



ELABORACIÓN

Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico

de El Salvador, con énfasis en Zonas Prioritarias

CONTRATO MARN/AECID/SLV-041-B - No. 04/2013

CONTRATACIÓN DE CONSULTORÍA "Elaboración del Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, con énfasis en Zonas Prioritarias"

PRODUCTO N° 13. DOCUMENTO FINAL DEL PGIRH

PNGIRH-TTE-PRO-013-E02

ANEXO 05. CAUDALES ECOLÓGICOS

05 de Noviembre de 2015



MARN Ministerio de Medio Ambiente y
Recursos Naturales

Una gestión enérgica, articulada, inclusiva, responsable y transparente



ÍNDICE DEL ANEXO 05. CAUDALES ECOLÓGICOS

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL INFORME	11
2.	CONCEPTOS	13
2.1.	CONCEPTOS Y DEFINICIONES DE CAUDAL AMBIENTAL.....	13
2.2.	RESTRICCIÓN AMBIENTAL VERSUS DEMANDA AMBIENTAL	15
3.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y NORMATIVA.....	17
3.1.	NORMATIVA DE REFERENCIA.....	17
3.1.1.	Guatemala	17
3.1.2.	Honduras	19
3.1.3.	El Salvador	19
3.2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE METODOLOGÍAS PARA ESTUDIOS DE CAUDALES ECOLÓGICOS	22
3.2.1.	Métodos hidrológicos.	22
3.2.2.	Métodos hidráulicos	25
3.2.3.	Métodos de simulación del hábitat físico o hidrobiológicos	25
3.2.4.	Métodos holísticos	26
3.2.5.	Métodos de evaluación de los requerimientos de caudales de las distintas componentes del sistema fluvial.	29
3.3.	EJEMPLOS DE ESTUDIOS EN CENTROAMÉRICA.....	30
3.3.1.	Gestión de Caudales Ambientales en el río Patuca, Honduras.	30
3.3.2.	Proyecto “Conceptualización del Caudal Ambiental en Costa Rica: Determinación inicial para el río Tempisque”	31
3.3.3.	Proyecto “Modelos para el Manejo de los Recursos Hídricos de El Salvador”	31
4.	ACTORES RELACIONADOS CON LOS CAUDALES AMBIENTALES	33
5.	PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES AMBIENTALES.....	35
5.1.	IDENTIFICACIÓN DE TRAMOS PRIORITARIOS.....	36
5.1.1.	Afecciones antrópicas	36
5.1.2.	Conservación	38
5.1.3.	Lista corta a partir de criterios del MARN.....	38
5.2.	ESTUDIOS TÉCNICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS.....	39
5.3.	EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	42
5.4.	PARTICIPACIÓN PÚBLICA Y CONCERTACIÓN	43
6.	INFORMACIÓN NECESARIA	45
7.	RESULTADOS.....	46
7.1.	IDENTIFICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE TRAMOS PRIORITARIOS DE ESTUDIO.....	46
7.1.1.	Zona Hidrográfica I: Río Lempa	54
7.1.2.	Zona Hidrográfica II: Paz – Jaltepeque	59
7.1.3.	Zona Hidrográfica III: Jiquilisco-Goascorán.....	63



7.2.	DETERMINACIÓN DE OBJETIVOS PARA LA GESTIÓN.....	63
7.3.	RESULTADOS DE RÉGIMEN DE CAUDAL MÍNIMO.....	66
7.3.1.	Zona hidrográfica I: Río Lempa.....	68
7.3.2.	Zona hidrográfica II: Paz - Jaltepeque.....	100
7.3.3.	Zona hidrográfica III: Jiquilisco - Goascorán.....	116
7.4.	CONCLUSIONES.....	120
8.	CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA EN FASES POSTERIORES.....	121
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125

APÉNDICES:

APÉNDICE 1. ZONAS DE INTERÉS ECOLÓGICO Y MEDIO AMBIENTAL



ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Hidrogramas reales y ecológicos. Fuente: (Nippon Koei Co., Ltd, 2007).	32
Figura 2. Proceso de determinación e implementación de los caudales ecológicos. Fuente: PNGIRH-MARN. 35	
Figura 3. Preselección de 34 tramos de estudio de caudales ecológicos. Los puntos verde corresponden a aquellos tramos seleccionados por factores de conservación, los rojos por factores de afección antrópica, los naranjas por ambos tipos de factores (antrópica + conservación) y los negros el resto de preseleccionados. Fuente: PNGIRH-MARN	47
Figura 4. Ubicación de los puntos de estudio de caudales ecológicos en El Salvador, diferenciando entre los tramos preseleccionados y los tramos seleccionados por criterios del MARN. Fuente: PNGIRH-MARN	53
Figura 5. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo I-01 Cimarrón en el Alto Lempa.	68
Figura 6. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-01 Cimarrón – Alto Lempa.	69
Figura 7. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo de I-01 Cimarrón – Alto Lempa. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.	71
Figura 8. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo I-02 Guajoyo - Desagüe.	72
Figura 9. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-02 Guajoyo – Desagüe.	73
Figura 10. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-02 Guajoyo – Desagüe. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.	74
Figura 11. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo del río Lempa a la altura de la potabilizadora de Las Pavas.	76
Figura 12. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-04 Las Pavas – Lempa.	77
Figura 13. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-04 Las Pavas – Lempa. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.	78
Figura 14. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo del río Sucio-02.	80
Figura 15. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-07 del río Sucio-02.	81
Figura 16. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, mediante cada una de las metodologías	



propuestas, en el tramo I-07. Río Sucio-02. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.	83
Figura 17. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo I-08 del río Jayuca.	84
Figura 18. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-08 del río Jayuca.	85
Figura 19. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-08 del río Jayuca. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.	86
Figura 20. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo I-09 en el río Metayate.	88
Figura 21. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-09 del río Metayate.	89
Figura 22. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-09 del río Metayate. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.	90
Figura 23. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (abajo) de la serie en régimen natural del tramo I-14 en el río Torola.	92
Figura 24. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-14 del río Torola.	93
Figura 25. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-14 en el río Torola. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.	94
Figura 26. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo I-16 ubicado en el bajo Lempa.	96
Figura 27. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-16 del bajo Lempa.	97
Figura 28. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-16 Bajo Lempa. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.	98
Figura 29. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo II-03 río El Naranjo.	100
Figura 30. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto II-03 río El Naranjo.	101
Figura 31. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-03 Río El Naranjo. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales	



mensuales en régimen natural.	102
Figura 32. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo II-04 río Sonsonate-01.	104
Figura 33. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto II-04 río Sonsonate-01.	105
Figura 34. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-04 Río Sonsonate-01. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.	106
Figura 35. Serie temporal temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo II-08 del río San Antonio.	108
Figura 36. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto II-08 del río San Antonio.	109
Figura 37. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo río San Antonio. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.	110
Figura 38. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo II-11 en el río Acomunca.	112
Figura 39. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto II-11 del río Acomunca.	113
Figura 40. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-11 en el río Acomunca. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.	114
Figura 41. Serie temporal temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo III-02 en el río San Antonio.	116
Figura 42. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto III-02 del río San Antonio.	117
Figura 43. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo III-02 en el río San Antonio. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.	118



ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Cuadro comparativo de líneas metodológicas en estudios de los caudales ambientales. Fuente: (King, Tharme, & Villiers, 2008).....	28
Tabla 2. Criterios justificativos de la aplicación o no aplicación de los métodos hidrológicos expuestos.	39
Tabla 3. Estados de conservación de los ríos de acuerdo a Caudal Anual Mensual. Fuente: (Tennant, 1976). Entre paréntesis se encuentran los términos originales en inglés.	41
Tabla 4. Resultados de la ponderación realizada de una lista preliminar de tramos de estudio en función de distintos parámetros relacionados tanto con la afección antrópica como con el interés ecológico. Las celdas rojas representan aquellos tramos seleccionados por afección antrópica, las verdes por conservación y las naranjas por ambos factores.	48
Tabla 5. Factores a tener en cuenta en la selección de tramos de estudio de caudales ecológicos de El Salvador.	51
Tabla 6. Puntos de estudio seleccionados de caudales ecológicos. Los tramos que coinciden con los preseleccionados previos a los criterios del MARN se resaltan en verde.	52
Tabla 7. Objetivos de gestión a través de la mejora en el régimen ambiental de caudales en los puntos de estudio de caudales ecológicos.	64
Tabla 8. Identificación del tipo de objetivo de gestión por tramo de estudio.	65
Tabla 9. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el punto I-01 Cimarrón – Alto Lempa.	70
Tabla 10. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m ³ /s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-01 Cimarrón – Alto Lempa.	71
Tabla 11. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-02 Guajoyo – Desagüe.	74
Tabla 12. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m ³ /s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-02 Guajoyo – Desagüe.	75
Tabla 13. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-04 Las Pavas – Lempa.	78
Tabla 14. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m ³ /s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-04 Las Pavas – Lempa.	79
Tabla 15. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, y porcentaje respecto al caudal medio	



mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-07 Río Sucio-02.	82
Tabla 16. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m ³ /s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-07. Río Sucio-02. .	83
Tabla 17. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-08 del río Jayuca.	86
Tabla 18. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m ³ /s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-08. Río Jayuca.	87
Tabla 19. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-09 del río Metayate.....	90
Tabla 20. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m ³ /s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-09 Río Metayate. ...	91
Tabla 21. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-14 en el río Torola.....	94
Tabla 22. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m ³ /s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-14 Río Torola.....	95
Tabla 23. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo bajo del río Lempa.	98
Tabla 24. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m ³ /s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-16 Bajo Lempa.	99
Tabla 25. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-03 ubicado en el río El Naranjo.....	102
Tabla 26. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m ³ /s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto II-03 Río El Naranjo.	103
Tabla 27. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-04 río Sonsonate-01.....	106
Tabla 28. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m ³ /s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto II-04 Río Sonsonate-01.	107
Tabla 29. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-08 San	



Antonio	110
Tabla 30. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m ³ /s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto II-08 Río San Antonio.	111
Tabla 31. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-11 del río Acomunca.	114
Tabla 32. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m ³ /s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto II-11 Río Acomunca.	115
Tabla 33. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m ³ /s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo III-02 río San Antonio.	118
Tabla 34. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m ³ /s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto III-02 Río San Antonio.	119



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL INFORME

El agua es un bien escaso en ciertas áreas de El Salvador, bien porque de forma natural se encuentren secas o con poco caudal, o bien por existir en ellas una importante acción antrópica sobre el medio hídrico encaminada a satisfacer las diversas demandas o una combinación de ambas situaciones. Así, el gran objetivo de la planificación hidrológica consiste en lograr la compatibilidad de los usos del agua con la preservación y, en caso necesario, mejora del medio ambiente. Ello requiere de una planificación y gestión eficaces que aseguren el suministro al mayor número y tipo de usuarios posible evitando la excesiva afección (en cantidad y calidad) a los recursos hídricos presentes en el medio subterráneo, ríos, zonas húmedas y aguas de transición.

Con objeto de asegurar esta compatibilidad y en definitiva, el desarrollo sostenible, han de establecerse una serie de objetivos medioambientales cuyo cumplimiento asegure la disponibilidad de recursos en cantidad y calidad. Pero además de estos objetivos, debido a la problemática derivada de la escasez de agua, se hace imprescindible establecer una restricción al uso del recurso con el objetivo de mantener la funcionalidad de los ecosistemas, evitando su deterioro y los consiguientes problemas. Así lo entiende el anteproyecto de la Ley General de Aguas de El Salvador, presentada a la Asamblea Legislativa el 22 de Marzo de 2012, que establece la necesidad de determinar el caudal ambiental, a fin de mantener la estabilidad de los ecosistemas y satisfacer las necesidades y demandas sociales y económicas de la población.

La implementación de un régimen de caudales ecológicos persigue el objetivo de **mantener de forma sostenible la estabilidad, funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados.**

Para alcanzar este objetivo el régimen de caudales ecológicos debe ofrecer un **patrón temporal de los caudales** que permita la existencia, como máximo, de cambios leves en la estructura y composición de los ecosistemas acuáticos y hábitats asociados, así como mantener la integridad biológica del ecosistema. **La alteración en el régimen de caudales crea condiciones de hábitat diferentes** a las que están adaptadas las especies nativas, pudiendo llegar a interrumpir el proceso migratorio de algunas especies así como facilitar la invasión y establecimiento de especies exóticas, tanto de plantas como de animales.

Por otro lado, la **sociedad humana también se beneficia del dinamismo y de la variabilidad natural de los ríos.** Muchos de los servicios y bienes del ecosistema están directamente vinculados con el régimen natural de caudales.

En la consecución de este objetivo tienen prioridad las áreas naturales protegidas o con un alto interés ecológico por la presencia de determinadas especies protegidas, y las zonas con un alto grado de intervención antrópica que dan lugar a afecciones hidromorfológicas.

La determinación e implantación del régimen de caudales en las áreas naturales protegidas no ha de referirse exclusivamente a la propia extensión del área, sino también a los elementos del sistema hidrográfico que, pese a estar fuera de ella, puedan tener un impacto apreciable sobre dicha zona.

Los objetivos que persigue el siguiente documento son:

- Revisión bibliográfica de la **normativa vigente** referente a caudales ecológicos en El Salvador, Honduras y Guatemala, así como una revisión de casos de estudios de caudales ambientales aplicados en países centroamericanos.
- Determinación de los principales **actores** involucrados.



- Identificación de **tramos prioritarios** a nivel nacional para la elaboración de estudios de caudales ecológicos, y **objetivos ambientales** que se persiguen en cada uno de ellos.
- Análisis y propuesta de la **metodología** a utilizar en los tramos seleccionados para la implementación los caudales mínimos.
- **Resultado de régimen de caudal mínimo** obtenido para cada uno de los tramos prioritarios identificados mediante las metodologías planteadas y primera propuesta de régimen de caudales mínimos.
- Establecer una **primera propuesta de rango de caudales ecológicos** por mes de cara a los procesos de participación.



2. CONCEPTOS

2.1. CONCEPTOS Y DEFINICIONES DE CAUDAL AMBIENTAL

El concepto de **caudal ecológico o ambiental** históricamente fue desarrollado como una respuesta a la degradación de los ecosistemas acuáticos, al no integrar y armonizar los intereses de usos con los naturales para la preservación de ecosistemas estratégicos. La expresión caudal ambiental es un concepto complejo, ya que a pesar de que se lleva usando desde hace más de 40 años, no existe una definición única en la que coincidan investigadores y organizaciones involucradas.

Inicialmente, las metodologías desarrolladas para determinar caudales ecológicos fueron diseñadas para la determinación de un caudal mínimo, pues se asumía que los problemas de salud ecológica de río estaban asociados a caudales bajos (Acreman & Dunbar, 2004). Es por esta razón que las definiciones de caudal ecológico mínimo van generalmente orientadas a mantener caudales que restringen el uso del recurso en periodos de caudales bajos para mantener la vida acuática.

Otra definición (Ormazábal, 2004) indica que “es el caudal mínimo necesario en una fuente o curso fluvial que garantiza la conservación de los ecosistemas fluviales actuales, en atención a los usos de agua comprometidos, a los requerimientos físicos de la corriente fluvial, así como al cumplimiento de las funciones ambientales”.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) emplea el término de **caudal ambiental** al que, incorporando un ámbito mayor, define como *el régimen hídrico que se da en un río, humedal o zona costera para mantener los ecosistemas acuáticos y sus beneficios donde se dan utilidades del agua que compiten entre sí y donde los caudales se regulan* (Dyson, Bergkamp, & Scanlon, 2003).

