
- MARN-DGOA. (2011a). *Informe de Calidad de Aguas de los Ríos de El Salvador. Año 2010*. San Salvador.
- MARN-DGOA. (2011a). *Informe de Calidad de Aguas de los Ríos de El Salvador. Año 2010*. San Salvador.
- MARN-DGOA. (2011b). *Informe de la calidad del agua De Laguna de Metapán. Año 2010*.
- MARN-DGOA. (2012). *Informe de Calidad de Agua de los Ríos de El Salvador. Año 2011*. San Salvador.
- MARN-FIAES. (2007). *Diagnóstico preliminar de los contaminantes químicos y microbiológicos del lago de Güija y laguna de Metapán y su incidencia en la salud de los peces*.
- MARN-FORGAES. (2007). *Sistema de información ambiental (SIA)*.
- MARN-HIDRODESARROLLO, S. (2008). *Diagnóstico de la calidad de aguas subterráneas, modelo de flujo y evaluación del riesgo a la contaminación, en tres zonas prioritarias: a) Zapotitán-Opico, b) subcuenca río Apanchacal (Santa Ana) y c) subcuenca río Grande de San Miguel (ac. San Miguel)*. San Salvador: MARN.
- MARN-HIDRODESARROLLO, S.A. (2008). *Diagnóstico de la calidad de aguas subterráneas, modelo de flujo y evaluación del riesgo a la contaminación, en tres zonas prioritarias: a) Zapotitán-Opico, b) subcuenca río Apanchacal (Santa Ana) y c) subcuenca río Grande de San Miguel (ac. San Miguel)*. San Salvador: MARN.
- MARN-JICA-BIOTEC. (2006). *Estudio para el Establecimiento del Sistema de Monitoreo de la Calidad de las aguas en el Golfo de Fonseca MARN/JICA-2006*.
- MARN-SNET. (2007). *Diagnóstico nacional de la calidad de las aguas superficiales*.
- MARN-SNET. (2007). *Diagnóstico nacional de la calidad de las aguas superficiales*.
- MARN-SNET. (2007). *Diagnóstico nacional de la calidad de las aguas superficiales*.
- MARN-SNET. (2009). *Informe de Calidad de Aguas de los Ríos de El Salvador. Año 2008*. San Salvador.
- MARN-SNET. (2010). *Informe de Calidad de Aguas de los Ríos de El Salvador. Año 2009*. San Salvador.
- MCC. (1986). *Geografía de El Salvador*. San Salvador.: Antiguo Ministerio de Cultura y Comunicaciones de El Salvador.
- Medina. (2009). *Evaluación de la disponibilidad hídrica de La subcuenca La Quebradona, cuenca alta del Río Lempa*.
- Mendoza, A. E. (2010). *Prisma.org*. Obtenido de http://www.prisma.org.sv/fileadmin/usuarios/documentos/eventos_desarrollo/agua_2015/AlirioM.pdf
- Mesa de Agua-Fusades. (2013). *Nota de prensa: sin agua no hay vida*.



- MINEC - Ministerio de Economía.* (s.f.). Obtenido de <http://www.minec.gob.sv/>
- MINEC. (2011). *Servicios de consultoría para la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) del sector minero metálico de El Salvador.*
- MINEC-BID. (2011). *Desarrollo de la cadena de valor para los productos de acuicultura continental y sus derivados. Modelo productivo para la MIPYME acuícola continental de El Salvador.* San Salvador.
- MINEC-MAG. (2009). *IV Censo Agropecuario 2007-2008.*
- MINEC-MARN. (2011). *Desarrollo de la cadena de valor para los productos de acuicultura continental y sus derivados. Modelo productivo para la MIPYME acuícola continental de El Salvador.* San Salvador.
- MINED. (1995). *Historia natural y ecológica de El Salvador. Tomo I.* San Salvador (EL Salvador): Ministerio de Educación. República de El Salvador.
