



MARN

Ministerio de Medio Ambiente
y Recursos Naturales

Capacidad de carga de medio receptor – Agua El Salvador

Agosto 2018

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Contenido

Glosario.....	4
Abreviaturas.....	4
I. Generalidades	5
II. Metodología de cálculo de cargas contaminantes.....	6
Estimación de carga contaminante promedio por río	6
Estimación de carga contaminante guía promedio por río	7
Estimación de la calidad de agua para lagos y lagunas	7
<i>Estimación del cálculo del ICA</i>	8
III. Resultados obtenidos, Capacidad de carga	9
Región hidrográfica A: Río Lempa.....	9
Contaminante: DBO₅	9
Contaminante: <i>Coliformes Fecales</i>	10
Parámetros generales.....	11
Región hidrográfica B: río paz	12
Contaminante: DBO₅	12
Contaminante: <i>Coliformes Fecales</i>	12
Parámetros generales.....	13
Región hidrográfica C: Cara Sucia- San Pedro.....	13
Contaminante: DBO₅	13
Contaminante: <i>Coliformes Fecales</i>	13
Parámetros generales.....	13
Región hidrográfica D: Grande de Sonsonate.....	13
Contaminante: DBO₅	13
Contaminante: <i>Coliformes Fecales</i>	14
Parámetros generales.....	14
Región hidrográfica E: Mandinga-Comalapa	14
Contaminante: DBO₅	14
Contaminante: <i>Coliformes fecales</i>	14
Parámetros generales.....	15
Región hidrográfica F: Jiboa- Estero de Jaltepeque	15
Contaminante: DBO₅	15
Contaminante: <i>Coliformes Fecales</i>	15
Parámetros generales.....	16

Región hidrográfica G: Bahía de Jiquilisco	16
Contaminante: <i>DBO₅</i>	16
Contaminante: <i>Coliformes Fecales</i>	16
Parámetros generales.....	17
Región hidrográfica H: Grande de San Miguel.....	17
Contaminante: <i>DBO₅</i>	17
Contaminante: <i>Coliformes Fecales</i>	17
Parámetros generales.....	17
Región hidrográfica I: Sirama.....	17
Contaminante: <i>DBO₅</i>	17
Contaminante: <i>Coliformes Fecales</i>	18
Parámetros generales.....	18
Región hidrográfica J: Goascorán	18
Contaminante: <i>DBO₅</i>	18
Contaminante: <i>Coliformes fecales</i>	18
Parámetros generales.....	18
Lagos y lagunas	19
IV. Capacidad de Explotación de los Recursos Hídricos (MARN, 2017).	20
Índice de estrés hídrico.....	20
Índice de explotación de aguas subterráneas	21
V. Consulta de información de este informe	23
VI. Conclusiones:	23
VII. VI. Bibliografía.....	 Error! Marcador no definido.
VIII.	24

Glosario

ICA: Índice de calidad del agua calculado mediante la metodología propuesta por Brown (NSF)

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.

Capacidad de carga de un cuerpo de un río: Cantidad o masa de carga que el río puede transportar por unidad de tiempo. Cada río tiene una carga límite que puede transportar, que depende de la velocidad, del caudal y del tamaño de las partículas. Además, la turbulencia juega un papel esencial, pues cuanto mayor sea mayor será la capacidad del río de movilizar mayor volumen de masa y materiales de mayor tamaño.

Autodepuración de un cuerpo de agua: La autodepuración es el proceso de recuperación de un curso de agua después de un episodio de contaminación orgánica. En este proceso los compuestos orgánicos son diluidos y transformados progresivamente por la descomposición bioquímica, aumentando su estabilidad.

Objetivos de calidad del agua: Una guía de calidad es una expresión cuantitativa o narrativa que surge de un requerimiento científico para un parámetro de calidad respecto a un destino específico asignado al agua.

Red de monitoreo de calidad de agua: conjunto de sitios de muestreo que se disponen para el seguimiento y evaluación a la calidad del recurso hídrico en el país.

Sitio de muestreo: sitio físico y georreferencia en el cual se realiza la toma de muestra de agua para su análisis de calidad y cantidad, dicho lugar es seleccionado a partir de muchos criterios para que sea representativo del cuerpo de agua en su totalidad.

Abreviaturas

TDS: Total de Sólidos Disueltos.

SST: Sólidos Suspendidos Totales.

NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez.

NMP: Número más probable.

Kg: Kilogramos.

PNGIRH: Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico.

SIHI: Sistema de Información Hídrica.

I. Generalidades

La auto depuración de las aguas es un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el curso del agua de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas a un río. Principalmente son las bacterias aerobias, que consumen materia orgánica con ayuda del oxígeno disuelto en el agua. Además, hay que añadir las plantas acuáticas, que asimilan algunos componentes en forma de nutrientes, así como otros procesos fotoquímicos, diluciones, entre otros.

La capacidad de auto regeneración de un río depende principalmente de los siguientes aspectos: **el caudal**, que permitirá diluir el vertido y facilitar su posterior degradación, **la turbulencia del agua**, que aportará oxígeno diluido al medio, favoreciendo la actividad microbiana y, **la naturaleza y tamaño del vertido**.

En este sentido, la presencia en el agua de altas concentraciones de contaminantes, tanto biodegradable como elementos artificiales no biodegradables, anula el proceso de autodepuración, se rompe el equilibrio y queda una zona contaminada que resultará difícil recuperar si no es de forma lenta y/o artificial.

En el caso de contaminantes biodegradables siempre habrá autodepuración sin embargo esto dependerá de los aspectos antes mencionados, el seguimiento de esta auto regeneración se hace mediante el parámetro de Demanda Bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO₅) que es una medida del oxígeno que usan los microorganismos para descomponer el agua. Si hay una gran cantidad de desechos orgánicos en el agua del vertido, también habrá muchas bacterias presentes trabajando para descomponer este desecho y sobre el seguimiento del parámetro bacteriológico de los coliformes fecales.