“Debe distinguirse entre la cantidad de agua que se necesita para sustentar un ecosistema en su estado cercano a prístino (natural), y la que podría eventualmente asignarse al mismo luego de un proceso de evaluación ambiental, social y económica. Este último recibe el nombre de “caudal ambiental”, y será un caudal que sustenta el ecosistema en un estado menos que prístino (natural). Se podría pensar que se necesitaría todo el caudal natural, en su pauta natural de caudales altos y bajos, para mantener un ecosistema casi prístino (natural). Muchos ecólogos opinan, sin embargo, que se puede extraer una pequeña porción de caudal sin que por ello se deteriore el ecosistema de manera mensurable. Cuánto se podría extraer de esta forma resulta muy difícil determinarlo, con estimaciones que oscilan entre un 65% y un 95% del caudal natural que tiene que retenerse y con la retención también de la pauta natural del caudal. Una vez que las manipulaciones de caudal superan esto, entonces, los ecólogos de ríos pueden aconsejar en cuanto a pautas y volúmenes de caudales que conducirán a una serie de estados diferentes del río. Luego se puede utilizar esta información para escoger una condición que permita un equilibrio aceptable entre un estado deseable del ecosistema y otras necesidades sociales y económicas de agua. Los caudales que se asignan para lograr la condición elegida son el caudal ambiental”. (Dyson, Bergkamp, & Scanlon, 2003)”

Cabe señalar que en el texto que se acaba de citar la condición elegida debe ir asociada a la clasificación de ríos, de acuerdo a su situación actual, así como a la situación deseada, lo cual ratifica que su definición no toma en cuenta exclusivamente factores técnicos.

En este mismo informe de la UICN se resalta la importancia de la determinación de los caudales ecológicos:

“Los ríos y otros sistemas acuáticos necesitan agua y otros insumos, como detritos y sedimentos, para permanecer sanos y proporcionar beneficios a las personas. Los caudales ambientales contribuyen en forma sustancial a la salud de estos ecosistemas. Quitarle a un río o a un sistema de agua subterránea estos



caudales no sólo daña todo el ecosistema acuático, sino que también amenaza a las personas y comunidades que dependen del mismo. En el caso más extremo, la ausencia a largo plazo de caudales pone en riesgo la existencia misma de ecosistemas dependientes y, por tanto, las vidas, los medios de subsistencia y la seguridad de comunidades e industrias río abajo”.

A continuación se citan otras definiciones referentes al término de **caudal ambiental** usadas internacionalmente:

- **Declaración de Brisbane (Australia).** Conferencia Internacional de Caudales Ecológicos, 2007. El caudal ambiental es la cantidad, régimen y calidad del caudal que se requiere para sostener los ecosistemas de agua dulce y estuarios y los medios de subsistencia y bienestar de la población que dependen de esos ecosistemas.
- (Hirji & David, 2009): Los caudales ambientales pueden ser descritos como la calidad, cantidad y distribución de los caudales necesarios para mantener los componentes, funciones, procesos y capacidad de recuperación de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a las personas.
- (International Water Management Institute (IWMI), 2004): Define el caudal ambiental como el suministro de agua que se debe garantizar a los ecosistemas de agua dulce para que mantengan su integridad, la productividad, los servicios y prestaciones en caso de que estén sujetos a una regulación del caudal y a la múltiple competencia de usos de dicha agua.
- (Arthington & Pusey, 2003): Definen el objetivo de los caudales ambientales como aquellos necesarios para mantener o restablecer parcialmente las características del régimen natural (es decir, la cantidad, frecuencia, momento y duración de los eventos de caudal, las tasas de cambio y la previsibilidad / variabilidad) necesarias para mantener o restaurar los componentes biofísicos y los procesos ecológicos de los ríos y de las aguas subterráneas, de las llanuras de inundación aguas abajo y de las aguas receptoras.
- (Tharme, 2003): Define la estimación de caudales ambientales como una estimación de la cantidad del régimen de caudal original de un río que debe seguir fluyendo y de sus llanuras de inundación con el fin de mantener las características especificadas propias del ecosistema.
- (Brown & King, 2003): El término de caudal ambiental es un término amplio que abarca todos los componentes del río, es dinámico a lo largo del tiempo, toma conciencia de la necesidad de la variabilidad del régimen natural, y se ocupa de cuestiones sociales y económicas, así como de los aspectos biofísicos.

La revisión que se acaba de hacer muestra las dificultades para llegar a una definición unánime de los caudales ecológicos o ambientales. Aunque por su mayor amplitud, la definición de la **Conferencia de Brisbane** parece ser bastante adecuada, no puede pasarse por alto que el **anteproyecto de Ley General de Aguas de El Salvador** (MARN, 2012a) ha tomado ya una definición y mientras la misma no sea modificada, resulta la que los organismos públicos deberán aplicar. Así pues, en el caso del El Salvador se tomará en cuenta la definición de caudal ambiental como la contenida en el artículo 9 del Anteproyecto de Ley General de Aguas:

“Se entenderá como caudal ambiental al régimen hídrico necesario y permanente, característico y propio de cada cuenca, que se da en un río, humedal o zona costera, que permite todo aprovechamiento, con la condición que se mantenga la estabilidad de los ecosistemas y satisfaga las necesidades de usos particulares y comunes.”

Como puede apreciarse de una lectura atenta, mientras la mayor parte de las definiciones revisadas aluden a un río o flujo de agua (motivo por el que suele hablarse de manera más precisa de *caudal*), en la normativa salvadoreña el **caudal ambiental** está referido al **conjunto de fuentes naturales**, es decir que además de a los **ríos**, se debe aplicar el concepto a los **humedales y zonas costeras**.



Por otro lado, también cabe destacar que la visión actual del concepto de caudal ecológico no se reduce únicamente a un mero valor mínimo y constante de caudal, sino que requiere a su vez una modulación temporal del mismo, que permita cubrir las necesidades y requerimientos ambientales asociados al ámbito fluvial. Es por ello que **junto al término caudal ecológico han venido apareciendo diversos conceptos asociados** (Magdaleno, 2005), **que definen un conjunto de términos que se pueden agrupar bajo el nombre genérico de caudales ambientales**, reconociéndose los siguientes entre los más importantes:

- **Caudal de mantenimiento:** Caudal calculado sobre el objetivo de la conservación de los valores bióticos del ecosistema fluvial. Responde a la necesidad de fijar un verdadero régimen completo de caudales, capaz de reproducir de la mejor forma posible la variabilidad temporal más probable y de permitir, en la mayor parte de los años, la reproducción exitosa de los seres vivos que integran el ecosistema.
- **Caudal mínimo:** Este término hace referencia a un caudal capaz de mantener alguna de las funciones básicas del ecosistema fluvial. En origen (en EE.UU.) suponía una limitación a la extracción de agua durante la temporada seca, y puede ser prácticamente insignificante en zonas áridas y semi-áridas. No está necesariamente asociados a criterios científicos.
- **Caudal de acondicionamiento:** Se trata de un caudal complementario al caudal mínimo o de mantenimiento, para una finalidad concreta, ajena a la conservación de valores bióticos del ecosistema fluvial y referido a aspectos abióticos (dilución, paisaje, usos recreativos, etc.)
- **Caudal de sequía:** Se define como un caudal muy reducido, propio de años secos, pero suficiente para mantener a las especies en un ecosistema, sin permitir, necesariamente, su reproducción.
- **Caudal generador (bankfull flow):** Es el que genera la morfología del cauce y se origina a partir de una cierta avenida con un periodo de recurrencia que se obtiene al estudiar la serie de aportaciones del río.
- **Caudal de limpieza (flushing flow):** Es el caudal que mantiene las características específicas del sustrato, previniendo la invasión de la vegetación en el cauce y removiendo la fracción más fina de partículas orgánicas e inorgánicas.
- **Caudal máximo:** Es el mayor caudal que debe circular por el tramo de río regulado y que no debe de ser superado al generar los caudales de mantenimiento, salvo en las grandes avenidas naturales.
- **Caudal de dilución:** concepto que vincula el caudal mínimo a un determinado nivel de la calidad de las aguas. Los **caudales ambientales no deben ser considerados como caudales de dilución** ya que el problema de la contaminación debe atacarse a nivel de la fuente productora, exigiendo que las aguas procedentes de vertidos estén en condiciones de integrarse en el cauce sin provocar demandas de dilución.

2.2. RESTRICCIÓN AMBIENTAL VERSUS DEMANDA AMBIENTAL

Aunque en muchos países los caudales ecológicos se consideran unas demandas ambientales, la tendencia reciente es a considerarlos como una restricción aunque frecuentemente vienen regulados por la normativa nacional. La diferencia estriba en cómo son considerados a la hora de realizar los balances de los sistemas y el análisis de las garantías de las demandas.



- **Como restricción:** el agua destinada a caudales ecológicos recibe la máxima prioridad, la cual solo es superada por la primacía del abastecimiento poblacional. En este caso el caudal ambiental establecido no se incluye en el balance de recursos y demandas.
- **Como una demanda más:** debe concertarse su prioridad en competencia con el resto de demandas en el balance. Por lo tanto, implica tanto una negociación junto con el resto de demandas para los distintos usos como una implicación de las administraciones con competencias en medio ambiente, que represente esta demanda de caudal ecológico en el proceso de concertación. La demanda ambiental no debe entenderse solo con el objeto de preservar el entorno ya que, incluso desde un punto de vista utilitario, el ambiente juega un papel esencial en la renovación y depuración de los recursos hídricos. Para cumplir este papel, el ambiente requiere parte del recurso como cualquier otro sector.

La diferencia radica, por tanto, en el porcentaje de fallos de los caudales ambientales, siendo tanto mayor cuanto mayor sea la escasez de agua y la competencia por el recurso, especialmente al ser considerada como demanda.



3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y NORMATIVA

3.1. NORMATIVA DE REFERENCIA

Debido a la existencia en El Salvador de cuencas transfronterizas, tanto con Guatemala (Paz y Lempa) como Honduras (Lempa y Goascorán), se considera imprescindible realizar un análisis de las distintas leyes y políticas, tanto a nivel nacional como internacional (países vecinos), relacionadas con los caudales ambientales.

3.1.1. Guatemala

La histórica falta de institucionalidad específica del agua hace que la presencia del Estado en términos del uso, aprovechamiento y protección del agua sea débil, lo que aunado a la presión ejercida por el incremento de las demandas sociales y económicas, al deterioro de la calidad, la sobreexplotación de los acuíferos, la ausencia de capacidades de gestión para regular y almacenar las aguas y los impactos del cambio climático, ha provocado conflictividad, cuya magnitud y frecuencia se estima seguirá incrementándose.

Política de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

En el 2006, con base en el diagnóstico del agua del país (SEGEPLAN, 2006), se presentó la propuesta de **Política y Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos** -PNGIRH y ENGIRH (SEGEPLAN, 2006). Las disposiciones emanadas de la PNGIRH y ENGIRH están orientadas a impulsar **medidas que permitan mejorar las condiciones actuales de administración del agua, que superen los conflictos sociales que generan el uso, aprovechamiento y conservación**. En la propuesta no se aborda expresamente el tema de las aguas internacionales.

En el 2008 se crea el Gabinete Específico del Agua GEA- (según el Artículo 4 del Acuerdo Gubernativo 204-2008) y se le asigna como parte de sus objetivos y funciones la revisión y actualización de la propuesta de Política y Estrategia de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (SEGEPLAN, 2006). De esta manera, el Gabinete Específico del Agua da vida a la Política Nacional del Agua y a la Estrategia Nacional del Agua (GEA, 2011).

La Política Nacional del Agua, en lo referente a la protección del bien natural hídrico, recomienda que se utilicen las fuentes conforme a su capacidad de producción. Esta acción debe combinarse con las obras de regulación y con medidas de manejo de la demanda, la definición de caudales ecológicos, la introducción de mejores prácticas de uso e incentivos para la reutilización, reciclado y tratamiento de las aguas residuales.

La propia Política Nacional del Agua hace referencia al artículo 126 de la Constitución de la República: *“los bosques y vegetación en las riberas de los ríos y lagos, y en las cercanías de las fuentes de agua, gozarán de especial protección”*, resaltando la necesidad que hay en el país de reforzar este tema en el sector ambiental y de retomar los planteamientos que se hacen en el ámbito del Sistema guatemalteco de áreas protegidas -SIGAP-. A su vez se destaca la importancia de modernizar las metodologías de evaluación del impacto ambiental de las obras hidráulicas de regulación y establecer los caudales ecológicos característicos de cada región hidrográfica principal.

Otras Políticas

- **Política Marco de Gestión Ambiental** - Acuerdo Gubernativo 791-2003 de la Presidencia de la República: Constituye el marco de referencia en el ámbito nacional al servicio del Estado para orientar la



planificación al mejoramiento de la calidad ambiental y la sostenibilidad de la biodiversidad, los recursos naturales y el resguardo del equilibrio ecológico.

- **Política Nacional de Cambio Climático** - Acuerdo Gubernativo 253-09 de Creación de la Comisión Interinstitucional de Cambio Climático. Dicta las medidas necesarias para mejorar los impactos negativos de este fenómeno. Su objetivo es adoptar las prácticas de prevención de riesgo, reducir la vulnerabilidad y mejorar la adaptación al cambio climático. El ordenamiento territorial y la gestión integrada de los recursos hídricos también están contemplados como medios para conseguir la adaptación al cambio climático.
- **Política Nacional de Desarrollo Rural Integral** - Acuerdo Gubernativo 196-2009 de mayo 2009, en adelante PNDRI. Se implementa a través de políticas sectoriales relacionadas con las actividades agrícolas, pecuarias, forestales, económicas, socioambientales, entre otras. Dentro de las líneas estratégicas se encuentran:
 - reforma del régimen de uso, tenencia y propiedad de la tierra
 - promoción del acceso de la población indígena y campesina a los servicios públicos básicos
 - implementación de acciones de protección ambiental
 - gestión socio-ambiental local para administración y conservación
 - uso sostenible de recursos y bienes naturales
 - ordenamiento territorial y manejo integrado de cuencas hidrográficas
 - aprovechamiento de los recursos hídricos
- **Política de Desarrollo Social y Población** - (Decreto 42-2001). Política cuyo objetivo es contribuir al desarrollo de la persona humana en los aspectos social, familiar, humano y su entorno, con énfasis en los grupos más vulnerables de la población, asegurando tanto la disponibilidad y el abastecimiento de alimentos como su consumo adecuado en cantidad y calidad, propiciar condiciones políticas, económicas, sociales, educativas, ambientales y culturales que incidan en el mejoramiento de las condiciones ambientales y el acceso a servicios básicos, establecer políticas y mecanismos de coordinación interinstitucional.
- **Leyes vigentes sobre Aguas:**
 - Constitución Política de la República de Guatemala (1985)
 - Código Civil (Decreto No.1932 de 1933 reemplazado por el Decreto No. 106 de 1963)
 - Código de Salud (Decreto No. 90-1997)
 - Código Municipal (Decreto No. 12-2002)
 - Ley de Hidrocarburos (No. 109-1983)
 - Ley de Minería (No. 48-1997)
 - Ley del Organismo Ejecutivo (Decreto del Congreso No. 114-1997)
 - Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto No. 68 de 1986, modificación en 1991 y 1993)
 - Ley de Transformación Agraria (No. 1551 de 1962, modificada en 1992)
 - Ley General de Electricidad (No. 93-1996)
 - Reglamento de Creación de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas (Acuerdo Ministerial No. 239-2005)
 - Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006)



3.1.2. Honduras

Dentro del marco jurídico, existen una serie de leyes vinculantes al recurso hídrico como son:

- Constitución de la República (1982)
- Código Civil (1906)
- Ley de Municipalidades (No. 134-1990)
- Ley de Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) (No. 91-1961)
- Ley de Ordenamiento Territorial (No. 180-2003)
- Ley de Reforma Agraria (No. 170-1974, modificada por Decreto No. 176-2003)
- Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (No. 156-2007)
- Ley General del Ambiente (No. 104-1993)
- Ley General de Aguas, 2009 que sustituye a la Ley de Aprovechamiento de Aguas Nacionales de 1927
- Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento (No. 118-2003)
- Reglamento General de la Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento (No. 006-2004).