- MINED. (1995). *Historia natural y ecológica de El Salvador. Tomo I.* San Salvador (EL Salvador): Ministerio de Educación. República de El Salvador.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2012). *Tarifa por el trámite del permiso para riego en la República de El Salvador.*
- Ministerio de Economía. (2009a). *Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.08 para Agua Potable.* San Salvador: Diario Oficial 12/06/2009. Tomo 383, número 109.
- Ministerio de Economía. (2009b). *Norma de aguas residuales descargadas en cuero receptor.* San Salvador: Diario Oficial 03/03/2009.
- Ministerio de Economía. (2013). Acuerdo No. 856. Se reforma el Acuerdo Ejecutivo No. 867, de 16 de octubre de 2009, que contiene las tarifas por los servicios de acueductos y alcantarillados que presta la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. San Salvador: Publicado en el Diario Oficial No. 176, tomo 400 de 24 de septiembre de 2013.
- Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. (1998). *Sistema español de indicadores ambientales: subáreas de agua y suelo.* Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente.
- Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. (2002). *Indicadores Ambientales. Situación actual y perspectivas.* Organismos Autónomos Parques Nacionales.
- Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Netherland. (2000). *Circular on target values and intervention values for soil remediation.* The Hague.
- MINSAL. (2009). *Encuesta Nacional de Salud Familiar - FESAL 2008.* San Salvador.
- MINSAL- Ministerio de Salud.* (s.f.). Obtenido de <http://www.salud.gob.sv/temas/servicios-de-salud/sibasi.html>.
- MINSAL-CONACYT-COSUDE. (1999). *Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable.*
- MITUR. (2012). *Rendición de Cuentas Junio 2011 - Mayo 2012.*
- MMA. (2004). *Manual para el análisis de presiones e impactos relacionados con la contaminación de las masas de agua superficiales.*



- MMA. (2005). *Manual para la identificación de las presiones y análisis del impacto en aguas superficiales*. Dirección General del Agua. Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente.
- Monterrosa, A. J. (2009). *Informe limnológico sobre la visita de campo en el lago de Ilopango*.
- Montufar, J. (2012). *Primer encuentro centroamericano de territorios transfronterizos. Lecciones aprendidas en el marco del Plan Trifinio*. Esquipulas: Comisión Trinacional del Plan Trifinio. Secretaría Ejecutiva Trinacional.
- Nippon Koei Ltd. (2007). *Informe Final. Modelos para el manejo de los recursos hídricos de El Salvador*.
- Nippon Koei Ltd. (2007). *Proyecto: “Modelos Para el Manejo de los Recursos Hídricos de El Salvador*.
- OEA. (1974). *El Salvador - Zonificación Agrícola - Fase I*. Washington D.C.
- OEA-IICA. (1993). *Plan Trifinio. El Salvador-Guatemala-Honduras*. Washington, D.C.: OEA.
- OEA-IICA. (1988). *Plan de Desarrollo Regional Fronterizo Trinacional Trifinio*. OEA.
- Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en El Salvador. (2012). *El mercado del tratamiento y suministro de agua en San Salvador*.
- Oliva Et al. (2007). *Propuesta de un plan de marketing turístico que permita mejorar la afluencia de visitantes a los parques acuáticos administrados por el Instituto Salvadoreño de Turismo ubicados en la Zona Central de El Salvador*. San Salvador.
- OMM. (1994). *Guía de Prácticas Hidrológicas*.
- OMS. (2013). *Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1*.
- ONERN. (1980). *Inventario y Evaluación de Recursos Naturales*. Lima Perú.: Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales.
- ONERN. (1980). *Inventario y Evaluación Nacional de Aguas Superficiales*. Lima.
- ONERN. (1984). *Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la Zona Altoandina del Perú*. Lima.
- OPM/OMS. (2003). *Vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento en áreas rurales de El Salvador*. San Salvador.
- OPS - Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). Obtenido de http://www.paho.org/els/index.php?option=com_joomlabook&Itemid=221
- Ortiz, O. J. (2007). *Análisis geográfico sobre la calidad del agua de los pozos que utilizan biofiltros al sur de Ahuachapán, departamento de Ahuachapán, El Salvador*.