En El Salvador la herramienta utilizada para el control de la carga contaminante en un río sin exceder su capacidad de autodepuración se realiza mediante los valores normados en el *Reglamento de Normas Técnicas de Calidad Ambiental, Decreto 40 de la Republica de El Salvador*, el cual en el art. 19 del capítulo IV “Calidad del agua como cuerpo receptor” da el valor límite para la DBO₅ medida como parámetro de control en 5 mg/L y para los Coliformes fecales en 1000 NMP/100 mL, con base a los cuales se ha estimado la capacidad de carga de los cuerpos de agua.

Para el control y la verificación de que la autodepuración del río según el cumplimiento de este valor límite se utilizan los valores recolectados para caudal, Coliformes fecales y DBO₅ en las campañas realizadas durante el período 2006 al 2017 de la red de monitoreo de calidad de agua que realiza el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Además, se muestran las medianas históricas (2006-2017) de los parámetros de pH, turbidez, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto y aceites y grasas, los cuales indican el estado de la calidad del agua de los ríos; sin embargo, estos no pueden ser utilizados

para estimar capacidad de carga, debido a que son parámetros de control de la contaminación de aguas residuales, no aplicables a la estimación de la capacidad de carga de los cuerpos de agua.

Los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos, son sujetos de presiones, entendidas como la probabilidad que tienen dichos cuerpos de sufrir una afección.

La Ley de Medio Ambiente establece que la Capacidad de Carga es la 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.

II. Metodología de cálculo de cargas contaminantes

Estimación de la carga contaminante promedio por río

Si se denomina c a la masa de un contaminante y Q al caudal que lo transporta, la carga contaminante W vendrá dada por la siguiente expresión:

$$W = c \times Q$$

Y esta viene dada generalmente en kg/día exceptuando los coliformes fecales que vienen dados en NMP/día.

Para estimar la carga contaminante promedio en cada río monitoreado se siguieron los siguientes pasos:

- Calcular la carga contaminante en cada estación de monitoreo para cada una de las campañas realizadas.

Ejemplo:

Río	Estación de monitoreo	$W_{AÑO1}$	$W_{AÑO2}$	$W_{AÑO..n}$
A	A1	x	xx	xxx
A	A2	x	xx	xxx

- Calcular el promedio simple de las cargas contaminantes para una misma estación de monitoreo.

Ejemplo:

$$W_{An} = \sum_{i=2006}^n W$$

Donde:

n: A las campañas realizadas en esa estación de muestreo

- c) Calcular el promedio simple de la carga contaminantes promedio de las diferentes estaciones de monitoreo de un mismo río.

$$W_A = \sum_{i=1}^n W_n$$

Donde:

n: El número de estaciones de muestreo sobre el río

Estimación de la carga contaminante guía promedio por río

Al igual que el proceso anterior se calcula una carga contaminante promedio que sirve como directriz para conocer el cumplimiento del reglamento técnico de calidad ambiental, en este caso el único valor que cambia en el tiempo es el caudal ya que el valor guía de DBO₅ (5 mg/L) permanece constante a lo largo de todas las campañas realizadas.

Cuando la carga contaminante medida promedio por río es mayor a la carga guía promedio se presenta un porcentaje de exceso de contaminante según la siguiente fórmula:

$$\%exceso = \frac{\text{Valor promedio} - \text{valor promedio guía}}{\text{valor promedio guía}} \times 100 (\%)$$

Estimación de la calidad de agua para lagos y lagunas

Para la evaluación de la calidad de agua de los lagos y lagunas, se ha utilizado el Índice de Calidad de Agua, ya que no es posible estimar la capacidad de carga debido a que se requiere de elaborar modelos numéricos, los cuales no se han desarrollado a la fecha.

El Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que, en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).

Para la determinación del “ICA” interviene 9 parámetros, los cuales son:

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/ L)
- Nitratos (NO₃ en mg/L)
- Fosfatos (PO₄ en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en UNT)

- Sólidos disueltos totales (en mg/ L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

Estimación del cálculo del ICA

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación en el curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo del índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base a la siguiente tabla:

Clasificación	ICA	Color que lo representa
Excelente	91-100	
Buena	71-90	
Regular	51-70	
Mala	26-50	
Pésima	0-25	

Las aguas con “ICA” de categoría “Buena” y “Excelente” son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Mala” pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

Las aguas con un “ICA” que caen en categoría “Pésima” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación.

La evaluación numérica del “ICA”, se realiza con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos. La ecuación general es:

$$ICA = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

Donde:

w_i : Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub_i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno. Sub_i : Subíndice del parámetro i .

Los pesos de los diversos parámetros son:

Parámetro	w_i
Coliformes Fecales	0.15
pH	0.12
DBO ₅	0.10
Nitratos	0.10
Fosfatos	0.10
Cambio de Temperatura	0.10
Turbidez	0.08
Sólidos disueltos totales (TDS)	0.08
Oxígeno disuelto	0.17

III. Resultados obtenidos, Capacidad de carga

Los resultados de capacidad de carga en valores denominados “Promedio guía” para los parámetros DBO₅ y Coliformes fecales, se muestran por región hidrográfica y por río en las siguientes tablas.

Como se mencionó anteriormente, los parámetros de pH, turbidez, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto y aceites y grasas, indican el estado de la calidad del agua de los ríos y son evaluados durante las campañas de monitoreo; sin embargo, estos no pueden ser utilizados para estimar capacidad de carga, debido a que son parámetros de control de la contaminación de aguas residuales, no aplicables a la estimación de la capacidad de carga de los cuerpos de agua.