En 2003, Honduras aprobó la Ley No. 118-2003 denominada **Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento** indicando que la prestación de estos servicios se realizará bajo los **principios de calidad, equidad, solidaridad, continuidad, generalidad, respeto ambiental y participación ciudadana**. Se da prioridad **sobre cualquier otro uso al abastecimiento de agua** para consumo humano y se le da preferencia a las Municipalidades sobre el derecho del uso al agua. Este proyecto enfatiza temas específicos de agua potable y saneamiento y no se puede considerar como una ley de agua que trate el tema en forma integral.

En el mes de agosto de 2009, el Congreso Nacional de Honduras aprobó una nueva Ley General de Aguas. La nueva ley contiene 101 artículos y su principal decisión es la creación de la Autoridad Nacional de Agua, un órgano desconcentrado de la administración pública, que vendrá a sustituir a la Dirección General de Recursos Hídricos, dependencia de la Secretaría de Recursos Naturales (SERNA). Esta Ley General de Agua sustituye a una legislación desfasada, que data de 1927. Su aprobación implica cumplir con los compromisos asumidos por Honduras al suscribir el protocolo de Kioto, que exigía la declaratoria del agua como un derecho humano y principal fuente de desarrollo en el país.

3.1.3. El Salvador

Desde la segunda mitad del siglo pasado, la legislación y regulación del agua en El Salvador se ha venido desarrollando de forma independiente de acuerdo a los distintos intereses y a la aparición de conceptos muy recientes como distribución del agua, caudales ecológicos o gestión compartida de cuencas transfronterizas.

En 1970 se aprueba la **Ley de Riego y Avenamiento** (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1970), a través de la cual se aprueba la regulación de extracción de agua para riego. El objetivo principal de esta ley es aumentar la producción agrícola al mismo tiempo que garantizar el uso racional de los recursos hídricos. Hoy en día, la distribución de las extracciones es controlada por el Ministerio de Agricultura (MAG); sin embargo, se desconocen los criterios establecidos para la asignación de los recursos. Legalmente todas las extracciones de agua únicamente pueden llevarse a cabo con los permisos oficiales. Pese a ello existen extracciones ilegales de magnitudes desconocidas.



En 1981, la **Ley de Gestión Integrada de Recursos Hídricos** (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1981) se introdujo cuyo objetivo era permitir a la legislación detallada de los diferentes usuarios del agua. Mediante esta ley, el Ministerio organiza los estudios y desarrolla políticas relevantes para la gestión del agua.

En 1997 se establece oficialmente el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y al año siguiente se aprueba la **Ley del Medio Ambiente** (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1998). Sus objetivos principales son la protección, conservación y recuperación del medio ambiente, junto con el uso sostenible de los recursos naturales.

- En el Art. 15 se reafirma esta idea cuando se establece que los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial deben incorporar la **dimensión ambiental de acuerdo a sus condiciones específicas y capacidades ecológicas**, teniendo en cuenta la existencia de ecosistemas escasos. En el artículo también se especifica que se deben tener en cuenta las áreas naturales y culturales protegidas y otros espacios sujetos a un régimen especial de conservación y mejoramiento del ambiente.
- En los artículos 62 y 63, el proceso de otorgamiento de licencias y permisos para la explotación de agua se regula dando prioridad al consumo humano.
- Según el Art. 67, el Estado, a través de las instituciones responsables ha de velar por la diversidad biológica, regulando prioritariamente la conservación en su lugar de origen, de las especies de carácter singular y representativo de los diferentes ecosistemas, las especies amenazadas, en peligro o en vías de extinción declaradas legalmente, y el germoplasma de las especies nativas.
- En el Art. 70, en cuanto a la **gestión y uso de las aguas y ecosistemas acuáticos** se establece:
 - a) Su manejo se realizará en condición que prioricen el consumo humano, guardando un equilibrio con los demás recursos.
 - b) Los ecosistemas acuáticos deben ser manejados tomando en cuenta las interrelaciones de sus elementos y el equilibrio con otros.
 - c) Se promoverán acciones para asegurar que el equilibrio del ciclo hidrológico no sufra alteraciones negativas para la productividad, el equilibrio de los ecosistemas, la conservación del medio ambiente, la calidad de vida y para mantener el régimen climático.
 - d) Asegurar la cantidad y calidad del agua, mediante un sistema que regule sus diferentes usos.
 - e) Se establecerán las medidas para la protección del recurso hídrico de los efectos de la contaminación.
 - f) Todo concesionario de un recurso hídrico para su explotación será responsable de su preservación.
- En el numeral a) del Art. 79 se establece que entre los objetivos del Sistema de Áreas Protegidas se encuentra *“conservar las zonas bióticas autóctonas en estado natural, la diversidad biológica y los procesos ecológicos de regulación del ambiente y del patrimonio genético natural”*. A partir de esto se puede deducir que no todas las zonas se pueden conservar en su estado natural, y que por tanto, no existen unas condiciones de calidad y de cantidad de agua válidas para todas las situaciones, sino más bien que deben ajustarse al objetivo de manejo y nivel de protección deseado.

En cuanto a la **Ley de Áreas Naturales Protegidas** (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 2005) conviene destacar:

- El Art. 16, que establece, entre los objetivos de manejo de las ANP *“proteger los ecosistemas originales de El Salvador, proteger los espacios naturales y los paisajes de importancia local, preservar las especies y la diversidad genética, proteger las características naturales y culturales específicas, etc.”*



Hasta este momento, la legislación relacionada con los recursos hídricos estaba compuesta por un grupo de normas sobre regulación, conservación y uso sectorial, lo que dificultaba su gestión y administración sostenible.

Consciente de esta situación, el actual gobierno propuso el **Anteproyecto de la Ley General de Aguas** (MARN, 2012a) para su aprobación en marzo 2012. La falta de consenso entre los partidos políticos ha obstaculizado este proceso.

En este anteproyecto de Ley, en su Art. 126, se indica que el MARN será el responsable de determinar el caudal ambiental, a fin de mantener la estabilidad de los ecosistemas y satisfacer las necesidades y demandas sociales y económicas de la población. Para su determinación, el MARN podrá coordinar con otras entidades que estén relacionadas con la temática de los recursos hídricos.

Según el Art. 9 de este mismo anteproyecto de Ley, se entenderá como **caudal ambiental** al régimen hídrico necesario y permanente, característico y propio de cada cuenca, que se da en un río, humedal o zona costera, que permite todo aprovechamiento, con la condición que se mantenga la estabilidad de los ecosistemas y satisfaga las necesidades de usos particulares y comunes.

Otros aspectos referentes a los caudales ambientales que quedan recogidos en el anteproyecto de ley son:

- Caudal ambiental y ecosistemas. Art. 52: Para toda autorización deberá tomarse en cuenta los caudales ambientales mínimos y las condiciones de calidad de las aguas **para mantener el equilibrio de los ecosistemas de cuencas, subcuencas, microcuencas, así como de esteros, manglares o acuíferos específicos.**
- Trasvases. Art. 57: De manera excepcional, el MARN podrá disponer o autorizar, de forma escrita y motivada, los trasvases de aguas superficiales o subterráneas de una cuenca a otra, cuando dentro de la cuenca demandante no exista alternativa que garantice los caudales mínimos.
- Protección y conservación de los recursos hídricos. Art. 117.- El MARN deberá desarrollar, por sí o a través de terceros, acciones que tiendan a proteger, mejorar o mantener las condiciones de disponibilidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos en cantidad y en calidad, en términos de la presente Ley.
- Los Planes Hídricos incorporarán en sus actuaciones de regulación y control, las directrices y actividades que tengan por finalidad la protección y conservación de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas, ecosistemas y caudales ambientales.
- Directrices para el aprovechamiento y conservación de los recursos hídricos. Art. 118: El MARN formulará las directrices y realizará las actividades y acciones necesarias orientadas a proteger los recursos hídricos en términos del uso o aprovechamiento de dichos recursos; para tal efecto, considerará las limitaciones siguientes: b. Captaciones de agua no mayores a la disponibilidad del recurso superficial de la zona de recarga, conservando los caudales ambientales y las demandas autorizadas en las zonas aguas abajo.
- Reservas Naturales. Art. 131.- El Plan Nacional Hídrico identificará los cuerpos de agua que constituyan reservas naturales estratégicas, estableciendo mecanismos y regulaciones que aseguren los caudales vitales y su calidad.



3.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE METODOLOGÍAS PARA ESTUDIOS DE CAUDALES ECOLÓGICOS

Como es sabido, existe una diversidad de métodos para la determinación de caudales ecológicos, que se han desarrollado en diferentes partes del mundo. Se dispone, pues, de toda una serie de métodos, enfoques y marcos para determinar el régimen de caudales ambientales. Ahora bien, no hay una respuesta simple a cuál es el método más apropiado para un caso específico (Dyson, Bergkamp, & Scanlon, 2003).

Las evaluaciones pueden tomar varios años y costar millones de dólares, o pueden hacerse en cuestión de horas, utilizando modelos de extrapolación. Generalmente, se puede tener una evaluación muy confiable, muy explicativa y fácilmente defendible si se invierte tiempo y dinero, o se puede tener una estimación rápida y fácil, de bajo costo y menos confiable que quizás habrá que controlar y revisar. También se puede comenzar con un método rápido y fácil, y pasar a una evaluación más exhaustiva cuando se disponga de los medios y conocimientos necesarios para su realización. No hay, por tanto, una manera única de evaluar los caudales ecológicos (O’Keeffe & Le Quesne, 2010).

La decisión sobre el tipo de evaluación, su complejidad y su duración dependen de muchas variables:

- Urgencia del problema.
- Información disponible para el análisis.
- Importancia del río.
- Dificultad de implementación.
- Complejidad del propio sistema.

Entre los diferentes métodos existentes en la literatura, hasta ahora los más utilizados en países latinoamericanos por Consultores Independientes y Empresas Consultoras, son los que a continuación se describen.

3.2.1. Métodos hidrológicos.

Los métodos hidrológicos son aquellos que se basan en determinar un caudal ecológico en base a datos pluviométricos. Se pueden distinguir dos tipos de métodos, aquellos que consideran un caudal fijo constante a lo largo del año, y aquellos que consideran la variabilidad propia del régimen natural. Se basan en estadísticos de la serie de caudales en régimen natural, como pueden ser los percentiles. Su uso está muy extendido por su facilidad de cálculo, aunque es necesario valorar la adecuación de dichos estadísticos a la realidad hídrica del ámbito de la consultoría.

Los análisis hidrológicos son sencillos y se basan en la reserva de cierto caudal preservando su proporcionalidad al régimen natural, estando la información necesaria para su desarrollo básicamente en el alcance del inventario de recursos. Un avance de estos índices son los constituidos por los Índices de Alteración Hidrológica (IAH) (Richter, Baumgartner, Powell, & Braun, 1996) cuya aplicación a la estimación del régimen de caudales se denomina Range of Variability Approach (RVA) (Richter, Baumgartner, Wigington, & Braun, 1997).

- Ventajas: de fácil aplicación, requerimiento de pocos datos, económico y rápido.
- Desventajas: no tienen en cuenta aspectos biológicos y geomorfológicos del cauce, y establecen en algunos casos un caudal invariable en el tiempo, lo cual no refleja las necesidades de todos los interesados. No tiene en cuenta el carácter específico del lugar para su aplicación.



A continuación se presentan de manera resumida algunas de las principales metodologías:

- **Porcentaje fijo del caudal medio interanual:** el caudal obtenido representa sólo un porcentaje del caudal medio interanual y es constante a lo largo del año. Conviene llamarlo caudal mínimo. Varía del 10% al 60%, dependiendo del ambiente fluvial particular. Son aproximaciones extremadamente simplistas, incorporadas por determinados países en sus legislaciones (algunas vigentes y otras no). Permiten obtener unas primeras valoraciones de manejo del río. Algunas de ellas son:
 - Ley Francesa de Aguas (Ley n° 84-512 de 29 de Junio 1984): Q_{min} es el 10% del caudal medio interanual, calculado para un periodo mínimo de 5 años. No se encuentra en vigor.
 - Servicio de Pesca y Vida de EEUU: caudal medio del mes más crítico para el metabolismo de los organismos acuáticos, con frecuencia el caudal de agosto (Kulik, 1990). Actualmente no se encuentra vigente.
 - España, la dirección General de Obras Hidráulicas fijó como caudal mínimo permanente el 10% del caudal medio interanual (1980). Actualmente no se encuentra en vigor.
 - Colombia: criterio similar a España en el Proyecto de Ley 365 de 2005 conocida como Ley de Aguas. Actualmente en vigor.
 - Alemania (30%-60% del módulo anual). Actualmente no se encuentra en vigor.
 - Irlanda (1%-10%), pero que posteriormente se revelaron válidas tan sólo para evaluaciones básicas de ríos con escaso valor ecológico.
- **Método del 30% del caudal medio mensual:** Un enfoque más comprensivo es el de Scarf (1983), que conforma un Régimen de Caudales Ambientales con caudales medios mensuales calculados como el 30% de los correspondientes flujos naturales. Scarf propuso este método para el río Ashburton en Australia, como valor “intermedio” y relativamente ligado a la variabilidad hidrológica del río, dentro de los propuestos en el método de Tennant.
- **Método de Tennant o Método de Montana** (Tennant, 1976). De los más usados mundialmente, habiendo sido aplicado en ríos con muy diferente grado de regulación y/o alteración. Método basado en diez años de observaciones y mediciones de carácter fundamentalmente biológico para la trucha en once ríos de Montana, encontrando relaciones entre los parámetros físicos del cauce y la disponibilidad del hábitat para una especie en particular. El método divide el año en dos periodos, en cada uno de los cuales se recomiendan unos porcentajes del caudal medio interanual para lograr una calidad de hábitat fluvial determinada. A partir del mismo se determinó que el hábitat comenzaba a degradarse cuando el flujo era inferior al 10% del flujo medio anual, esto asociado a una velocidad media de 0,25 m/s y una profundidad media de 0,3 m. Se reconoce de esta forma que existe una relación entre los niveles de caudal y las características del hábitat existente. Establece que asignar un valor único de caudal puede eliminar todo rastro existente de variabilidad temporal.
- **Método del Rango de Variabilidad (Range Variability Approach - RVA):** este método ha sido creado para circunstancias en que se tenga como primer objetivo de manejo la preservación de los ecosistemas. Se sustenta en datos de prolongados periodos de tiempo (20 años) donde se toma la variabilidad hidrológica antes y después de instalada una represa. Se ejecuta caracterizando el flujo natural a través de 32 parámetros definidos por (Richter, Baumgartner, Powell, & Braun, 1996) como críticos en el funcionamiento del ecosistema para luego evaluar un rango de variación máximo de estos parámetros. Los Indicadores de Alteración Hidrológica (IHA) identifican las componentes del régimen natural en magnitud,



frecuencia, periodicidad y duración (Richter, Baumgartner, Wigington, & Braun, 1997), y con ellas se hacen recomendaciones del rango en el cual pueden variar sin perjudicar al ecosistema fluvial. En el análisis RVA, las series de datos de cada parámetro en régimen natural se dividen en tres categorías de igual tamaño. Los límites entre las categorías se basan en los valores de los percentiles 33 y 67. Los valores de frecuencia de los parámetros en régimen circulante se comparan con las tres categorías establecidas en el régimen natural. Posteriormente se calcula el factor de alteración hidrológica.