- OSPESCA-TAIWAN-OIRSA-MAG. (2005). *Plan Regional de Pesca y Acuicultura Continental –PREPAC. Inventario de cuerpos de agua continentales de El Salvador, con Énfasis en la pesca y la acuicultura*.
- Pacific Credit Rating. (11 de 03 de 2011). *Pacific Credit Rating*. Recuperado el 24 de 08 de 2013, de Archivos. Publicaciones: <http://www.ratingspcr.com>
- Paredes et al. (s/fecha). Herramienta EVALHID para la evaluación de recursos hídricos. Manual Técnico v1.0. Valencia, España.



- Paredes, J. e. (2013). Herramienta EVALHID para la evaluación de recursos hídricos. Manual Técnico v1.0. Valencia, España: UPV.
- PNUD. (1969). *Publicación N° 49 . Manual de Instrucciones Hidrometría*. San José, Costa Rica: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Organización Meteorológica Mundial (OMM).
- PNUD. (2006). El Agua una valoración económica de los recursos hídricos en El Salvador. . *Cuadernos sobre Desarrollo Humano, No. 5. Octubre 2006*.
- PNUD. (2010). *Informe sobre Desarrollo Humano El Salvador*. San Salvador: PNUD.
- PNUD-ANDA. (1972). *Desarrollo de los Recursos Hidráulicos en El Salvador. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados*. San Salvador.
- Polo. (2006). *Informe diagnóstico, zonificación base para la metodología de trabajo y recomendaciones para la priorización en la componente de recursos. .*
- PREPAC. (2006). *Caracterización del Estero de Jaltepeque, con énfasis en la pesca y la acuicultura*.
- Presidencia de la República de El Salvador. (1860). Código Civil de El Salvador. San Salvador: Publicado en la Gaceta Oficial No. 85, tomo 8, de 14 de abril de 1860.
- Presidencia de la República de El Salvador. (1973). Reglamento de la Ley de Urbanismo y Construcción. San Salvador: Publicado en el Diario Oficial No. 179, tomo No. 240, de 26 de septiembre de 1973.
- Presidencia de la República de El Salvador. (1987). Reglamento sobre la Calidad del Agua, el Control de Vertidos y las Zonas de Protección. San Salvador: Publicado en el Diario Oficial No. 191, tomo No. 297, de 16 de Octubre de 1987 .
- Presidencia de la República de El Salvador. (2000). Reglamento Especial de Aguas Residuales . San Salvador: Publicado en el Diario Oficial No. 101, tomo No. 347, de 1 de Junio de 2000 .
- Presidencia de la República de El Salvador. (2000). Reglamento Especial sobre el Manejo Integral de los Desechos Sólidos. Publicado en el Diario Oficial No. 101, tomo No. 347, de 1 de junio de 2000.
- Presidencia de la República de El Salvador. (2000d). Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental . San Salvador: Publicado en el Diario Oficial No. 101, tomo No. 347, de 1 de Junio de 2000 .
- Presidencia de la Republica de El Salvador. (2007). Reglamento de la Ley de Ordenación y Promoción de la Pesca y Acuicultura. San Salvador: Publicada en el Diario Oficial No. 88, tomo No. 375, de 17 de mayo de 2007.
- Presidencia de la República de El Salvador. (2009). Reglamento General de la Ley de Medio Ambiente. San Salvador: Aprobado por D.E. N.º 17 de 21 de marzo de 2000; publicado en el D.O. N.º 347 de 12 de abril de 2000. Última reforma por D.E. N.º 39 de 28 de abril de 2009; publicada en el D.O. N.º 98, tomo 383, de 29 de mayo de 2009.
- PRISMA. (1994a). *Degradación Ambiental y Gestión del Desarrollo en El Salvador. .*
- PRISMA. (1994b). *El Agua: Límite ambiental para el desarrollo futuro de El Salvador. .*



- PRISMA. (1995a). *Población, Territorio y Medio Ambiente en El Salvador*. .