Región hidrográfica A: Río Lempa

Contaminante: **DBO₅**

Río	Promedio DBO ₅ (kg/día)	Promedio guía DBO ₅ (kg/día)	Conclusión
Acahuapa	287	429	No excede la carga contaminante
Acelhuate	14876	2180	Excede la carga contaminante en
Acelhuate - Matalapa	1689	92	Excede la carga contaminante en un 1744%
Angue	120	191	No excede la carga contaminante
Chimalapa	66	77	No excede la carga contaminante
Chiquito	0.112	0.017	Excede la carga contaminante en
Cusmapa	43	89	No excede la carga contaminante
El Gramal	8	26	No excede la carga contaminante
Grande de Chalatenango	83	151	No excede la carga contaminante permitida
Guazapa	139	98	Excede la carga contaminante en
Metayate	38	70	No excede la carga contaminante

Capacidad de carga medio receptor AGUA

Río	Promedio DBO ₅ (kg/día)	Promedio guía DBO ₅ (kg/día)	Conclusión
Nunuapa	5	10	No excede la carga contaminante
Ostúa	1755	1977	No excede la carga contaminante
Quezalapa	205	308	No excede la carga contaminante
Río Guajoyo	147	261	No excede la carga contaminante
Río Jupula	16	23	No excede la carga contaminante
Río Lempa	2454	4465	No excede la carga contaminante
San José	188	47	Excede la carga contaminante en
San Simón	33	76	No excede la carga contaminante
Sapo	163	307	No excede la carga contaminante
Sesori	180	289	No excede la carga contaminante
Sucio	6974	860	Excede la carga contaminante en
Sucio de Cuscatlán	152	219	No excede la carga contaminante
Sumpul	301	598	No excede la carga contaminante
Suquiapa	7092	856	Excede la carga contaminante en
Tahuilapa	55	144	No excede la carga contaminante
Talquezalapa	92	89	Excede la carga contaminante en
Tamarindo	97	192	No excede la carga contaminante
Tamulasco	48	53	No excede la carga contaminante
Tepechapa	65	64	Excede la carga contaminante en
Titihuapa	358	573	No excede la carga contaminante
Torola	766	790	No excede la carga contaminante

Contaminante: Coliformes Fecales

Río	Carga guía Coliformes fecales (NMP/día)	Carga real Coliformes Fecales (NMP/día)	Conclusión
Acahuapa	4.29E+14	7.04E+14	Excede la carga contaminante permitida
Acelhuate	2.18E+15	3.02E+18	Excede la carga contaminante permitida
Acelhuate - Matalapa	9.16E+13	8.23E+17	Excede la carga contaminante permitida
Angue	1.91E+14	5.46E+14	Excede la carga contaminante permitida
Chimalapa	7.67E+13	1.88E+13	No excede la carga contaminante permitida
Chiquito	1.68E+10	3.69E+12	Excede la carga contaminante permitida
Cusmapa	8.86E+13	2.28E+14	Excede la carga contaminante permitida
El Gramal	2.64E+13	8.15E+13	Excede la carga contaminante permitida
Grande de Chalatenango	1.51E+14	3.30E+14	Excede la carga contaminante permitida
Guazapa	9.76E+13	2.54E+14	Excede la carga contaminante permitida

Capacidad de carga medio receptor AGUA

Río	Carga guía Coliformes fecales (NMP/día)	Carga real Coliformes Fecales (NMP/día)	Conclusión
Metayate	6.65E+13	1.83E+14	Excede la carga contaminante permitida
Nunuapa	2.05E+13	3.20E+13	Excede la carga contaminante permitida
Ostúa	1.98E+15	2.28E+15	Excede la carga contaminante permitida
Quezalapa	3.08E+14	5.59E+13	No excede la carga contaminante permitida
Río Guajoyo	2.61E+14	1.41E+14	No excede la carga contaminante permitida
Río Jupula	2.26E+13	9.59E+12	No excede la carga contaminante permitida
Río Lempa	4.47E+15	6.44E+17	Excede la carga contaminante permitida
San José	4.68E+13	2.96E+17	Excede la carga contaminante permitida
San Simón	7.62E+13	1.14E+14	Excede la carga contaminante permitida
Sapo	3.07E+14	4.71E+14	Excede la carga contaminante permitida
Sesori	3.26E+14	6.13E+15	Excede la carga contaminante permitida
Sucio	8.60E+14	7.15E+16	Excede la carga contaminante permitida
Sucio de Cuscatlán	2.19E+14	3.64E+14	Excede la carga contaminante permitida
Sumpul	6.30E+14	1.02E+15	Excede la carga contaminante permitida
Suquiapa	8.56E+14	7.70E+17	Excede la carga contaminante permitida
Tahuilapa	1.44E+14	5.18E+14	Excede la carga contaminante permitida
Talquezalapa	8.86E+13	2.80E+14	Excede la carga contaminante permitida
Tamarindo	2.13E+14	1.29E+15	Excede la carga contaminante permitida
Tamulasco	5.27E+13	3.08E+14	Excede la carga contaminante permitida
Tepechapa	6.38E+13	3.16E+13	No excede la carga contaminante permitida
Titihuapa	5.73E+14	6.72E+13	No excede la carga contaminante permitida
Torola	7.90E+14	8.13E+13	No excede la carga contaminante permitida

Parámetros generales

Río	Oxígeno disuelto	Aceites y grasas	Turbidez	SST	DQO	pH
Unidades	mg/ L	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	U pH
Acahuapa	6.43	4.25	13.00	15.5	6.00	7.99
Acelhuate - Matalapa	0.72	9.5	142.25	116.8	181.25	7.32
Acelhuate	2.11	14.17	43.55	80.5	61.00	7.62
Angue	6.80	5	2.47	6.5	11.50	7.96
Chimalapa	6.34	1.67	8.29	3.0	30.50	7.96
Chiquito	10.23	4.665	32.05	97.5	56.50	7.58
Cusmapa	7.15	20.67	14.80	4.5	23.75	7.41
El Gramal	7.72	4.17	3.90	7.0	6.00	7.26