- **Método de Hoppe:** reconoce la relación entre los percentiles de la curva de duración de caudales y las condiciones favorables para la biota. Utiliza valores de porcentaje de excedencia de la curva de duración de caudales para definir unos caudales mínimos asociados a los distintos estadios de crecimiento (Díez, 2000). Para llevarlo a cabo se calculan los siguientes percentiles:
 - Q17 para avenidas y para limpiar el sustrato.
 - Q40 para mantener las condiciones de hábitat para el desove.
 - Q80 para mantener condiciones de alimento y abrigo, además de un mínimo hábitat disponible para las truchas (Gordon, Mac Mahon, & Finlayson, 1992), (EFM, 2003).
- **Método del Caudal Medio Base** desarrollado en Nueva Inglaterra por el servicio de pesca y vida salvaje de Estados Unidos (Average Base Flow Method - ABF). Uno de los métodos más utilizados en los proyectos hidroeléctricos de este país. Se propone el caudal mínimo de verano (media de los caudales medios multianuales de agosto de Estados Unidos) como caudal ambiental, ya que representa la condición natural más severa que la comunidad de especies podría experimentar.
- **Método de caudal base de 7 días con periodo de ocurrencia de 10 años (7Q10).** Este método aporta el valor de un caudal mínimo estadístico que corresponde al valor que de media, cada 10 años, será igual o menor que el caudal medio en cualquier evento de 7 días de sequía consecutivos (Silveira & Silveira, 2003). Se precisan caudales medios mínimos diarios.
El método supone que a valores menores que éste puede generarse una perturbación o stress ecológico; por lo cual, es considerado en algunos países en desarrollo como un caudal ecológico. Este método ha sido ampliamente usado en Brasil (Benetti, Lanna, & Cobalchini, 2003). Existen también otras propuestas similares utilizando la estadística hidrológica que describe las condiciones de sequía como el “7Q2” y el “10Q5”.
- Adicionalmente hay una serie de metodologías hidrológicas simples: **Fórmula de Mathey** (Método Suizo), **Método QBM** (Caudal Básico de Mantenimiento), **Q95%** (caudal igualado o excedido el 95% del tiempo Q95).
- Una de las más aplicadas satisfactoriamente en condiciones ambientales diversas de EEUU es la denominada “NGPRP” (Northern Great Plains Resource Program). Este método se basa en la descripción de las condiciones hidrológicas de cada mes a partir de registros foronómicos (USFWS, 1974). Las descargas medias mensuales son analizadas para estudiar la temporalidad de los registros. Los caudales ecológicos se calculan como los caudales que son igualados o superados el 90% del tiempo, excepto en los meses más caudalosos que aplica el 50%. El régimen de caudales ambientales final se obtiene como la serie de caudales ecológicos para cada mes.
- El **método Tessman** es una modificación del método de Montana (Tennant, 1976) y así es conocido (Método de Tennant modificado). Estima los caudales mínimos comparando un porcentaje determinado del caudal medio interanual (Q_{MA}) con el caudal medio mensual (Q_{MM}). Pueden utilizarse caudales diarios o mensuales, en este último caso los valores finales obtenidos son algo más altos. Presenta una mejora con



respecto al método de Tennant, al calcular caudales mínimos para cada mes del año (Tessman, 1980). El caudal mínimo del mes es aquel que satisface alguna de las siguientes condiciones:

- o Si $0,4 * Q_{MA} > Q_{MM}$ el caudal mínimo recomendado es Q_{MM} .
- o Si $0,4 * Q_{MA} < 0,4 * Q_{MM}$ el caudal mínimo recomendado es $0,4 * Q_{MM}$.
- o De no cumplirse ninguna de las desigualdades anteriores el caudal mínimo recomendado es $0,4 * Q_{MA}$.

3.2.2. Métodos hidráulicos

Los métodos hidráulicos con enfoque ecológico tienen en cuenta la **variabilidad de los caudales y el consecuente cambio de las variables hidráulicas de importancia ecológica**. El método del perímetro mojado (línea de contacto entre el agua y el lecho), es quizás el más conocido. Este método **relaciona el caudal con el perímetro mojado**, planteando que el punto de inflexión de la relación perímetro mojado-caudal es el punto donde se maximiza el hábitat disponible para las especies.

Otros métodos ecohidráulicos se basan en transectos múltiples. A diferencia de la técnica del **perímetro mojado** (utilizado para un único transecto), los métodos de **transectos múltiples** evalúan varias secciones transversales. En cada una de ellas se miden, bajo diferentes caudales, la velocidad, el nivel, el sustrato y la cobertura. Estos datos se someten a modelación para determinar los cambios en las variables hidráulicas, lo cual da una idea de la “habitabilidad” del río sometido a variaciones de caudal. Estos métodos tienen en cuenta la variabilidad de los caudales y el consecuente cambio de las variables hidráulicas de importancia ecológica.

3.2.3. Métodos de simulación del hábitat físico o hidrobiológicos

Los métodos de hábitat físico se pueden considerar como una extensión de los métodos hidráulicos (Jowett, 1989) que predicen cómo se ven modificadas la profundidad y la velocidad con el caudal (Beca, 2008). Estos modelos están basados en el **rango de preferencias que tiene cada especie y estadio con respecto a los parámetros que definen el hábitat físico** (velocidad, profundidad y sustrato). En función de las características del tramo, la cantidad de hábitat disponible para estas especies y estadios se puede determinar en relación con los diferentes caudales.

La simulación del hábitat físico es la **metodología más empleada en IFIM** (“Instream Flow Incremental Methodology”) para la determinación de los regímenes de caudales consensuados que garanticen un estado ecológico determinado en las aguas superficiales. Fue desarrollada por el Departamento de Pesca y Vida Silvestre de EEUU (USFWS) (Bovee, 1982), como una técnica estándar para evaluar el efecto de una variación de caudal en el hábitat acuático con el microhábitat físico disponible para los estadios vitales de las especies analizadas, expresado generalmente como “superficie ponderada útil”. Estos análisis se realizan para una o varias especies identificadas como objetivo (especies autóctonas de flora y fauna), que por su vinculación directa al hábitat fluvial, por su carácter endémico, por estar amenazadas o por contar con alguna figura de protección, pueden ser indicadoras para definir un régimen de caudales ecológicos.

Su uso está muy extendido y existen experiencias en Latinoamérica aunque su uso no ha sido todavía generalizado a escala de un país. Sus resultados pueden ser muy precisos, sin embargo se afirma que los resultados obtenidos con estos métodos tienen un nivel de incertidumbre extremadamente alto si no se valora adecuadamente el uso y la falta de la información que el modelo requiere como dato de partida. Es necesario destacar:



- **Curvas de idoneidad.** Aunque frecuentemente estos estudios hacen uso de curvas genéricas (salmónidos o ciprínidos) o de curvas generadas para la misma especie procedentes de otras regiones, el uso de curvas no específicas (generadas en la propia cuenca y para las especies endémicas) suele adolecer de grandes márgenes de error cuando se realiza dicha trasposición. Como buena práctica suele aconsejarse no utilizar curvas genéricas y valorar al menos el número de orden de Strahler del río donde proceden los datos fuente que se utilizaron en la generación de las curvas con el índice que presentan los diferentes tramos del río objeto de estudio. La generación de curvas específicas requiere una gran cantidad de recursos, ya que es necesario al menos un año completo de trabajos de campo para recoger todos los periodos biológicamente significativos de las especies analizadas, eventos como sequías recientes o avenidas de alto periodo de retorno pueden mermar las poblaciones y por tanto la representatividad de los muestreos, corriendo el riesgo de alargar durante varios años el proceso de caracterización.
- **Estudio de caracterización de los tramos:** La construcción de un modelo de hábitat fluvial requiere de la construcción y calibración de un modelo hidráulico acoplado. Para construirlos es necesario realizar una batimetría de detalle, caracterizando además los mesohábitats presentes, el sustrato y la capacidad de refugio. Para una calibración adecuada se requieren al menos tres campañas de campo de aforo para calibrar adecuadamente las curvas de gastos en cada transecto por lo que se recalca la escasa conveniencia de estos métodos con los recursos y plazos del proyecto.

3.2.4. Métodos holísticos

Se basan en el conocimiento y experiencia de una serie de expertos aunando en una decisión conjunta de tipo cuantitativo las diferentes opiniones y aspectos cualitativos. Es un método subjetivo que está sujeto a la experiencia en la región y en la existencia de expertos que se desarrolla mediante diferentes técnicas participativas como el método Delphi. Actualmente su uso no está muy extendido en Latinoamérica.

Originalmente desarrollado en Sudáfrica y Australia, fundamentalmente porque en estos países existe una alta variabilidad en el régimen de caudales y se han construido grandes represas que han transformado las características hidrológicas de las cuencas. Es un enfoque que requiere información extensa y de alta calidad, registros históricos de caudales, variables hidráulicas y modelos que relacionen el caudal con los requerimientos de todos o algunos componentes del ecosistema y de la biota acuática, además de información económica y social.

El objetivo principal de estos métodos es evaluar las necesidades de caudal de los muchos componentes que interactúan en los sistemas acuáticos (Arthington, Brizga, & Kennard, 1998), (King, Tharme, & Villiers, 2008). Los enfoques holísticos son esencialmente los procesos que permiten a los científicos de muchas disciplinas acuáticas, integrar datos y conocimientos. Cada especialista selecciona unos métodos, con los que desarrollan la relación de los caudales con el ecosistema; posteriormente trabaja con los otros miembros del equipo, dentro del proceso global del enfoque holístico, para llegar a un consenso sobre los caudales ambientales (King, Brown, & Sabet, 2003).

Los métodos holísticos quedan resumidos en cuatro niveles:

- **Nivel I: Análisis Hidrológico:** índices ecológicamente relevantes (entre 1 y 5 meses)
- **Nivel II: Panel de expertos** (entre 6 y 12 meses). Opción viable de fácil aplicación, de bajo costo y que aprovecha la disponibilidad de información secundaria, siendo una buena alternativa para países en vías de desarrollo. La metodología involucra la búsqueda de información hidrológica, ecológica, social,



recreacional de los tramos consensuados entre el panel multidisciplinario y las instituciones administradoras del recurso. La información recopilada permitirá caracterizar y categorizar los sitios de estudio e incorporar los requerimientos de caudal que cada experto considere para su área, en la estimación de caudales ambientales.

- **Nivel III: Estudios de campo y seguimiento** (varios años): Este nivel se aplica en lugares donde se puede disponer de una gran cantidad de datos, en muchos casos determinado por la posibilidad de financiación y con disposición de plazos de tiempo elevados.
- **Nivel IV: Refinamiento adaptativo** (varios años): Similar al nivel III. Evaluación ecológica de respuesta que puede llevar asociada una modificación de los caudales y de la gestión del agua en función de los resultados obtenidos.

A continuación se resumen brevemente las dos principales metodologías holísticas:

- **BBM (Building Block Methodology)** (King, Tharme, & Villiers, 2008): la metodología se basa en el hecho de que algunos caudales dentro del régimen hidrológico completo de un río, son más importantes que otros para el mantenimiento del ecosistema fluvial; estos caudales pueden ser identificados y descritos en términos de su magnitud, duración, estacionalidad y frecuencia. Estos caudales combinados constituyen el régimen de caudales ambientales. Un conjunto de especialistas utilizan tanto el caudal base de los datos hidrológicos como el de las inundaciones, varios índices hidrológicos, la sección transversal del cauce, datos hidráulicos e información de la relación del caudal con los componentes del ecosistema, para identificar los elementos específicos del caudal y para el establecimiento del régimen de caudales. El caudal aconsejado es estimado a partir de un flujo mínimo hacia valores progresivos y crecientes.
- **Metodología DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformations)** (King, Brown, & Sabet, 2003): A diferencia del anterior, el caudal es fijado a partir de un flujo tope (máximo) aceptable hasta valores sucesivamente decrecientes. Con disponibilidad de información, esquemas conceptuales y juicio de experto se definen indicadores hidrológicos que son asumidos como ecológicamente relevantes. Con estos indicadores se caracterizan biofísicamente tramos fluviales escogidos dentro de una corriente de referencia. En esta corriente de referencia no existe necesariamente un flujo natural, pero se cubren distintos tipos y niveles de flujo que se registran en la cuenca para criterios previamente definidos. Posteriormente en estos puntos se asocian efectos ambientales en función de variaciones en el flujo hídrico circulante; de esta forma se estudia cuánto puede cambiar el volumen del agua antes de que el ecosistema sea degradado.

Cada una de estas aproximaciones metodológicas, presenta diferentes ventajas e inconvenientes, tanto en su aplicación como en los resultados obtenidos (Tharme, 2003). En la Tabla 1 se muestra una comparación resumida entre los diferentes grupos de métodos.



Tabla 1. Cuadro comparativo de líneas metodológicas en estudios de los caudales ambientales. Fuente: (King, Tharme, & Villiers, 2008).

TIPO	COMPONENTES CONSIDERADOS	NECESIDAD DE DATOS	NIVEL DE EXPERIENCIA	COMPLEJIDAD	INTENSIDAD RECURSOS	RESOLUCIÓN RESULTADOS	FLEXIBILIDAD	COSTE
Hidrológico	Todo el ecosistema - no específico	B-M (principalmente gabinete). Registros históricos de caudales vigentes o naturalizados. Uso de datos ecológicos históricos.	B-M Hidrológica. Alguna experiencia en ecología.	B-M	B-M	B-M	B-M	B
Hidráulico	Requerimientos hidráulicos genéricos del hábitat acuático para especies objetivo	B-M (gabinete y campo). Registros históricos de caudales. Variables de descarga hidráulica típicamente de secciones. Variables hidráulicas relacionadas con las necesidades de hábitat-caudal a nivel genérico	M Hidrológica. Algo de modelización hidráulica. Alguna experiencia en ecología.	B-M	B-M	B-M	B-M	B-M
Simulación de hábitat	Principalmente hábitat para especies objetivo. Algunos consideran: forma del cauce, transporte de sedimentos, calidad del agua, vegetación de ribera, fauna silvestre.	M-A (gabinete y campo). Registros históricos de caudales. Numerosas secciones transversales con variables hidráulicas. Datos de idoneidad del hábitat para especies objeto.	M-A. Hidrológica. Nivel avanzado en modelización hidráulica y del hábitat. Especialista en ecología sobre necesidades físicas de especies objetivo.	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A
Holístico	Todo el ecosistema. Algunos consideran: acuíferos, zonas húmedas, estuarios, llanura de inundación, dependencia social del ecosistema, así como los componentes acuáticos y de la ribera.	M-A (gabinete y campo). Registros históricos de caudales. Numerosas secciones transversales con variables hidráulicas. Datos biológicos sobre caudales y hábitat relacionados con todos los requerimientos de la biota y de los componentes del ecosistema.	M-A. Hidrológica. Nivel avanzado en modelización hidráulica. Modelización del hábitat en algunos casos. Especialista en todos los componentes del ecosistema. Alguna experiencia en requerimientos socioeconómicos.	M-A	M-A	M-A	A	M-A

Nota: A: nivel alto; M: nivel medio; B: nivel bajo.