- PRISMA. (1995b). *Problemas Ambientales, Gestión Urbana y Sustentabilidad del área metropolitana de San Salvador*. .
- PRISMA. (2001a). *Acceso al agua potable en El Salvador: Tendencias, perspectivas y desafíos*. .
- PRISMA. (2001b). *Estudio de la Intrusión de Aguas Salinas en la Zona Costera de la Bahía de Jiquilisco*.
- PRISMA. (2001b). *La gestión del agua en El Salvador: Desafíos y respuestas institucionales*. .
- PRISMA. (2002). *Formas de gestión y uso de recursos en la cuenca del río Paz en El Salvador*.
- PRISMA. (2011a). *Dinámicas socio ambientales y productivas en la zona Norte de El Salvador: La ribera norte del Humedal Cerrón Grande*.
- PRISMA. (2011b). *Estudio agroambiental de las tierras fluctuantes del Humedal Cerrón Grande*. .
- PRISMA. (2012). *La evolución del rol territorial de la Bahía de Jiquilisco*. .
- RASES. (2011). *Diagnóstico sobre la situación de agua y saneamiento en El Salvador*.
- Remenieras, G. (1974). *Tratado de hidrología aplicada*. Barcelona: Editores técnicos asociados s.a.
- República del Perú. (2008). *DECRETO SUPREMO N° 002 -2008 -MINAM. Aprueban los estándares de calidad para el agua*. Lima.
- Requena, & Quintanilla. (1993). *El Salvador: Programa de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas en la cuenca entre la Barra de Santiago y El Imposible*.
- Retana, J. G. (2011). *Modelación numérica de flujo del acuífero El Playón, comprendido entre el Cantón Sitio del Niño y el campo de pozos de San Juan Opico administrado por ANDA*.
- Reyes, C. &. (2011). *Diagnóstico y monitoreo de la calidad del agua del río Sucio en el Valle de San Andrés*. Santa Tecla.
- Reyes, L. (2012). *Energía Geotérmica en El Salvador*.
- Rico. (s.f.). *Los suelos de El Salvador*. .
- Rico, M. (1974). *Las nuevas clasificaciones y los suelos de El Salvador*. San Salvador: Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas.
- RIMISP. (2012). *Documento de diagnóstico del Bajo Lempa y Estero de Jaltepeque*.
- Rivera. (2006). Agua y Gobernabilidad en El Salvador. *Alternativas Para El Desarrollo*, 1 - 17.
- Rodríguez. (2010). *Dinámica hidrológica en la cuenca baja del río Paz*. .
- Romero. (2012). *Superficie cultivada bajo riego en la república de El Salvador, C.A.*
- Romero. (2012a). *Consumo de agua con fines de riego en la república de El Salvador C:A*. San Salvador.
- Romero. (2012b). *Producción de aguas servidas, tratamiento y uso en El Salvador*. San Salvador.
- Romero. (2012c). *Superficie cultivada bajo riego en la República de El Salvador, C.A.*



- Rosa Chávez, H. (2013). *Hacia el Plan Nacional Hídrico*. San Salvador: Presentación en el marco del Acto de Lanzamiento de la elaboración del Plan Nacional Hídrico.
- RTI. (2004). *Research Triangle International. Anexos 6 y 7 de Informe de Consultoría para Analizar las Ventajas Comparativas y el Potencial de los Pequeños Proveedores Independientes para la Prestación de Servicios Públicos*. FISDL/PPIAF.
- Ruiz, J. M. (1999). *Modelo distribuido para la evaluación de recursos hídricos*. CEDEX.
- SACDEL. (2006). *Propuesta para el desarrollo ecoturístico de la Laguna de Olmega, a partir del proyecto del cantón Olmega*. San Salvador.
- Schlumberger Water Services. (2011). *Visual MODFLOW Users Manual*. Kitchener.
- SEI, Stockholm Environment Institute. (2011). *WEAP user guide*.
- SIGET - Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones. (s.f.). Obtenido de <http://www.siget.gob.sv/>
- SIGET. (2012). *Boletín de estadísticas eléctricas N° 13 2011*. San Salvador.