Capacidad de carga medio receptor AGUA

Río	Oxígeno disuelto	Aceites y grasas	Turbidez	SST	DQO	pH
Unidades	mg/ L	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	U pH
Grande de Chalatenango	8.38	3	2.55	4.5	8.00	7.51
Guazapa	11.53	ND	5.60	15.5	16.00	8.60
Metayate	6.64	8.17	8.10	4.0	14.00	7.62
Nunuhuapa	8.18	25.67	39.43	33.5	23.14	7.70
Ostúa	6.01	5.5	62.50	15.5	7.39	7.86
Quezalapa	6.81	5.5	11.90	8.8	8.50	7.98
Río Guajoyo	7.10	9.33	2.54	8.0	6.00	7.96
Río Jupula	7.55	3.67	3.70	5.0	13.00	8.08
Río Lempa	6.75	4.835	17.73	13.5	14.00	7.81
San José	4.57	7.75	25.00	25.5	42.49	7.55
San Simón	6.80	3.67	10.25	6.0	9.00	8.48
Sapo	7.25	5.165	30.00	17.0	23.00	7.90
Sesori	7.60	5.58	7.52	13.0	9.50	7.80
Sucio de Cuscatlán	7.11	8	47.85	22.0	10.00	7.99
Sucio	3.59	1.67	30.15	56.3	44.00	7.46
Sumpul	7.61	8	12.15	11.0	12.00	7.54
Suquiapa	3.45	7.665	25.98	53.5	51.75	7.19
Tahuilapa	6.07	2.015	22.22	17.5	12.75	8.20
Talquezalapa	6.57	21.835	19.50	3.0	8.22	7.24
Tamarindo	7.52	6.835	14.75	11.3	9.50	7.90
Tamulasco	6.99	9.67	5.00	5.0	16.00	7.86
Tepechapa	6.60	4.08	47.30	35.5	7.75	8.18
Titihuapa	6.82	9	5.50	6.0	9.38	8.05
Torola	7.09	3.335	37.78	31.3	16.00	7.47

Región hidrográfica B: río Paz

Contaminante: **DBO₅**

Río	Promedio DBO ₅ (kg/día)	DBO ₅ (kg/día)	Conclusión
Paz	1889	3508	No excede la carga contaminante permitida

Contaminante: **Coliformes Fecales**

Río	Carga guía Coliformes fecales (NMP/día)	Carga real Coliformes Fecales (NMP/día)	Conclusión
Paz	3.51E+15	1.47E+15	No excede la carga contaminante permitida

Parámetros generales

Rio	Oxígeno disuelto	Aceites y grasas	Turbidez	SST	DQO	pH
Unidades	mg/ L	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	U pH
Paz	7.44	4.67	8.28	10.0	7.69	8.27

Región hidrográfica C: Cara Sucia- San Pedro

Contaminante: DBO₅

Rio	Promedio DBO ₅ (kg/día)	DBO ₅ (kg/día)	Conclusión
Cara Sucia	66	64	Excede la carga contaminante en un 2%
El Naranjo	63	63	Excede la carga contaminante en un 1%
El Rosario	80	131	No excede la carga contaminante permitida
Guayapa	60	70	No excede la carga contaminante permitida

Contaminante: Coliformes Fecales

Rio	Carga guía Coliformes fecales (NMP/día)	Carga real Coliformes Fecales (NMP/día)	Conclusión
Cara Sucia	6.41E+13	7.93E+13	Excede la carga contaminante permitida
El Naranjo	6.26E+13	2.31E+14	Excede la carga contaminante permitida
El Rosario	1.31E+14	1.82E+14	Excede la carga contaminante permitida
Guayapa	7.03E+13	1.23E+14	Excede la carga contaminante permitida

Parámetros generales

Rio	Oxígeno disuelto	Aceites y grasas	Turbidez	SST	DQO	pH
Unidades	mg/ L	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	U pH
Cara Sucia	7.41	12.25	2.00	3.0	6.88	7.85
El Naranjo	6.85	13.67	4.10	4.0	9.00	7.57
El Rosario	7.73	2.665	5.50	3.0	11.57	7.86
Guayapa	7.58	2.83	2.20	2.5	8.00	7.58

Región hidrográfica D: Grande de Sonsonate

Contaminante: DBO₅

Rio	Promedio DBO ₅ (kg/día)	DBO ₅ (kg/día)	Conclusión
Ceniza	1011	601	Excede la carga contaminante en un 68%
Grande de Sonsonate	1142	1014	Excede la carga contaminante en un 12%

Contaminante: Coliformes Fecales

Rio	Carga guía Coliformes fecales (NMP/día)	Carga real Coliformes Fecales (NMP/día)	Conclusión
Ceniza	6.01E+14	1.02E+16	Excede la carga contaminante permitida
Grande de Sonsonate	1.01E+15	5.40E+16	Excede la carga contaminante permitida

Parámetros generales

Rio	Oxígeno disuelto	Aceites y grasas	Turbidez	SST	DQO	pH
Unidades	mg/ L	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	U pH
Ceniza	7.29	3.75	10.48	12.3	12.50	7.88
Grande de Sonsonate	6.89	11.5	13.08	18.3	14.86	7.82