Tras todo este análisis de metodologías se puede afirmar que el **caudal ecológico** es un concepto más amplio que el del cálculo meramente hidrológico, teniendo como **objetivo** el de **mantener la biodiversidad tanto en el agua como en su medio ambiente asociado**. El caudal ecológico es el que permite tanto que no se alteren las condiciones ecológicas del cauce, como que no se limite el desarrollo de los componentes bióticos del sistema (flora y fauna) pese a los efectos abióticos (disminución del perímetro mojado, profundidad, velocidad de corriente, incremento en la concentración de nutrientes, etc.) producidos por la reducción de caudal.

La determinación de los caudales ecológicos es un tema directamente vinculado a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). No obstante, se debe reconocer también que en la tarea de determinar caudales ecológicos o ambientales intervienen una serie de conceptos técnicos, relacionados con diferentes disciplinas. Así se requiere recurrir a conceptos biofísicos, hidrológicos, ambientales, pero también al aporte de otras disciplinas como la economía, la sociología y la antropología.

Por otro lado conviene destacar que **no hay un único régimen de caudales ecológicos correcto para los ríos, la respuesta depende de lo que la comunidad necesite de un río**. Los diferentes tipos de ríos pueden tener distintas necesidades y prioridades. La elección y criterio, en particular al determinar los objetivos respecto al medio ambiente, son una parte esencial del proceso de establecimiento de caudales ecológicos (O’Keeffe & Le Quesne, 2010).

3.2.5. Métodos de evaluación de los requerimientos de caudales de las distintas componentes del sistema fluvial.

Existen también un conjunto de métodos de evaluación de los requerimientos de caudales para las distintas componentes del sistema fluvial que poco tienen que ver con los aspectos más comúnmente estudiados y que generalmente quedan en un segundo plano o ni siquiera llegan a ser considerados (Magdaleno, 2005).

Dos de estos métodos que conviene destacar son los que atienden a objetivos geomorfológicos y a requerimientos de vegetación riparia.

Métodos de cálculo de caudales ecológicos atendiendo a objetivos geomorfológicos

Los principales aspectos que afectan a la geomorfología de un río son los embalses y otras infraestructuras de regulación los cuales retienen grandes proporciones de los sedimentos aportados por sus cuencas vertientes y alteran los regímenes naturales de caudal del río.

Algunos de los impactos iniciales que pueden ir en la línea de la degradación del cauce al no reponerse de forma efectiva los materiales arrastrados son:

- Procesos de incisión y acreción, en distintos niveles de los tramos y secciones.
- Modificación de la rugosidad del lecho.
- Modificación de la pendiente del cauce debida al nuevo equilibrio de los materiales.
- Pérdidas de hábitat específico para determinados organismos acuícolas.

Por otro lado, los efectos en la llanura de inundación son:

- Aumento de la erosión si no existen mecanismos de defensa, como la vegetación.
- Desconexión entre el cauce y la llanura de inundación.
- Pérdida de los complejos procesos vitales que se desarrollan en la llanura de inundación.

Existen distintas propuestas para paliar estas alteraciones:



- Descargar las primeras avenidas de la temporada, cargadas de altas tasas de sedimentos, y enriquecidas con las ya existentes en los embalses.
- Descargar un caudal generador y de limpieza, con el fin de mantener las características de los sustratos y la anchura del cauce y de eliminar los residuos orgánicos e inorgánicos presentes en él.
- Utilizar balances de sedimentos, principalmente a través de la velocidad crítica y de la tracción crítica de arrastre (Brizga, 1998)

El uso de **diferentes métodos** en la estimación de los caudales puede conducir a una gran **disparidad de resultados**. Habría de utilizarse rangos de caudales y no un único caudal de avenidas.

Métodos de cálculo de caudales ecológicos atendiendo a los requerimientos de la vegetación riparia

Las comunidades vegetales son muy sensibles a los cambios que se producen en el régimen hidrológico. Las fluctuaciones que se originan de forma natural en el nivel de las aguas dan como resultado, por lo general, un enriquecimiento en especies y un aumento en la densidad de la comunidad (Andersson, Nilsson, & Johansson, 2000).

Se han realizado trabajos con la intención de identificar la respuesta de la vegetación riparia frente a las alteraciones producidas por la regulación de los ríos y se ha demostrado que el mantenimiento de un régimen de caudales ambientales que asegure *a priori* la conservación o mejora del bosque de ribera debe ir asociado a otras medidas efectivas que garanticen la conservación (Magdaleno, 2005).

3.3. EJEMPLOS DE ESTUDIOS EN CENTROAMÉRICA

3.3.1. Gestión de Caudales Ambientales en el río Patuca, Honduras.

Durante 2006-2008, un proyecto en colaboración entre la Empresa Nacional de Energía Eléctrica de Honduras, The Nature Conservancy, agentes locales y expertos científicos se propuso elaborar recomendaciones de caudales ecológicos para incorporarlos en el diseño y la operación del proyecto hidroeléctrico Patuca III en el río Patuca, sobre el cual no había reglamentación. El Patuca, el tercer río en longitud de Centroamérica, con 465 km, alberga diversas combinaciones de especies acuáticas y serpentea a través de tres áreas protegidas nacionales en las que habitan los grupos indígenas miskito y tawaka, con poblaciones de aproximadamente 6,400 y 1,100 habitantes, respectivamente, en la cuenca baja de dicho río. Ambos grupos dependen del río Patuca como fuente de alimentos, agricultura, materiales de construcción y agua potable. Sin embargo, uno de los servicios de los ecosistemas de agua dulce con mayor riesgo de verse comprometido con la construcción de Patuca 3 era el uso del río por las comunidades como ruta de transporte para el comercio de cereales, ganado y productos forestales, así como para comunicación entre aldeas.

La gran escasez de datos científicos sobre la hidrología y la ecología del río Patuca planteaban un desafío para la evaluación del caudal ecológico. No obstante, el equipo del proyecto aprovechó los conocimientos ecológicos tradicionales que tenían del río los pueblos indígenas. En combinación con análisis hidrológicos y aportes de expertos científicos, estos conocimientos ecológicos tradicionales se emplearon para establecer relaciones entre el régimen del caudal del río y los peces y otros organismos acuáticos; entre los caudales y los recursos terrestres, las comunidades humanas y los bosques ribereños; y entre los caudales y la morfología de los cauces. Estas relaciones generadas, sumadas a una consideración independiente sobre los puntos clave para la navegación fluvial,



suministraron la base para las recomendaciones del caudal ecológico para el río Patuca en el tramo aguas abajo de la central Patuca 3.

3.3.2. Proyecto “Conceptualización del Caudal Ambiental en Costa Rica: Determinación inicial para el río Tempisque”

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) llevó a cabo en el 2005 un estudio donde se plasmaba la importancia de la determinación de caudales ambientales y su relación con el adecuado uso de los recursos hídricos. Para eso se conformó una base de datos hidrometeorológicos y de concesiones de agua para establecer el impacto del uso del agua en riego, consumo humano y agroindustrial en los caudales del Río Tempisque. Para evaluar las necesidades de agua para la ecología se seleccionaron dos especies acuáticas: el pez guapote (*Parachromis dovii*) y el cocodrilo (*Cocodylus acutus*). Se emplearon 26 perfiles del canal principal del río para evaluar con el programa Hec-Ras, el efecto de diferentes caudales ambientales propuestos en las características hidráulicas, tales como la profundidad del agua y la velocidad. El estudio propone tres caudales ambientales: máximo, promedio y mínimo; cada uno fue evaluado contra el escenario actual y los requerimientos del hábitat de las especies acuáticas seleccionadas. En términos generales, los caudales propuestos son más aceptables que el escenario actual, que es muy degradante. Finalmente, los caudales ambientales propuestos, solo podrían establecerse si el Departamento de Aguas del Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), renegociara las concesiones y condujera un plan para restituir agua en el río, tomándola de sistemas de riego cercanos o ríos vecinos que tienen excedentes de flujos durante la estación seca.

3.3.3. Proyecto “Modelos para el Manejo de los Recursos Hídricos de El Salvador”

Proyecto llevado a cabo por la consultora Nippon Koei Co para el Gobierno de El Salvador durante el año 2007 (Nippon Koei Co., Ltd, 2007) El ámbito del Proyecto está constituido por las siguientes tres áreas geográficas:

- a) cuenca del río Sucio, en la Estación Desembocadura.
- b) microrregión de Tetralogía, en el río San Simón.
- c) región del Golfo de Fonseca, en el río Goascorán, en La Ceiba y en la estación Amatillo, y en Sirama.

En el proyecto se evalúan los resultados del modelo de balance hídrico desarrollado por SNET y en especial evalúan la integración de la base de datos de las aguas subterráneas. Así mismo se desarrollan módulos de agua subterránea y demanda de agua, y retornos.

En dicho proyecto, en el apartado “levantamiento de las demandas”, se hace un planteamiento con respecto a los caudales ecológicos a utilizar, definiéndolos mes a mes y se describen los resultados de los mismos para las tres cuencas en estudio.

En él se lleva a cabo una metodología basada en información hidrológica, que tiende a satisfacer los requerimientos de un caudal ecológico o mínimo, por lo menos en cuanto a la variabilidad del régimen hidrológico.

Para simular un comportamiento hidrológico mínimo en el río, en este caso se utilizó un criterio de un caudal con un 90% de probabilidad de ser excedido, analizado a nivel mensual y no anual. Este criterio difiere con el que se acostumbra a utilizar en el hecho de que se analiza cada uno de los meses, y no el año entero.

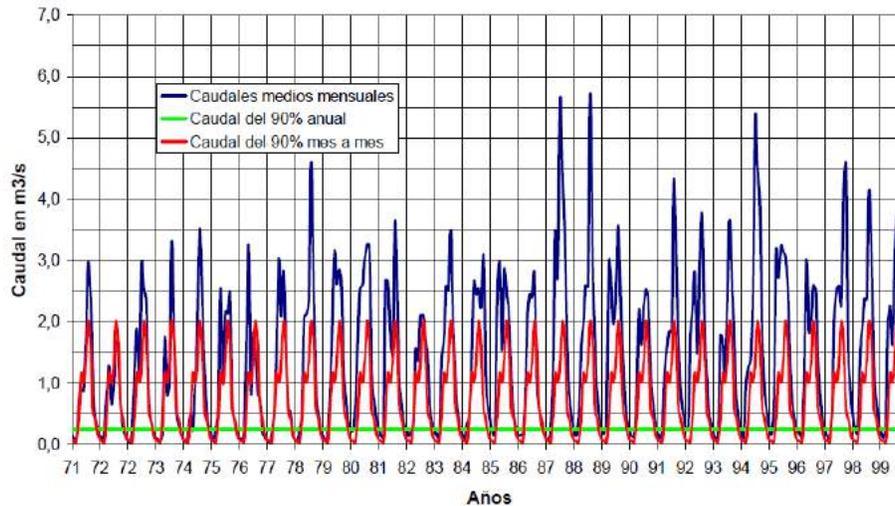


Figura 1. Hidrogramas reales y ecológicos. Fuente: (Nippon Koei Co., Ltd, 2007).

En la Figura 1 se muestra un gráfico en el que se muestran, para una estación dada a la salida de una cuenca, los caudales medios mensuales registrados (línea azul). Si se analizan todos estos caudales mensuales (durante todos los años), se construye una curva de duración y se escoge el caudal del 90%, se obtiene un caudal que sería el caudal “ecológico” comúnmente aceptado. El criterio sugerido son los caudales ecológicos o mínimos indicados con la línea roja, el cual varía mes a mes, siguiendo la forma del caudal medio mensual, llegando a ser, épocas secas, menores a los caudales definidos por la línea verde.

Los resultados de caudales ecológicos mínimos obtenidos en este proyecto se deben mantener en cada uno de los tramos de estudio, durante cada uno de los meses indicados. En este ejemplo de aplicación en el país, los caudales ecológicos o mínimos son una demanda más; en concreto son las demandas más importantes en cada una de las cuencas, y representan del orden del 70 u 80% de la demanda total en el año.



4. ACTORES RELACIONADOS CON LOS CAUDALES AMBIENTALES

Que los caudales ecológicos funcionen depende, en última instancia, de la **voluntad social, económica y política de las partes interesadas** ya que si la comunidad no está convencida de la necesidad de los caudales ecológicos, es improbable que se implementen. Por supuesto que cuanto mejor sea la comprensión científica, mayor será también la probabilidad de que la comunidad se convenza, lo que hace del proceso de evaluación e implementación de caudales ecológicos una interesante combinación de ciencia y criterio de la sociedad (O'Keeffe & Le Quesne, 2010).

Regular caudales ecológicos mediante un proceso científico aislado tiene pocas probabilidades de tener éxito, porque la llave crucial de la aceptación es la comprensión e implicación por parte de los interesados y de quienes tendrán que aplicar los cambios.

La **evaluación de los caudales ecológicos** es un **proceso tanto social como científico**, en el que la decisión de la sociedad tiene un papel medular. Tras la determinación de los caudales ecológicos, para que tenga éxito su aplicación es necesaria la participación y comprensión por parte de los distintos actores vinculados al uso y gestión del agua. Los grupos de interés o actores deben de estar constituidos por las comunidades locales, los municipios, las industrias que dependen de las aguas, la agricultura, los organismos gubernamentales locales y nacionales, ONG internacionales, instituciones científicas, organismos de conservación de la naturaleza y otros.

Las instituciones que ejercen roles y funciones, según el marco normativo vinculado a los caudales ecológicos (demandas, disponibilidad y protección) en El Salvador son:

Instituciones Nacionales:

- MARN: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Prevención, protección, supervisión, inventario de recursos hídricos y coordinación institucional. Las funciones más específicas relacionadas con los caudales ecológicos son:
 - Protección del recurso hídrico promoviendo el manejo integrado de cuencas hidrográficas.
 - Elaboración y propuesta ante la Presidencia de la República de los reglamentos necesarios para la gestión, uso, protección y manejo de recursos hídricos.
- MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería. Protección del recurso y regulación de uso para riego. Las funciones específicas son:
 - Promover y ejecutar programas de aprovechamiento de recursos hídricos con fines agropecuarios.
 - Vigilar e impedir que en los cauces o álveos naturales de los ríos se construyan obras y se hagan trabajos sin la autorización respectiva.
- ANDA: Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. Administración, usos del recurso para proveer servicios de agua para consumo humano, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. Las funciones relacionadas son:
 - Autoridad reguladora de la extracción de agua en el país.
 - Proveedor de servicios de agua potable y alcantarillado a población mediante la planificación, financiación, ejecución, operación, mantenimiento, administración, y explotación de las obras necesarias.
- CEL: Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.
 - Administración, uso del recurso energético para generación de energía eléctrica.
 - Construcción y operación de centrales de generación de energía hidroeléctrica.