- SIGET. (2013). *Boletín de estadísticas eléctricas N° 14 2012*.
- SIP, Fundación Seminario de Investigación para la Paz. (2008). *El Agua, derecho humano y raíz de conflictos*. Gobierno de Aragón. Departamento de Educación, Cultura y Deporte.
- SNET. (2003). *Evaluación de las políticas para enfrentar la sequía en El Salvador dentro del marco del desarrollo y la Transferencia de tecnologías de adaptación ante la Variabilidad y el cambio global del clima. Regionalización de caudales máximos y medios en El Salv.*
- SNET. (2004). *Regionalización de caudales máximos y medios en El Salvador*.
- SNET. (2005). *Balace hídrico integrado y dinámico en El Salvador. Componente evaluación de recursos hídricos*. San Salvador.
- SNET. (2005a). *Análisis de riesgo ante amenazas naturales de la subregión La Unión*.
- SNET. (2005b). *Balace hídrico integrado y dinámico en El Salvador. Componente evaluación de recursos hídricos*. San Salvador. San Salvador: SNET.
- SNET. (2009). *Estudio territorial de la Subregión San Miguel*.
- SNET. (2010). *Sistema de alerta temprana por inundaciones en el Río Grande de San Miguel. El Salvador*.
- SNET. (2012). <http://www.snet.gob.sv>. Recuperado el 10 de Julio de 2013, de http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/PM_region.pdf
- SNET. (2013). <http://www.snet.gob.sv>. Recuperado el 10 de Julio de 2013, de http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/PM_region.pdf
- Steer, R. A.-I.-C. (1997). *Documento base para la elaboración de la “Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras Colombianas”. Documento de consultoría para el Ministerio del Medio Ambiente*. Serie publicaciones especiales No. 6.



- Tejada, J. M. (2003). *Presentación - Desarrollo Tecnológico del Riego en El Salvador*. Universidad de El Salvador.
- Témez, J. R. (1977). *Modelo matemático de transformación "precipitación-escorrentía"*. Madrid: Asociación de Investigación Industrial Eléctrica (ASINEL).
- Títulos, Bienes y Valores, S.A. de C.V. (2013). *Informe Anual Ambiental Año 2011, de la actividad "Zona Franca y Parque Industrial San Marcos" Resolución MARN-No. 9918-653-2007*.
- Toolseeram, R. (2008). *Life cycle assessment of electricity generation from bagasse in Mauritius*.
- UCA. (1996). *Situación actual de los recursos hídricos en las cuencas Sucio, Acelhuate y Cuaya*. San Salvador: Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.
- UCA. (1997). *Caracterización de la Cuenca Hidrográfica Sucio*.
- UCA-FIAES. (2008). *Determinación de la contaminación por plaguicidas en agua, suelo, sedimentos y camarones en los cantones Salinas del Potrero y Salinas de Sisiguayo en la Bahía de Jiquilisco*.
- UCA-FIAES. (2008). *Determinación de la contaminación por plaguicidas en agua, suelo, sedimentos y camarones en los cantones Salinas del Potrero y Salinas de Sisiguayo en la Bahía de Jiquilisco*.
- UCA-FIAES. (2009). *Evaluación del impacto de las aguas residuales provenientes de la producción de camarón sobre las características físico químicas del agua de la Bahía de Jiquilisco*.
- UCA-FIAES. (2010). *Evaluación del impacto de las aguas residuales provenientes de la producción de camarón sobre las características físico químicas del agua de la Bahía de Jiquilisco*.
- UCA-FIAES. (2010). *Evaluación del impacto de las aguas residuales provenientes de la producción de camarón sobre las características físico químicas del agua de la Bahía de Jiquilisco*.
- UCAR. (2006). *University Corporation for Atmospheric Research*. Recuperado el Julio de 2013, de http://wegc203116.uni-graz.at/meted/hydro/basic/Runoff_es/print_version/06-NWSRFS.htm
- UE-MARN. (2007). *Sistema de información ambiental (SIA)*. San Salvador: Proyecto FORGAES.