*Región hidrográfica E: Mandinga-Comalapa**Contaminante: DBO₅*

Rio	Promedio DBO ₅ (kg/día)	DBO ₅ (kg/día)	Conclusión
Apancoyo	55	127	No excede la carga contaminante permitida
Chilama	51	61	No excede la carga contaminante permitida
Comalapa	81	83	No excede la carga contaminante permitida
Comasagua	18	26	No excede la carga contaminante permitida
Jute	19	17	Excede la carga contaminante en un 16%
Mizata	30	63	No excede la carga contaminante permitida
San Antonio	30	42	No excede la carga contaminante permitida
Zunzal	42	52	No excede la carga contaminante permitida

Contaminante: Coliformes fecales

Rio	Carga guía Coliformes fecales (NMP/día)	Carga real Coliformes Fecales (NMP/día)	Conclusión
Apancoyo	1.27E+14	1.53E+14	Excede la carga contaminante permitida
Chilama	6.15E+13	5.19E+14	Excede la carga contaminante permitida
Comalapa	8.31E+13	4.54E+15	Excede la carga contaminante permitida
Comasagua	2.57E+13	2.82E+13	Excede la carga contaminante permitida
Jute	1.67E+13	1.48E+14	Excede la carga contaminante permitida
Mizata	6.25E+13	4.46E+13	No excede la carga contaminante permitida
San Antonio	4.21E+13	2.42E+14	Excede la carga contaminante permitida

Capacidad de carga medio receptor AGUA

Rio	Carga guía Coliformes fecales (NMP/día)	Carga real Coliformes Fecales (NMP/día)	Conclusión
Zunzal	5.19E+13	8.37E+13	Excede la carga contaminante permitida

Parámetros generales

Rio	Oxígeno disuelto	Aceites y grasas	Turbidez	SST	DQO	pH
Unidades	mg/ L	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	U pH
Apancoyo	6.40	4	6.15	5.5	7.00	7.39
Chilama	6.57	13.7	6.87	6.8	10.23	7.81
Comalapa	7.01	13.33	13.10	15.0	11.33	7.60
Comasagua	5.87	4.5	11.24	2.5	11.22	7.43
Jute	5.87	9.665	5.50	9.5	22.00	7.96
Mizata	7.30	12.165	4.98	3.0	14.16	7.82
San Antonio	6.55	13.33	9.50	9.5	10.00	8.00
Zunzal	7.40	9.415	4.53	2.0	10.50	7.60

Región hidrográfica F: Jiboa- Estero de Jaltepeque

Contaminante: DBO₅

Rio	Promedio DBO ₅ (kg/día)	DBO ₅ (kg/día)	Conclusión
Tilapa	29	55	No excede la carga contaminante permitida
Guayabo	240	308	No excede la carga contaminante permitida
Jalponga	42	81	No excede la carga contaminante permitida
Jiboa	255	375	No excede la carga contaminante permitida
San Antonio de Usulután	109	168	No excede la carga contaminante permitida
Sepiquiapa	ND	45	No excede la carga contaminante permitida

Contaminante: Coliformes Fecales

Rio	Carga guía Coliformes fecales (NMP/día)	Carga real Coliformes Fecales (NMP/día)	Conclusión
Guayabo	3.08E+14	5.91E+14	Excede la carga contaminante permitida
Jalponga	8.08E+13	5.30E+14	Excede la carga contaminante permitida

Capacidad de carga medio receptor AGUA

Rio	Carga guía Coliformes fecales (NMP/día)	Carga real Coliformes Fecales (NMP/día)	Conclusión
Jiboa	3.75E+14	1.80E+16	Excede la carga contaminante permitida
San Antonio de Usulután	1.68E+14	9.56E+14	Excede la carga contaminante permitida
Sepiquiapa	4.54E+13	1.18E+14	Excede la carga contaminante permitida
Tilapa	5.49E+13	1.76E+15	Excede la carga contaminante permitida

Parámetros generales

Rio	Oxígeno disuelto	Aceites y grasas	Turbidez	SST	DQO	pH
Unidades	mg/ L	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	U pH
Guayabo	6.90	4	26.00	43.5	19.50	7.65
Jalponga	7.20	8.585	10.10	11.0	21.00	7.72
Jiboa	7.25	6.93	16.80	29.0	17.00	7.94
San Antonio de Usulután	7.20	4.83	3.44	11.5	9.00	7.75
Sepiquiapa	10.23	0.67	7.10	2.0	14.00	8.66
Tilapa	10.17	ND	18.20	8.5	9.00	8.04

Región hidrográfica G: Bahía de Jiquilisco

Contaminante: DBO_5

Rio	Promedio DBO_5 (kg/día)	DBO_5 (kg/día)	Conclusión
Diente de oro	12	21	No excede la carga contaminante permitida
El Molino	286	248	Excede la carga contaminante en un 14%
Juana	332	161	Excede la carga contaminante en un 106%
Roquinte	11	20	No excede la carga contaminante permitida

Contaminante: Coliformes Fecales

Rio	Carga guía Coliformes fecales (NMP/día)	Carga real Coliformes Fecales (NMP/día)	Conclusión
Diente de oro	2.15E+13	7.03E+14	Excede la carga contaminante permitida
El Molino	2.48E+14	7.24E+16	Excede la carga contaminante permitida
Juana	1.61E+14	1.86E+17	Excede la carga contaminante permitida
Roquinte	2.03E+13	2.66E+14	Excede la carga contaminante permitida

Parámetros generales

Rio	Oxígeno disuelto	Aceites y grasas	Turbidez	SST	DQO	pH
Unidades	mg/ L	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	U pH
Diente de oro	5.56	14.585	9.19	8.5	9.50	7.06
El Molino	5.05	4.33	11.10	11.0	20.00	7.22
Juana	2.60	4.83	20.45	21.5	36.00	7.30
Roquinte	5.08	8.085	4.57	2.0	8.00	7.13