- SIGET: Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones. Otorgamiento de concesiones para la generación de energía eléctrica a partir del uso de los recursos hídricos y geotérmicos.
- FISDL: Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local. Institución gubernamental de El Salvador encargada de ejecutar proyectos sociales en el marco del Sistema de Protección Social Universal.

Instituciones privadas

- Sistemas privados
- Distribución privada
- ONG: Organizaciones No Gubernamentales.

Sociedad civil

- ADESCO: Asociación de Desarrollo Comunal.
- Juntas de agua (consumo humano).
- Asociaciones de regantes (riego)

Instituciones locales

- Alcaldías y/o municipalidades.

5. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES AMBIENTALES

La aplicación de los caudales ecológicos en El Salvador, debido a su gran diversidad puede implicar una tarea de gran complejidad, lo que supone un trabajo previo para definir los métodos y criterios más adecuados. De acuerdo a la definición legal no solo se tratará de fijarlos para los ríos sino también para humedales y zonas costeras. A su vez se considera necesario valorar los resultados de caudales mínimos obtenidos en relación con las aguas subterráneas, dada su estrecha relación en muchas áreas del país.

Dado que en el anteproyecto de la Ley General de Aguas no se especifica la metodología para determinar el caudal ecológico en los principales cursos fluviales de El Salvador, ésta será establecida en función de las particularidades de cada curso o cuerpo de agua y los objetivos específicos a ser alcanzados.

Las regiones hidrográficas de El Salvador, deben mantener un caudal ambiental que haga posible la subsistencia de la flora y fauna del cauce y del bosque ribereño que albergan sus riberas. Este caudal de preservación se denomina “Caudal ecológico” y su cuantificación engloba múltiples factores, muchos de ellos de difícil valoración, por lo que se requiere de estudios detallados que abarquen temas de la biodiversidad en su curso natural. El caudal ecológico es considerado de uso no consuntivo, por sus servicios ambientales se considera intangible, y por tanto, no puede ser usado para otros fines.

La metodología que se propone para la determinación de los caudales ambientales queda resumida en la Figura 2:

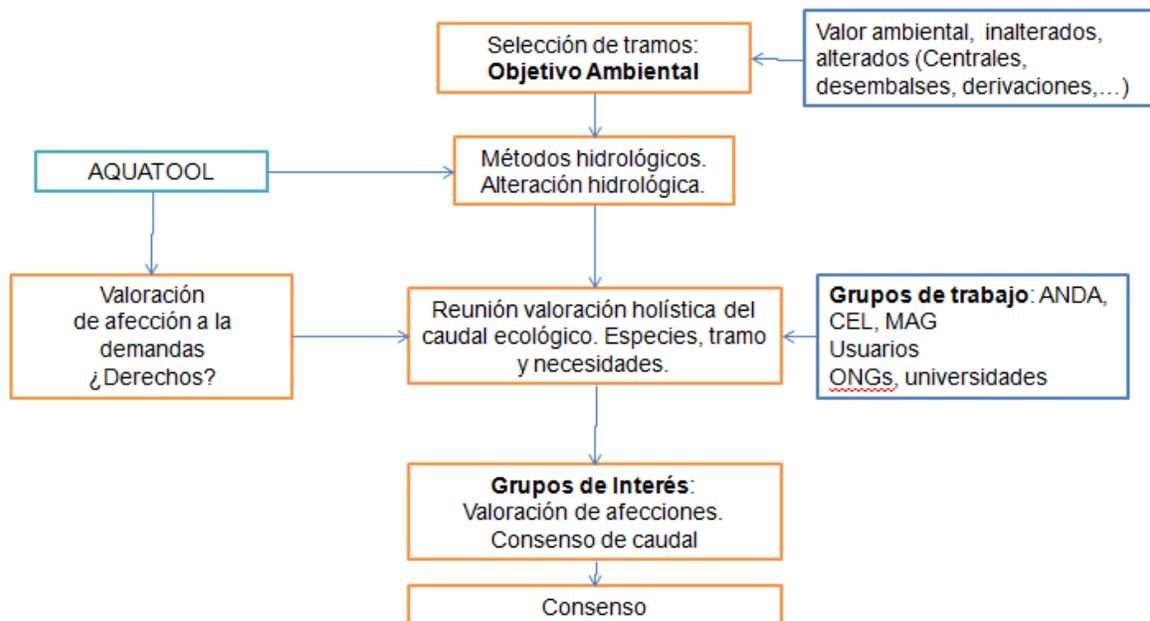


Figura 2. Proceso de determinación e implementación de los caudales ecológicos. Fuente: PNGIRH-MARN.



5.1. IDENTIFICACIÓN DE TRAMOS PRIORITARIOS

Se realiza una lista larga de tramos de río donde establecer caudales ecológicos debido a su grado de conservación y/o a las afecciones antrópicas a las que está sometido. Esta lista larga se hace con el objeto de que el MARN pueda seleccionar los tramos más convenientes, en función de los intereses perseguidos y sobre los cuales se realizarán los estudios del PNGIRH.

A continuación se exponen los criterios utilizados para la selección de los tramos objeto de estudio y los valores de ponderación, en función de criterio de experto, consensuados y aprobados por el MARN. Los valores de ponderación en cada uno de los criterios considerados, quedan comprendidos entre 0 y 1; el valor 0 representa una baja o inexistente afección antrópica y/o de conservación, mientras que el valor 1 representa una alta afección antrópica y/o conservación.

5.1.1. Afecciones antrópicas

■ Demanda total de agua superficial

En el momento de la identificación de los tramos prioritarios no se disponía de los caudales circulantes, que proporcionan los balances hídricos, con los que establecer el grado de alteración de los tramos de estudio, por lo que se optó por estimar esta alteración comparando las demandas totales en el tramo respecto del caudal medio anual en régimen natural. Las demandas empleadas para esta estimación son las que se encuentran en el Anexo 02. *Usos y Demandas de agua actuales y futuras.*

Dentro de las actividades del PNGIRH, se calculan los caudales en régimen natural, las demandas de los diferentes sectores económicos y el abastecimiento poblacional y los balances en régimen alterado.

Es importante mencionar que **este trabajo sólo sirve para establecer un orden de magnitud de la afección del tramo respecto de las demandas**, que ayude a la toma de decisión de la selección de los tramos de estudio.

Los valores de demanda se analizan en porcentaje respecto al caudal medio anual (QMA). La estimación de esta demanda total se estima mediante la siguiente expresión:

$$\text{Demanda total} = \text{Abastecimiento} + \text{Industria} + \text{UDA}$$

Las demandas analizadas en cada uno de los tramos preliminares propuestos han sido:

- UDA (Unidad de Demanda Agraria): Demandas de las UDAs próximas a los distintos puntos preseleccionados para el estudio de caudales ecológicos.
- Abastecimiento: Se han considerado las demandas superficiales para abastecimiento, las cuales tienen lugar en las potabilizadoras de Las Pavas (25.8% del QMA), Tamulasco (2.73% del QMA) y Chilama (2.68% del QMA). Estas demandas han sido consideradas en aquellos tramos próximos a estas potabilizadoras.
- Industria: la única demanda de uso industrial superficial identificada en el país es la del ingenio azucarero Izalco (Sonsonate), cuya demanda es de un 19.2% respecto al QMA.

Es importante destacar la presencia de otras demandas superficiales que no han sido tenidas en cuenta al no representar un valor significativo respecto al caudal medio anual en los tramos, y por tanto en los resultados. Por otro lado, las centrales hidroeléctricas, al ser demandas de uso no consuntivo y debido a la afección que representan frente a la continuidad fluvial, han sido consideradas como un criterio aparte, en función de la



potencia. A partir de los resultados del total de demanda en cada tramo, en unidades de % respecto al QMA, se establecen los siguientes criterios de ponderación:

- Entre 0% - 10% del QMA: 0.33
- Entre 10% - 35% del QMA: 0.66
- Mayor de 35% del QMA: 1

■ **Centrales hidroeléctricas.**

Las centrales hidroeléctricas se valoran en función de su potencia. Aquellos tramos próximos a centrales hidroeléctricas, tanto existentes como potenciales, se valoran del siguiente modo:

- Pequeñas centrales hidroeléctricas, < 20MW: 0.5
- Centrales > de 20MW: 1

■ **Grandes regulaciones**

En El Salvador hay presencia de cuatro grandes infraestructuras de regulación: Guajoyo, Cerrón Grande, 5 de Noviembre y 15 de Septiembre. Todas ellas se valoran en función de su índice de captación. El índice de captación es la relación que existe entre el la capacidad máxima de almacenamiento del embalse y el caudal medio anual en régimen natural.

EMBALSE	Indo. Captación
Guajoyo	0.43
Cerrón Grande	0.45
5 Noviembre	0.02
15 Septiembre	0.03

Aquellos tramos ubicados próximos a las grandes infraestructuras hidráulicas cuyo índice de captación es mayor de 0.2, se valoran con 1 y las de índice de captación menor de 0.2 con 0.5.

Cabe mencionar, en que aquellos tramos ubicados aguas abajo de alguna de estas grandes regulaciones, se realizará la ponderación teniendo en cuenta tanto los criterios establecidos para grandes regulaciones como para las centrales hidroeléctricas. Esto es debido a que las valoraciones realizadas para cada uno de estos parámetros son de carácter diferente: uno tiene en cuenta el tamaño de la central y el otro el índice de captación. Por otro lado, la distancia máxima que se entiende que define la proximidad de un tramo fluvial a grandes regulaciones y centrales hidroeléctricas es de 5 km.

■ **Zonas de interés minero.**

Aquellos tramos comprendidos dentro de zonas de interés minero se valoran con 0.5.

■ **Producción acuícola.**

Prácticamente toda la demanda para producción acuícola es devuelta a los cauces. El principal problema que conlleva esta actividad es la práctica de construir pequeñas infraestructuras de remanso para la extracción de agua, dejando tramos de río prácticamente secos hasta el retorno de las mismas. Por ello esta actividad no se valora con el resto de demandas, sino como presencia o ausencia de actividad acuícola. La valoración otorgada a aquellos tramos próximos zonas con este tipo de producción es de 1.



- **Masa de agua subterránea.**

Tramo de río conectado a una masa de agua subterránea en mal estado (tras los análisis preliminares de balances de agua subterránea). Los tramos de estudio ubicados sobre masas de agua subterránea en mal estado se valoran con 1.

5.1.2. Conservación

Para conocer las zonas de interés ecológico y medioambiental se ha realizado una evaluación de los recursos naturales a nivel de cuencas (Ver Apéndice 01) a fin de conocer las características de los ecosistemas y sus interrelaciones con los recursos hídricos para poder mejorar el régimen de los ríos con el objetivo de alcanzar un aprovechamiento sostenible.

Para la identificación de tramos prioritarios, varios son los aspectos considerados para el grado de conservación de cada uno de los tramos:

- **Área de Conservación (AC) y Área Natural Protegida (ANP):** aquellos tramos ubicados o próximos a un ANP y por ende, a un AC se valoran con 1. Aquellos tramos que quedan comprendidos únicamente dentro de un AC se valoran con 0.5.
- **Sitio RAMSAR:** aquellos tramos de estudio ubicados dentro o próximos a zonas RAMSAR o zonas RAMSAR en tramitación, se valoran con 1.
- **Reserva de la Biosfera:** aquellos tramos de estudio ubicados dentro o próximos a reservas de la Biosfera, se valoran con 1.
- **Presencia de especies piscícolas sensibles:** actualmente, la única especie piscícola de agua continental que se encuentra “En peligro” según la lista oficial de especies de vida silvestre amenazada o en peligro de extinción (MARN, 2009) es la machorra o pez lagarto (*Atractosteus tropicus*), especie nativa de las cuencas del Paz y de Cara Sucia San Pedro (McMahan, y otros, 2013). Los tramos preseleccionados ubicados en estas cuencas se valoran con 1.
- **Masa de agua subterránea en buen estado de conservación:** aquellos tramos de río preseleccionados conectados con masas de agua subterránea en buen estado tras los estudios preliminares de balances, se valoran con 0.5.

5.1.3. Lista corta a partir de criterios del MARN

Una vez realizado este análisis de interconexión entre los distintos parámetros indicados en varios puntos del país, se procede a la identificación de una lista corta. Dicha lista corta es elaborada a partir de los siguientes criterios:

- Resultados obtenidos en la ponderación de la lista larga.
- Si los tramos son prioritarios para el MARN.
- Presencia de estaciones hidrométricas de cara al control en la implementación y cumplimientos de los caudales mínimos.
- Si la cuenca a la que pertenece el tramo es transfronteriza. Es decir, si la gestión en la regulación es competencia directa de El Salvador o es compartida con alguno de los países colindantes. Hay que tener en cuenta que en la fase de consenso de caudales ecológicos dentro del Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos, únicamente intervienen los actores Salvadoreños.
- Calidad de las aguas.



- Variabilidad topográfica, climática, hidrológica.
- Otros aspectos relevantes para el propio MARN.

5.2. ESTUDIOS TÉCNICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Los métodos hidrológicos se basan en el análisis de caudales mínimos de una serie representativa hidrológicamente en régimen natural, de al menos 20 años, con alternancia de periodos secos y húmedos.

En el presente estudio se han utilizado **datos medios mensuales en régimen natural del modelo lluvia-escorrentía (Evalhid)**. La serie analizada es de 42 años, desde mayo de 1970 hasta abril de 2012. La elaboración de estas series naturalizadas se obtuvo a partir de estaciones pluviométricas e hidrométricas, como se explica en el Anexo 01. *Inventario de aguas superficiales y subterráneas* del presente documento.

Conviene destacar que los datos modelados contemplan tanto la componente superficial como la subterránea de las aportaciones. Por tanto, el análisis de los caudales ecológicos se realiza de forma conjunta con ambas componentes.

Para la determinación de los caudales ecológicos como primera propuesta en los tramos prioritarios de las cuencas hidrográficas de El Salvador, se consideró conveniente desarrollar el estudio mediante distintas metodologías para poder comparar resultados y establecer posteriormente el régimen de caudales mínimos. Se han utilizado cuatro métodos hidrológicos, todos ellos desarrollados en ríos estadounidenses. Para la selección de estos cuatro métodos hidrológicos se llevó a cabo una revisión bibliográfica de los métodos hidrológicos. Los principales criterios de selección fueron:

- Evidenciada aplicabilidad **de los métodos en un amplio abanico de tipos y tamaños de ríos** por diversos autores e investigadores. Los métodos hidrológicos revisados han sido utilizados en diferentes ríos del mundo.
- Métodos que permitieran el cálculo del régimen de caudales mínimos a partir de datos mensuales. Este criterio simplifica la aplicación de metodologías, ya que son pocos los métodos hidrológicos que permitan el uso de datos naturalizados mensuales como datos de partida.

Tabla 2. Criterios justificativos de la aplicación o no aplicación de los métodos hidrológicos expuestos.