- UE-MARN. (2007). *Sistema de información ambiental (SIA)*. San Salvador: UE-MARN.
- UES. (2010). *Atlas geográfico de los insectos acuáticos indicadores de calidad ambiental de aguas de los ríos de El Salvador. Proyecto Universidad de El Salvador (UES)*. San Salvador.
- UICN. (2004). *El estado de los recursos en la región hidrográfica Cara Sucia-San Pedro Belén en la zona sur de Ahuachupán*.
- UICN. (2005). *Uso del agua en sistemas de riego en el sur de Ahuachupán, El Salvador. Ahuachupán*.
- UICN. (2005). *Uso del agua en sistemas de riego en el sur de Ahuachupán, El Salvador. Ahuachupán*.
- UNEP-WCMC. (2004). *Protected Areas and Biodiversity: an overview of key issues*. www.biodiv.org.
- UNESCO-MAB. (2007a). *Formulario de propuesta de reserva de la Biosfera. Apaneca-Illamatepec*.
- UNESCO-MAB. (2007b). *Formulario de propuesta de reserva de la Biosfera. Xiriualtique-Jiquilisco*.
- UNESCO-MAB. (2010). *Formulario de propuesta de reserva de la Biosfera. Trifinio Fraternidad*.



- UNOPS-AMUNSE. (2011). *Microcuenca de Río Sucio- Caracterización y diagnóstico*.
- UN-Water. (2013). *Water Security and the Global Water Agenda*. Hamilton, Ontario (Canadá): United Nations University.
- USAID. (2007a). *Estudio de balance hídrico de las regiones hidrográficas C y D. USAID Improved management and conservation of critical watersheds*.
- USAID. (2007b). *Anexos bases de datos de sistemas de agua potable y sistemas de riego de las regiones C y D*.
- USAID. (2008a). *Propuesta de plan de manejo de la subcuenca Cara Sucia*.
- USAID. (2008b). *Propuesta de Plan de manejo de la subcuenca San Pedro*.
- USAID. (2009a). *Propuesta de estrategia de ampliación de cobertura de agua potable y saneamiento en El Salvador*. San Salvador.
- USAID. (2009b). *Propuesta de Plan de Manejo de la Subcuenca Río Grande de Sonsonate Proyecto Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Santa Tecla.
- USAID. (2010). *Compendio de Legislación Ambiental. El Salvador*.
- USAID. (2010). *Propuesta de Plan de Manejo del Área Natural Protegida Complejo Los Cobanos*.
- USAID. (2012). *Compendio de Legislación Marino-Costera de El Salvador*. Programa Regional para el Manejo de Recursos Acuáticos y Alternativas Económicas.
- USSC. (1998). *Evaluación de recursos de agua de la República de El Salvador*.
- UT. (2013). *Unidad de Transacciones S.A. de C.V.*. Obtenido de Acerca de UT. Historia: <http://www.ut.com.sv/web/guest/9>
- Ventura, C. (2005). *Levantamiento de fuentes contaminantes del recurso hídrico*. San Salvador.
- Verdin, K. L., & Verdin, J. P. (1999). A Topological System for Delineation and Codification of the Earth's River Basins. (Elsevier, Ed.) *Journal of Hydrology*(218), 1-12.
- Web MARN. (s.f.). Obtenido de <http://www.snet.gob.sv/>
- Weber, H. e. (1978). *Mapa Geológico de la República de El Salvador. E. 1:100.000. Mapeo Geológico por la Misión Geológica Alemana en El Salvador en colaboración con el Centro de Investigaciones Geotécnicas (1967-1971)*. Hannover, El Salvador: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- WFD. (2000). *Directiva 2000 / 60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de Octubre de 2000*. Bruselas - Bélgica: Parlamento Europeo.
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Hubber-Lee, A. (Diciembre de 2005). WEAP21 - A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model. Part 1: Model Characteristics. *Water International*, 30(4), 487-500.

Figura 88

Tabla 80