Región hidrográfica H: Grande de San Miguel

Contaminante: DBO₅

Rio	Promedio DBO ₅ (kg/día)	DBO ₅ (kg/día)	Conclusión
Grande de San Miguel	2076	2204	No excede la carga contaminante permitida
Las Cañas de San Miguel	669	743	No excede la carga contaminante permitida
Villerías	589	749	No excede la carga contaminante permitida

Contaminante: Coliformes Fecales

Rio	Carga guía Coliformes fecales (NMP/día)	Carga real Coliformes Fecales (NMP/día)	Conclusión
Grande de San Miguel	2.20E+15	2.60E+16	Excede la carga contaminante permitida
Las Cañas de San Miguel	7.43E+14	1.85E+16	Excede la carga contaminante permitida
Villerías	7.49E+14	1.17E+16	Excede la carga contaminante permitida

Parámetros generales

Rio	Oxígeno disuelto	Aceites y grasas	Turbidez	SST	DQO	pH
Unidades	mg/ L	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	U pH
Grande de San Miguel	3.91	6.67	22.50	14.8	20.75	7.51
Las Cañas de San Miguel	5.69	7.5	60.00	26.0	44.00	7.18
Villerías	6.25	10	58.00	43.0	29.67	7.73

Región hidrográfica I: Sirama

Contaminante: DBO₅

Rio	Promedio DBO ₅ (kg/día)	DBO ₅ (kg/día)	Conclusión
Sirama	167	371	No excede la carga contaminante permitida

Contaminante: Coliformes Fecales

Rio	Carga guía Coliformes fecales (NMP/día)	Carga real Coliformes Fecales (NMP/día)	Conclusión
Sirama	3.71E+14	3.45E+15	Excede la carga contaminante permitida

Parámetros generales

Rio	Oxígeno disuelto	Aceites y grasas	Turbidez	SST	DQO	pH
Unidades	mg/ L	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	U pH
Sirama	5.75	4.415	34.00	26.5	28.00	7.60

Región hidrográfica J: Goascorán

Contaminante: DBO₅

Rio	Promedio DBO ₅ (kg/día)	DBO ₅ (kg/día)	Conclusión
Agua Caliente	508	1180	No excede la carga contaminante permitida
Goascorán	1132	1307	No excede la carga contaminante permitida
Pasaquina	361	662	No excede la carga contaminante permitida
Sauce	2393	3514	No excede la carga contaminante permitida

Contaminante: Coliformes fecales

Rio	Carga guía Coliformes fecales (NMP/día)	Carga real Coliformes Fecales (NMP/día)	Conclusión
Agua Caliente	1.18E+15	7.72E+15	Excede la carga contaminante permitida
Goascorán	1.31E+15	3.64E+14	No excede la carga contaminante permitida
Pasaquina	7.25E+14	2.42E+16	Excede la carga contaminante permitida
Sauce	4.38E+15	5.66E+16	Excede la carga contaminante permitida

Parámetros generales

Rio	Oxígeno disuelto	Aceites y grasas	Turbidez	SST	DQO	pH
Unidades	mg/ L	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	U pH
Agua Caliente	7.73	15	28.30	14.5	20.11	8.05
Goascorán	7.20	2.835	90.55	103.0	28.00	7.50
Pasaquina	5.72	6.665	86.35	35.8	29.59	7.38
Sauce	6.85	4.085	31.50	18.0	13.00	7.97

Lagos y lagunas

Se presentan los resultados de evaluación del índice de Calidad del Agua (ICA) como valores guías puntuales de la calidad del agua en lagos y lagunas.

Lago o Laguna	%saturación de oxígeno disuelto	DBO5	Nitratos	Coliformes fecales	pH	Temperatura de la Muestra	TDS	Fosfatos	Turbidez	ICA	Clasificación
Unidades	%	mg/L	mg/L	NMP/100 mL	U pH	°C	mg/L	mg/L	NTU		
Ilopango	98.00	3.35	0.135	490	8.85	29.8	1170	1.63	3.5	48	MALA
Coatepeque	97.06	ND	0.166	45	9.12	28.2	1195	0.15	1.39	60	REGULAR
Guija	81.97	3.49	0.118	490	8.65	30.1	162	0.18	5.05	69	REGULAR
El Jocotal	75.87	ND	3.492	790	7.9	31	366	0.84	0.71	63	REGULAR
Olomega	125.77	7.64	1.49	490	8.23	32.6	229	1.99	50.7	55	REGULAR
Metapán	50.20	22.00	5.9	7000	8.45	27.5	174.5	0.09	19.3	43	MALA

ND: No detectado. Datos recolectados en 2016, exceptuando laguna de Metapán que se tomó en 2013.

IV. Capacidad de Explotación de los Recursos Hídricos (MARN, 2017).

La capacidad de explotación de los recursos hídricos se ha planteado a partir del concepto del Índice de Estrés, el cual que resulta de dividir el total de extracciones en el Sistema de Explotación entre el total del recurso disponible. A partir de lo anterior ha sido posible establecer que tan afectados se encuentran los diez sistemas identificados a nivel nacional, tomando como base los siguientes rangos:

0-0.1: Sin estrés

0.1-0.2: estrés hídrico Bajo

0.2-0.4: estrés hídrico Moderado

0.4-0.8: estrés hídrico Alto.