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE METODOLOGÍAS HIDROLÓGICAS		
Método	Criterio de selección o de no selección	Seleccionado
Porcentaje fijo del caudal interanual	Caudal constante a lo largo del año, aproximaciones extremadamente simplistas. La mayoría ya no se encuentran en uso.	No
30% del caudal medio mensual	A partir de caudales mensuales en régimen natural. Establece variabilidad temporal proporcionando un caudal mínimo por mes.	Si
Tennant o Montana	De los más usados mundialmente. Divide el año en dos periodos y recomienda para cada uno un porcentaje de caudal medio interanual. En función de las condiciones ambientales del río se plantea un % u otro. Establece un caudal mínimo por estación.	Si
Relación entre porcentajes del caudal medio anual y la disponibilidad de hábitat	Proporciona un caudal mínimo constante a lo largo del año para el mantenimiento de hábitats.	No
Rango de Variabilidad (Range Variability Approach - RVA)	Utilizado mundialmente. Identifica los componentes del régimen natural y hace recomendaciones del rango a utilizar para no afectar al ecosistema. Con datos mensuales el método se ve simplificado.	Posteriormente



CRITERIOS DE SELECCIÓN DE METODOLOGÍAS HIDROLÓGICAS		
Método	Criterio de selección o de no selección	Seleccionado
Hoppe	Relación entre los percentiles de la curva de duración de caudales y distintas condiciones favorables para la supervivencia de determinadas comunidades biológicas. Estable 3 caudales: alimento y refugio, reproducción y regeneración del cauce. Al disponer de curva de caudales mensuales clasificados, estos valores de porcentajes no coinciden y puede dar lugar a errores. No se dispone información biológica en El Salvador.	No
Caudal Medio Base (ABF)	Impone un caudal mínimo constante a lo largo del año.	No
Caudal base de 7 días con periodo de ocurrencia de 10 años. (7Q10).	Para su aplicación se precisan de datos de caudal en régimen natural a nivel diario.	No
Fórmula de Mathey (Método Suizo)	Establece el caudal mínimo a escala anual. Metodología muy simplista.	No
QBM	Para su aplicación se precisan de datos de caudal en régimen natural a nivel diario.	No
Q95%	Método diseñado a partir de datos diarios en régimen natural. El Q95 a partir de datos mensuales resulta considerablemente más elevado y puede inducir a error en la estimación.	No
NGPRP	Utiliza registros de caudales medios mensuales.	Si
Tessman	Establece los caudales mínimos comparando un porcentaje del QMA con el QMM. Como datos de partida pueden usarse datos mensuales y diarios (resultados algo más altos con mensuales).	Si

A continuación se desarrollan los métodos seleccionados:

- “NGPRP” (Northern Great Plains Resource Program). (USFWS, 1974)

Es uno de los métodos hidrológicos más satisfactoriamente aplicados en condiciones ambientales diversas de EEUU. Este método se basa en la descripción de las condiciones hidrológicas de cada mes a partir de registros foronómicos. Las descargas medias mensuales son analizadas para estudiar la temporalidad de los registros. Una vez descartados los caudales extremos correspondientes a periodos secos y húmedos, los caudales ecológicos se calculan como los caudales que son igualados o superados el 90% del tiempo, excepto en los meses más caudalosos que aplica el 50%. El régimen de caudales ambientales final se obtiene como la serie de caudales ecológicos para cada mes.

El método busca la proporcionalidad del régimen natural. Comenzó a utilizarse en las Grandes Llanuras del Norte de Estados Unidos (ríos de gran temporalidad). Por ello se ha considerado oportuno de su aplicación ya que los ríos de El Salvador también se caracterizan por su temporalidad.

- Método de Tessman (Tessman, 1980).

El método Tessman es una modificación del método de Montana (Tennant, 1976) y así es conocido (Método de Tennant modificado). Estima los caudales mínimos comparando un porcentaje determinado del caudal medio interanual (QMA) con el caudal medio mensual (QMM). Pueden utilizarse caudales diarios o mensuales, en este último caso los valores finales obtenidos son algo más altos. Presenta una mejora con respecto al método de Tennant, al calcular caudales mínimos para cada mes del año. El caudal mínimo del mes es aquel que satisface alguna de las siguientes condiciones:

- o Si $0,4 * QMA > QMM$ el caudal mínimo recomendado es QMM.
- o Si $0,4 * QMA < 0,4 * QMM$ el caudal mínimo recomendado es $0,4 * QMM$.
- o De no cumplirse ninguna de las desigualdades anteriores el caudal mínimo recomendado es $0,4 * QMA$.

El método fue originalmente desarrollado y comprobado en 11 ríos de Montana, Wyoming y Nebraska.

■ **Método basado en el 30% del caudal medio mensual (Scarf, 1983).**

Método que define el caudal ecológico en cada mes del año directamente como el 30% del caudal medio mensual de la serie naturalizada considerada. Método sencillo que permite obtener una primera valoración de las posibilidades de manejo del río.

■ **Métodos de Tennant o Montana.**

Este método se basa en un estudio realizado por la US Fish and Wildlife Service en once arroyos ubicados entre los Estados de Montana, Nebraska y Wyoming. El objetivo del mismo era encontrar una relación entre el caudal y la disponibilidad de hábitat para la biota acuática (Tennant, 1976). Tennant dividió el año en un periodo seco y otro lluvioso, para los cuales propuso caudales expresados como porcentajes del caudal medio anual (QMA) relacionándolos con grados de conservación (Tabla 3). Según sus observaciones, el hábitat comenzaba a sufrir una degradación severa cuando el flujo era inferior al 10 por ciento del caudal medio anual, mientras que el 60 por ciento se consideró como un flujo suficiente para mantener el hábitat en estado óptimo.

Tabla 3. Estados de conservación de los ríos de acuerdo a Caudal Anual Mensual. Fuente: (Tennant, 1976). Entre paréntesis se encuentran los términos originales en inglés.

Estado de conservación	%QMA Nov-Abr	%QMA May-Oct
Máximo (flushing or maximum)	200%	200%
Rango óptimo (optimum range)	60-100%	60-100%
Sobresaliente (outstanding)	40%	60%
Excelente (excellent)	30%	50%
Bueno (good)	20%	40%
Regular o en degradación (fair or degrading)	10%	30%
Pobre o mínimo (poor or minimum)	10%	10%
Degradación severa (severe degradation)	<10%	<10%

Pese a que el estado de conservación y los objetivos ambientales que persigue cada tramo de estudio es diferente, se opta por seleccionar los porcentajes del caudal medio anual correspondientes al estado de conservación de “excelente” (30-50% del QMA). En cada uno de los tramos de estudio se establece el régimen de caudal mínimo conforme a estos porcentajes respecto al caudal medio anual para época seca (30% del QMA entre los meses de noviembre a abril) y lluviosa (50% del QMA entre los meses de mayo a octubre).

En fases posteriores se estudiará el **grado de alteración hidrológica de cada tramo mediante el método RVA (Range of Variability Approach)** (Richter, Baumgartner, Wigington, & Braun, 1997), a partir del cual se compara la serie naturalizada con la serie en régimen circulante (o alterado). Se hace una valoración tanto a nivel mensual como anual.



Dicho método lleva a cabo una búsqueda de la proporcionalidad del régimen natural ya que su principal objetivo es la preservación de los ecosistemas u otros índices de aplicación Nacional en El Salvador, de forma que pueda estimarse una reserva destinada a usos ambientales.

El método RVA precisa como datos de partida de series de caudales medios diarios. Los datos de partida que se utilizan para el análisis de caudales ecológicos, como ya se ha comentado previamente, son caudales medios mensuales, obtenidos a partir del modelo Evalhid. Las metodologías de cálculo empleadas para la evaluación de recursos hídricos de El Salvador, están basadas en Modelos de Precipitación-Escorrentía, específicamente en el modelo de Témez y el modelo HBV, los cuales para el PNGIRH trabajan a escala mensual, escala habitualmente empleada en trabajos de planificación hidrológica. Así pues, al ser datos mensuales el número de parámetros para la caracterización de las series naturales y el número de indicadores de alteración hidrológica (IHA) se verán simplificados.

En el análisis RVA, la gama completa de datos en régimen natural para cada parámetro se divide en tres categorías diferentes. Los límites entre las categorías se basan en valores de percentiles (para un análisis no paramétrico) o en un número de desviaciones estándar desde la media (para un análisis paramétrico).

La configuración predeterminada en el análisis **RVA no paramétrico** ubica los límites de las categorías a 17 percentiles de la mediana. Esto produce una demarcación automática de las **tres categorías de igual tamaño**: la categoría más baja contiene todos los valores menores o iguales al percentil 33; la categoría media contiene todos los valores que caen en el intervalo entre los percentiles 34 y 67; y la categoría más alta contiene todos los valores mayores que el percentil 67. Se suele recomendar utilizar los análisis no paramétricos ya que al usar los **percentiles 33 y 67** se asegura que en la mayor parte de las situaciones el número de valores en régimen natural que cae en cada categoría sea el mismo, lo que facilita la comprensión e interpretación de los resultados.

5.3. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Con los resultados técnicos obtenidos se llevan a cabo:

- Valoración ecológica de los sistemas hídricos de El Salvador. Se tomarán en cuenta las necesidades de agua para el sostenimiento de los ecosistemas y de los valores paisajísticos y turísticos asociados. Para ello, se considera el estudio y la cuantificación de la demanda ambiental hídrica relacionada con la estimación de caudales ecológicos, la protección de humedales y la asignación del uso del agua embalsada en los lagos.
- Evaluación de la sostenibilidad de las aguas subterráneas, las cuales han de cumplir los siguientes criterios:
 - La tasa promedio anual de extracción a largo plazo no supere los recursos disponibles de agua subterránea.
 - Que no se produzca ningún empeoramiento significativo de la físico-química de las aguas superficiales y / o de los procesos ecológicos en el río, como resultado de la alteración antropogénica del nivel del agua o cambios en las condiciones de flujo.
 - Que no se den daños significativos en los ecosistemas terrestres dependientes del agua subterránea como resultado de una alteración antropogénica del nivel de agua.
 - Que no se produzcan intrusiones salinas o de otra índole resultante de factores antropogénicos que induzcan a cambios en la dirección del flujo.

Los trabajos a realizar con el fin de determinar si se cumplen los criterios anteriores, serán los siguientes:



- o **Balance Hídrico.** A largo plazo, la extracción promedio anual de la masa de agua subterránea no debe exceder a la recarga media menos las necesidades ecológicas de flujo. Para ello debe evaluarse la extracción media anual junto con el "recurso de agua subterránea disponible" en la masa de agua subterránea. Este recurso de agua subterránea disponible es la tasa media anual de recarga global menos la tasa anual del flujo necesario para lograr la calidad ecológica de las aguas superficiales asociadas. Dicho recurso es capaz de evitar cualquier daño significativo en los ecosistemas terrestres dependientes de aguas subterráneas.
- o **Caudal de aguas superficiales:** no debe haber ninguna disminución significativa en la calidad química de las aguas superficiales (ríos y lagos). Esta prueba requiere que se estén cumpliendo los caudales ecológicos en aquellas masas de agua superficiales asociadas a las masas de agua subterráneas, para ello habrá que tener en cuenta si el río es ganador, perdedor o neutro, ya que pueden crearse escenarios distintos en función de estas relaciones:
 1. Río o zona húmeda perdedora: existe una infiltración que se debe estimar y sumar al caudal ecológico calculado.
 2. Río o zona húmeda ganadora: recibe aportaciones de aguas subterráneas que también se deben estimar y, posiblemente, restar del caudal ecológico calculado (es posible que la química de las aguas subterráneas por sí sola, o en gran medida, sea apta para mantener las comunidades biológicas que interesan en superficie en un lugar dado, pero será necesario analizarlo).
 3. En aquellos lugares donde un tramo de río o zona húmeda sea ganador y otro sea perdedor y sólo se disponga de una infraestructura de regulación de caudales, es donde pueden encontrarse mayores problemas de gestión.
 4. Por el contrario, allí donde no exista relación aguas subterráneas-aguas superficiales (por ejemplo, en áreas de lechos fluviales de baja permeabilidad y con desconexión hidráulica), la gestión de los caudales ecológicos resultará sensiblemente más sencilla.

La estimación y valoración de los caudales mínimos ecológicos obtenidos tendrá una visión holística, incluyendo opiniones y cálculos de otros ámbitos, abriéndose a metodologías que involucren, por ejemplo, variables de tipo biológico, pesquero, antrópico, paisaje, dilución, turismo, navegación, etc. de tal manera que permita cumplir con el objetivo de conservar la biodiversidad en el ecosistema del río.

5.4. PARTICIPACIÓN PÚBLICA Y CONCERTACIÓN

Los diseños de política y legislación del agua con reconocimiento de los caudales ambientales, sofisticadas metodologías de evaluación, programas de monitoreo, arreglos institucionales, involucramiento de actores relevantes y planes de implementación no garantizan la exitosa implementación si la planificación no está cuidadosamente alineada con las capacidades existentes (fondos, tecnología, recursos humanos) y el contexto socio-económico de un país (Bustamante, 2011).

La implementación de los caudales ecológicos, a menudo, puede requerir decisiones difíciles acerca de la reducción de los usos actuales, y depende de las prioridades sociales y la voluntad política y económica. Es necesario que en el proceso de concertación se tengan en cuenta todos los usos y demandas actualmente existentes y compatibilizar de este modo el derecho al uso del agua con el régimen de caudales ecológicos para hacer posible el futuro cumplimiento de los mismos.



Tras la determinación de los caudales ecológicos, para que tenga éxito su aplicación es necesaria:

- La participación y comprensión por parte de los distintos actores vinculados al uso y gestión del agua. Los grupos de interés o actores deben de estar constituidos por las comunidades locales, los municipios, las industrias que dependen de las aguas, la agricultura, los organismos gubernamentales locales y nacionales, ONG internacionales, instituciones científicas, organismos de conservación de la naturaleza y otros.
- La valoración de la afección de los caudales ecológicos sobre el resto de usos y demandas. Para ello es necesario determinar con el uso de modelos la repercusión de estos caudales ecológicos en los balances, de forma que los usuarios puedan valorar la repercusión de los acuerdos alcanzados.



6. INFORMACIÓN NECESARIA

Para llevar a cabo esta metodología **se precisa de la siguiente información:**

- Series hidrológicas en régimen natural y/o modificado.
- Biota: vegetación, peces, invertebrados, anfibios, reptiles, mamíferos dependientes del agua, las aves: biología de las especies endémicas y exóticas de cada cuenca (alimentación, periodo de reproducción, hábitats preferentes...).
- Geomorfología, sedimentología y uso de la tierra. Regiones hidroclimáticas.
- Calidad del agua: físico-química, microbiológica.
- Principales figuras de protección especial: Áreas de Conservación, Áreas Naturales Protegidas, sitios RAMSAR y Reservas de la Biósfera.
- Áreas de Importancia Ambiental: biológico (trenzados, con vegetación acuática, con desarrollo de playas...), pesquero (áreas con concesión pesca deportiva), antrópico, turismo y paisaje y dilución (residuos industriales líquidos).
- Balance Hídrico. Demandas de los distintos usos consuntivos y no consuntivos.
- Inventario de las principales infraestructuras hidráulicas.
- Grado de explotación de las masas de agua subterráneas. Comportamiento de los ríos que quedan comprendidos dentro de masas de agua subterránea: tramos de río ganadores y/o perdedores.
- Especies piscícolas continentales nativas y endémicas para conocer cuáles son las especies indicadoras a preservar en cada zona, así como la distribución específica de cada una de ellas.