Para el caso particular de los recursos subterráneos también se debe considerar el valor del Índice de Explotación, definido como la extracción de agua subterránea entre el recurso Disponible. Este recurso disponible debe calcularse como el valor medio de la recarga total, menos el flujo medio requerido para conseguir los objetivos de calidad ecológica del agua superficial asociada. En este sentido, la capacidad que tiene el acuífero como cuerpo receptor, se establece a partir de los siguientes valores del Índice de Explotación:

Índice Explotación	Estado cuantitativo
≤ 0.8	Bueno
$0.8 < IE \leq 1$	Riesgo de sobreexplotación
> 1	Sobreexplotación

Índice de estrés hídrico

Se deduce que, de los 10 sistemas de explotación o Regiones Hidrográficas evaluadas, sólo 1 se encuentra con un índice de estrés hídrico alto (valores comprendidos entre 0.4 y 0.8), el SE Grande de Sonsonate-Banderas, le sigue el SE Cara Sucia-San Pedro con un índice de estrés medio (valores entre 0.2 y 0.4). El SE Grande de Sonsonate-Banderas es con diferencia el sistema más explotado en proporción a los recursos que genera. Los sistemas SE Jiboa-Estero de Jaltepeque y SE Bahía de Jiquilisco, han presentado un índice de estrés bajo, mientras que el resto de sistemas, SE Lempa, SE Paz, SE Mandinga-Comalapa, SE Grande de San Miguel, SE Sirama y SE Goascorán, no presentan estrés hídrico o éste es bajo en situación actual. En los escenarios futuros sólo presenta cambios el SE Jiboa – Estero de Jaltepeque, que pasa a tener un índice de estrés medio en los escenarios futuros.

Índice de estrés en los escenarios futuros en las RH transfronterizas					
Sistema de Explotación/Ámbito		Situación Actual y Escenario 1	Escenario 2. 2017+Qeco	Escenario 3. 2022+Qeco	Escenario 4. 2022+Qeco+CC
SE Lempa	Nacional + transfronterizo	0.09	0.10	0.11	0.11
	Sólo nacional	0.12	0.13	0.15	0.15
SE Paz	Nacional + transfronterizo	0.06	0.12	0.12	0.11
	Sólo nacional	0.08	0.14	0.15	0.15
SE Goascorán	Nacional + transfronterizo	0.01	0.01	0.01	0.01
	Sólo nacional	0.01	0.01	0.01	0.01
Índice de estrés en los escenarios futuros en el resto de SE					
Sistema de Explotación		Situación Actual y Escenario 1	Escenario 2. 2017+Qeco	Escenario 3. 2022+Qeco	Escenario 4. 2022+Qeco+CC
SE Cara Sucia-San Pedro		0.22	0.23	0.23	0.22
SE Grande de Sonsonate-Banderas		0.64	0.65	0.65	0.64
SE Mandinga-Comalapa		0.05	0.06	0.06	0.06
SE Jiboa-Estero de Jaltepeque		0.18	0.22	0.23	0.22
SE Bahía de Jiquilisco		0.11	0.11	0.12	0.11
SE Grande San Miguel		0.08	0.08	0.14	0.13
SE Sirama		0.02	0.02	0.02	0.02
Leyenda de colores: Verde – Sin estrés hídrico (0-0.1); Amarillo – Estrés hídrico bajo (0.1-0.2); Naranja – Estrés hídrico medio (0.2-0.4); Rojo – Estrés hídrico alto (0.4-0.8)					

El tipo de uso agropecuario es el que presenta mayores dificultades en la satisfacción de su demanda hídrica. Su mayor dependencia del recurso de origen superficial, lo convierte en el sector más susceptible a la alta variabilidad estacional que presentan los cursos de agua en el país y que conlleva un suministro deficitario en ciertos casos.

Índice de explotación de aguas subterráneas

De forma similar a los sistemas de explotación, el índice de explotación de aguas subterráneas es el coeficiente resultante de dividir el valor anual de las extracciones artificiales de agua subterránea entre el valor anual de las entradas de agua al sistema subterráneo.

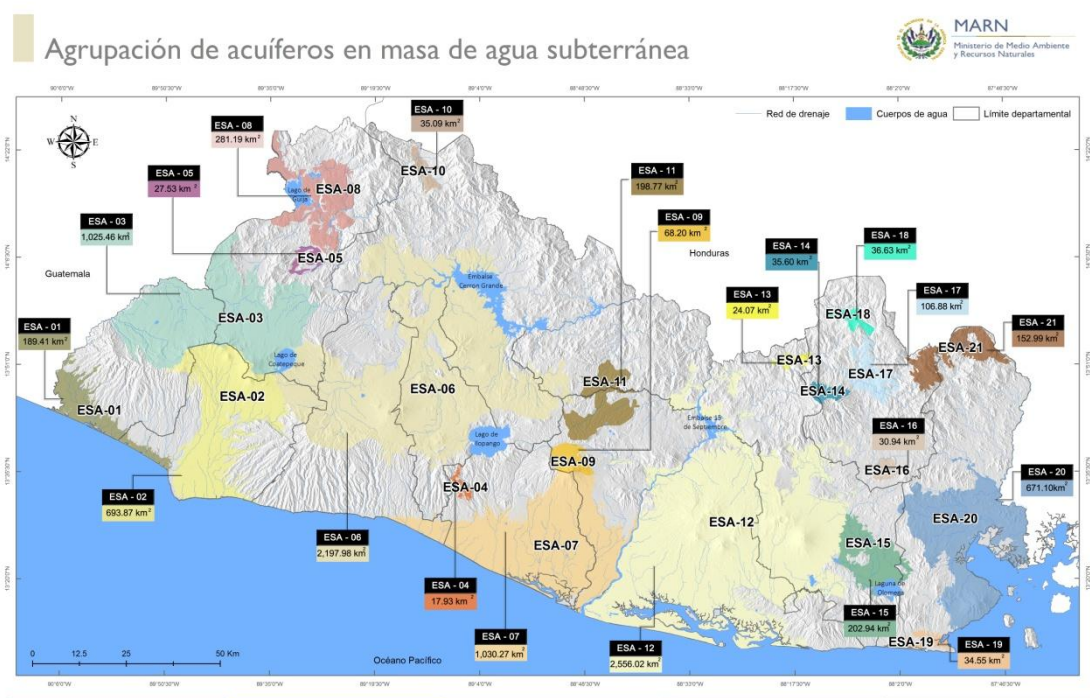


FIGURA 1. AGRUPACIÓN DE ACUÍFEROS EN MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA (MASub)
FUENTE: PLAN NACIONAL DE GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS, MARN, 2017

Índice de Explotación con reserva ambiental (35%)	Escenario 1 2012	Escenario 2 2017	Escenario 3 2022	Escenario 4 2022 + Cambio climático
ESA-01	0.39	0.41	0.42	0.42
ESA-02	0.35	0.34	0.35	0.35
ESA-03	0.26	0.43	0.44	0.43
ESA-04	1.49	1.51	1.51	1.51
ESA-05	0.00	0.00	0.00	0.00
ESA-06	0.52	0.48	0.42	0.42
ESA-07	0.22	0.24	0.25	0.24
ESA-08	0.07	0.08	0.08	0.08
ESA-09	1.13	1.18	1.18	1.18
ESA-10	0.00	0.00	0.00	0.02
ESA-11	0.15	0.18	0.20	0.22
ESA-12	0.31	0.33	0.45	0.45
ESA-13	0.17	0.19	0.20	0.20
ESA-14	0.00	0.00	0.00	0.00
ESA-15	0.10	0.11	0.10	0.09
ESA-16	0.58	0.62	0.69	0.69
ESA-17	0.34	0.35	0.33	0.30
ESA-18	0.00	0.00	0.00	0.02
ESA-19	1.19	1.31	1.49	1.50
ESA-20	0.18	0.21	0.21	0.22
ESA-21	0.27	0.27	0.29	0.29

Para efectos de gestión del recurso hídrico, una MASub con un índice de explotación inferior a 0.8 se considera en buen estado cuantitativo; con un valor entre 0.8 y 1.0 se considera en riesgo de sobreexplotación y con un valor superior a 1.0 se considera en claro proceso de sobreexplotación.

Las MASub ESA-04, ESA-09 y ESA-19 se encuentran en situación de sobreexplotación, por tanto, críticos para su gestión.

V. Consulta de información de este informe

Toda la información que se muestra en este informe puede ser consultada en <http://srt.snet.gob.sv/sihi/public/> el cual es el link de acceso al *Sistema de Información Hídrica* en el cual se podrá encontrar la información del Plan Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) e información de monitoreo hidrológico, hidrogeológico y de calidad de aguas.

VI. Conclusiones:

- Los parámetros de pH, turbidez, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto y aceites y grasas, indican el estado de la calidad del agua de los ríos y se utilizan para estimar capacidad de carga, debido a que son parámetros de control de la contaminación de aguas residuales, no aplicables a la estimación de la capacidad de carga de los cuerpos de agua
- De los 66 ríos monitoreados a nivel nacional 16 de estos están excediendo la carga promedio guía para la DBO₅
- Los ríos Matalapa, Acelhuate, Sucio y Suquiapa son los ríos que presentan mayor contaminación por materia biodegradable
- Nueve de los dieciséis ríos que exceden la carga guía promedio, pertenecen a la Región Hidrográfica A Río Lempa.
- De los 66 ríos solo 8 no exceden la carga contaminante guía de Coliformes Fecales.
- De los 66 ríos solo 7 no exceden la carga contaminante tanto de la DBO₅ como de Coliformes.
- De los 10 sistemas de explotación o Regiones Hidrográficas evaluadas, sólo 1 se encuentra con un índice de estrés hídrico alto (valores comprendidos entre 0.4 y 0.8), el SE Grande de Sonsonate-Banderas, le sigue el SE Cara Sucia-San Pedro con un índice de estrés medio (valores entre 0.2 y 0.4). El SE Grande de Sonsonate-Banderas es con diferencia el sistema más explotado en proporción a los recursos que genera
- En el caso de lagos y lagunas monitoreados, el lago de Ilopango y laguna de Metapán tienen calidad mala, por lo que pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación
- Las MASub ESA-04, ESA-09 y ESA-19 se encuentran en situación de sobreexplotación, por tanto, críticos para su gestión

VII.

VIII. Referencias

- Ambientec S.A de C.V. (2011). *Actualización del Catastro de Vertidos, Evaluación Sobre la Aplicación, Cumplimiento y Verificación del Marco Técnico y Jurídico de las Aguas Residuales en la Subcuenca del Río Acelhuate. Contrato N° 10/2010*. San Salvador: MARN.
- Cuellar, N., & Rosa, H. (2001). *Contaminación de los ríos en El Salvador: Desafíos y propuestas institucionales*. San Salvador: Programa salvadoreño sobre investigación y desarrollo del medio ambiente (PRISMA).
- Hernandez, A. (1992). *Depuración de Aguas Residuales*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- MARN. (2017). *Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. San Salvador.
- Mena, Z. (1997). *Análisis de los resultados del monitoreo preliminar de las subcuencas de los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa*. San Salvador: PAES-MAG.
- Mena, Z., Amaya, L. E., & Peñate, Y. (12 de diciembre de 2017). Informe de calidad de agua en ríos 2017. *Informe de calidad de agua en ríos 2017*. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).
- Ramirez, C. A. (2011). *Calidad de agua: Evaluación y Diagnóstico*. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín.
- RLA/1/010, A. (2010). *Propuesta de un Índice de calidad de agua armonizado para la región*. El Salvador.
- Zimmerman, J. R. (2011). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidad y Diseño*. México D.F.: Alfaomega.

IX. Elaboro

Luis Enrique Amaya
Técnico en Manejo de Información de Calidad
de Aguas Superficiales.
Dirección del Observatorio Ambiental

Roberto Adolfo Cerón
Gerente de Hidrología, a.i.
Dirección del Observatorio Ambiental