Cabe tener en cuenta en el caso de El Salvador, la limitación de información consistente para la aplicación de métodos o fórmulas para la determinación de los caudales ecológicos. En el presente estudio **se han estimado los regímenes de caudales mínimos mediante métodos hidrológicos con datos mensuales**. Los métodos hidrológicos son considerados los más simples y fáciles de aplicar pero no dejan de ser un **primer paso necesario para la estimación del régimen de caudales mínimos**. La obtención de datos hidráulicos y biológicos para la **aplicación de métodos hidrobiológicos es muy laboriosa pero necesaria para la validación de estos primeros resultados mediante métodos hidrológicos**.



7. RESULTADOS

7.1. IDENTIFICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE TRAMOS PRIORITARIOS DE ESTUDIO

Tras el análisis y ponderación de cada uno de los factores de conservación y de afección antrópica en los tramos preseleccionados para la elaboración de la lista larga se obtuvieron los resultados resumidos en la Tabla 4.

Según la metodología aplicada, la máxima valoración que se puede alcanzar únicamente atendiendo a los factores de afección antrópica es de 5.5, mientras que por los factores ligados a la conservación es 4.5. Por tanto aplicando esta metodología está primando la selección debida a la afección antrópica frente a la relacionada con la conservación tal cual muestran los resultados.

Los 11 tramos con mayor valoración por factores de afección antrópica son aquellos cuyos valores son iguales o superiores a 1.8 (correspondiente al percentil 70). Por otro lado, los 15 tramos con mayor valoración por factores ligados a la conservación son aquellos cuyos valores son iguales o superiores a 1.5 (percentil 60). Por último, los 11 tramos con mayor valoración total son aquellos cuyos valores alcanzados son iguales o superiores a 2.66 (percentil 68).

De entre los tramos seleccionados teniendo en cuenta la valoración total:

- I-07, I-08, II-04 y II-06 (celdas en rojo) son seleccionados exclusivamente por factores ligados a la afección antrópica.
- I-16, II-11 y III-02 (celdas en verde) son seleccionados exclusivamente por factores ligados a la conservación.
- I-02, I-09, II-02 y II-03 (celdas en naranja) son seleccionados por factores ligados a conservación y afecciones antrópicas.

En la Figura 3 puede visualizarse la ubicación de los 34 tramos preseleccionados que conforman la lista larga previa a la selección de los tramos de caudales ecológicos.

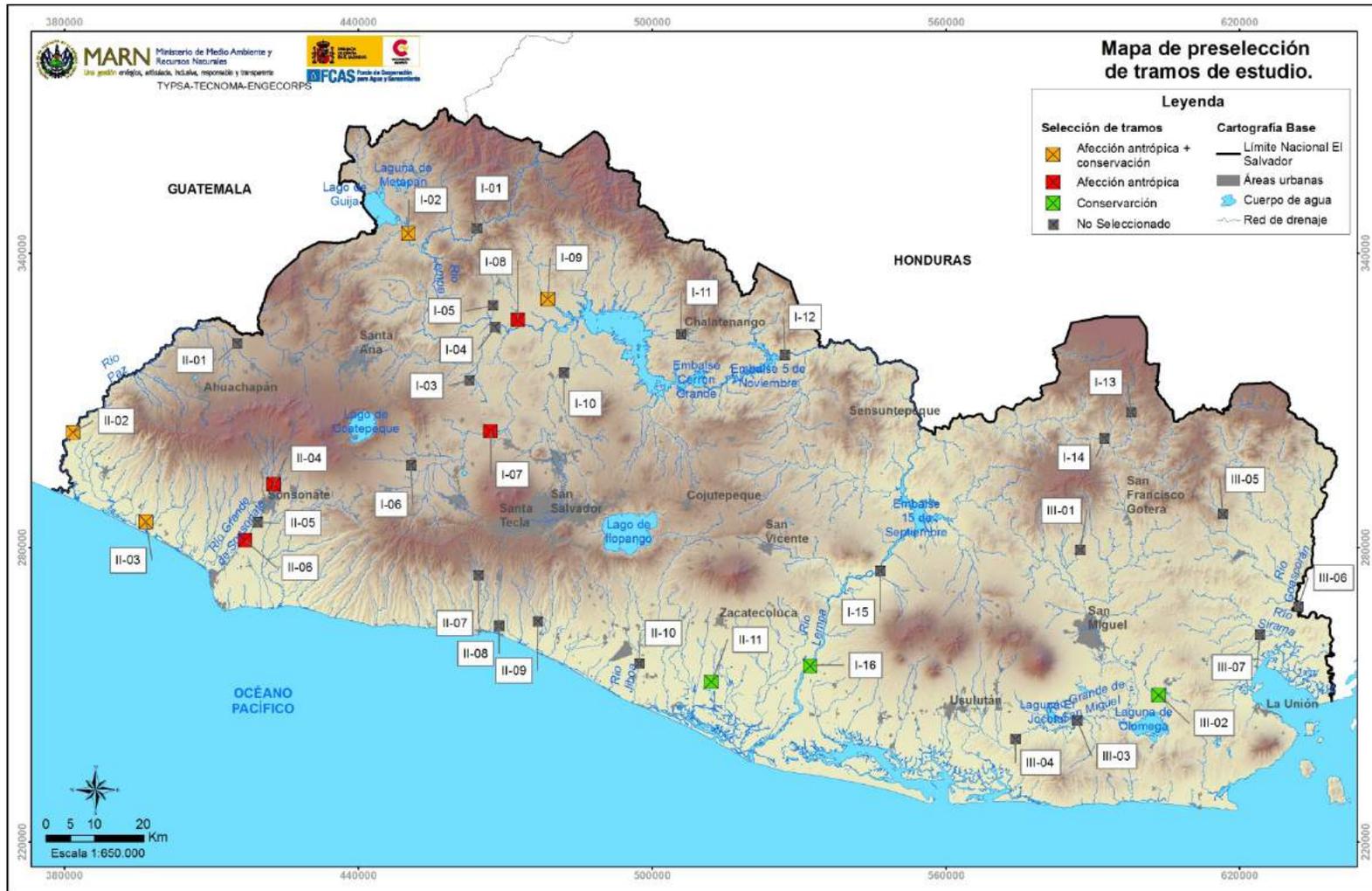


Figura 3. Preselección de 34 tramos de estudio de caudales ecológicos. Los puntos verde corresponden a aquellos tramos seleccionados por factores de conservación, los rojos por factores de afección antrópica, los naranjas por ambos tipos de factores (antrópica + conservación) y los negros el resto de preseleccionados. Fuente: PNGIRH-MARN



Tabla 4. Resultados de la ponderación realizada de una lista preliminar de tramos de estudio en función de distintos parámetros relacionados tanto con la afección antrópica como con el interés ecológico. Las celdas rojas representan aquellos tramos seleccionados por afección antrópica, las verdes por conservación y las naranjas por ambos factores.

TRAMOS		AFECCIÓN ANTRÓPICA							CONSERVACIÓN						VALORACIÓN TOTAL
Cód.	Nombre	Demanda	CH	Infraestr.	Minería	Prod. acuíc.	MA Subt. Mal Estado	TOTAL AFECCIÓN	AC-ANP	Ramsar	Res. Biosfera	MA Subt.	Spp piscícolas	TOTAL CONSERV.	
I-01	Cimarrón- Alto Lempa	0.0	1.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	2.5
I-02	Guajoyo-Desagüe	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0	2.0	0.5	1.0	1.0	0.0	0.0	2.5	4.5
I-03	Río María Seca (Suquiapa)	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.3
I-04	Las Pavas - Lempa	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
I-05	Mojaflores	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
I-06	Río Sucio-01	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
I-07	Río Sucio-02	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	1.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.8
I-08	Jayuca	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
I-09	Metayate	0.3	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	2.3	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	1.5	3.8
I-10	Acelhuate	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
I-11	Tamulasco	0.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.8	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	1.5	2.3
I-12	5 Noviembre	0.0	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.5
I-13	Sapo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.5	1.5
I-14	Torola	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0	0.0	0.5	0.0	0.0	2.0
I-15	15 Septiembre	0.3	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
I-16	Tramo bajo Lempa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	3.0	3.0
II-01	San Antonio	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	1.5	2.2
II-02	Bajo Paz	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	1.5	4.5



TRAMOS		AFECCIÓN ANTRÓPICA							CONSERVACIÓN						VALORACIÓN TOTAL
Cód.	Nombre	Demanda	CH	Infraestr.	Minería	Prod. acuíc.	MA Subt. Mal Estado	TOTAL AFECCIÓN	AC-ANP	Ramsar	Res. Biosfera	MA Subt.	Spp piscícolas	TOTAL CONSERV.	
II-03	El Naranjo	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	3.0	5.0
II-04	Sonsonate 01	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	2.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	3.5
II-05	Sonsonate 02	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
II-06	Sonsonate 03	0.7	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
II-07	Chilama	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.2
II-08	San Antonio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
II-09	Huiza	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0
II-10	Jiboa	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
II-11	Acomunca	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0
III-01	Las Cañas	0.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
III-02	San Antonio	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0
III-03	Grande de San Miguel - 01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0
III-04	Grande de San Miguel - 02	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.3
III-05	Las Piñas	0.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.8	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.3
III-06	Goascorán	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.5	1.5
III-07	Sirama	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.5	1.5



Una vez realizado este análisis de interconexión entre los distintos parámetros indicados en varios puntos del país, el MARN procedió a la validación de los resultados obtenidos y al cambio de algunos tramos que no son prioritarios según la metodología planteada, pero pese a ello son tramos prioritarios para MARN según ciertos criterios como son, entre otros, si se encuentran en zonas prioritarias, la presencia de estaciones de aforo, si es cuenca transfronteriza, calidad de las aguas, variabilidad topográfica, climática e hidrológica, etc. Algunos de estos aspectos se han recopilado en la Tabla 5.

Tabla 5. Factores a tener en cuenta en la selección de tramos de estudio de caudales ecológicos de El Salvador.

TRAMOS		Tramo Prioritario	Est. Hidrométrica	Cuenca transfronteriza
Cód.	Nombre			
I-01	Cimarrón- Alto Lempa	ZNP	Ninguna cercana. Aguas arriba la estación hidrométrica de Citalá y aguas abajo, tras la confluencia con el río Desagüe, la de El Zapotillo. Ambas en funcionamiento.	Si
I-02	Guajoyo-Desagüe	ZNP	Existe una en el lago Güija (Güija) que no está en funcionamiento y otra en el río Guajoyo (Piedra Cargada) que sí que está en funcionamiento.	Si
I-03	Río María Seca (Suquiapa)	ZP7	No	No
I-04	Las Pavas - Lempa	ZNP	Las Pavas	Si
I-05	Mojaflores	ZP6	Nueva Concepción. No funciona	No
I-06	Río Sucio-01	ZP8	Punto ubicado justo aguas arriba de la estación hidrométrica San Andrés, actualmente fuera de uso.	No
I-07	Río Sucio-02	ZP8	La más cercana es Joya de Cerén, en funcionamiento, ubicada aguas arriba (unos 10km aguas arriba).	No
I-08	Jayuca	ZNP	No	No
I-09	Metayate	ZP6	Metayate. No funciona	No
I-10	Acelhuate	ZP8	San Diego. No funciona	No
I-11	Tamulasco	ZNP	La Sierpe. En funcionamiento	No
I-12	5 Noviembre	ZNP	No	No
I-13	Sapo	ZNP	No	No
I-14	Torola	ZNP	Osicala	Si
I-15	15 Septiembre	ZNP	No	No
I-16	Tramo bajo Lempa	ZNP	San Marcos	No
II-01	San Antonio	ZNP	No	No
II-02	Bajo Paz	ZNP	La Hachadura. En funcionamiento	Si
II-03	El Naranjo	ZP5	No	No
II-04	Sonsonate 01	ZP1	No	No
II-05	Sonsonate 02	ZP1	No, a través de la CH	No
II-06	Sonsonate 03	ZP1	No	No
II-07	Chilama	ZNP	En la parte baja del Chilama Mandinga-Comalapa, que no está en funcionamiento	No



TRAMOS		Tramo Prioritario	Est. Hidrométrica	Cuenca transfronteriza
Cód.	Nombre			
II-08	San Antonio	ZNP	No	No
II-09	Huiza	ZNP	Melara	No
II-10	Jiboa	ZNP	No	No
II-11	Acomunca	ZP2	No	No
III-01	Las Cañas	ZP4	No	No
III-02	San Antonio	ZP4	No	No
III-03	Grande de San Miguel - 01	ZP4	Unos 6 km aguas arriba, estación hidrométrica La Canoa. En funcionamiento	No
III-04	Grande de San Miguel - 02	ZP4	Aguas arriba, la estación Vado Marín en funcionamiento.	No
III-05	Las Piñas	ZNP	No	No
III-06	Goascorán	ZNP	Aguas arriba, estación La Ceiba. No se encuentra en funcionamiento	Si
III-07	Sirama	ZNP	Aguas abajo, estación Siramita. No se encuentra en funcionamiento	No

ZNP: Zona No Prioritaria.

ZP: Zona Prioritaria.

Finalmente, como propuesta se han seleccionado 12 tramos prioritarios, 7 de ellos ubicados en la zona hidrográfica I Lempa, 4 en la zona hidrográfica II Paz - Jaltepeque y 1 en la zona hidrográfica III Jiquilisco – Goascorán (Tabla 6) De los 12 tramos seleccionados, 9 coinciden con los 11 preseleccionados previo a los criterios del MARN. En la Figura 4 se representa la ubicación de los 12 tramos seleccionados como tramos de estudios prioritarios en El Salvador.

Tabla 6. Puntos de estudio seleccionados de caudales ecológicos. Los tramos que coinciden con los preseleccionados previos a los criterios del MARN se resaltan en verde.

TRAMOS SELECCIONADOS				
Cód.	Nombre	Región Hidrográfica	Zonas Prioritarias	Criterio selección
I-01	Cimarrón- Alto Lempa	Lempa	ZNP	MARN. Por futura CH Cimarrón.
I-02	Guajoyo-Desagüe	Lempa	ZNP	Afección Antrópica + Conservación
I-04	Las Pavas - Lempa	Lempa	ZNP	MARN. Ampliación de planta potabilizadora
I-07	Río Sucio-02	Lempa	ZP8	Afección Antrópica
I-08	Jayuca	Lempa	ZNP	Afección Antrópica
I-09	Metayate	Lempa	ZP6	Afección Antrópica + Conservación
I-14	Río Torola	Lempa	ZNP	MARN. Futuras dos CH.
I-16	Tramo bajo Lempa	Lempa	ZNP	Conservación
II-03	El Naranjo	Cara Sucia-San Pedro Belén	ZP5	Afección Antrópica + Conservación
II-04	Sonsonate 01	Grande de Sonsonate - Banderas	ZP1	Afección Antrópica

TRAMOS SELECCIONADOS				
Cód.	Nombre	Región Hidrográfica	Zonas Prioritarias	Criterio selección
II-08	San Antonio	Mandinga-Comalapa	ZNP	MARN. Conservación estero San Diego.
II-11	Acomunca	Jiboa / Estero Jaltepeque	ZP2	Conservación
III-02	San Antonio	Grande de San Miguel	ZP4	Conservación

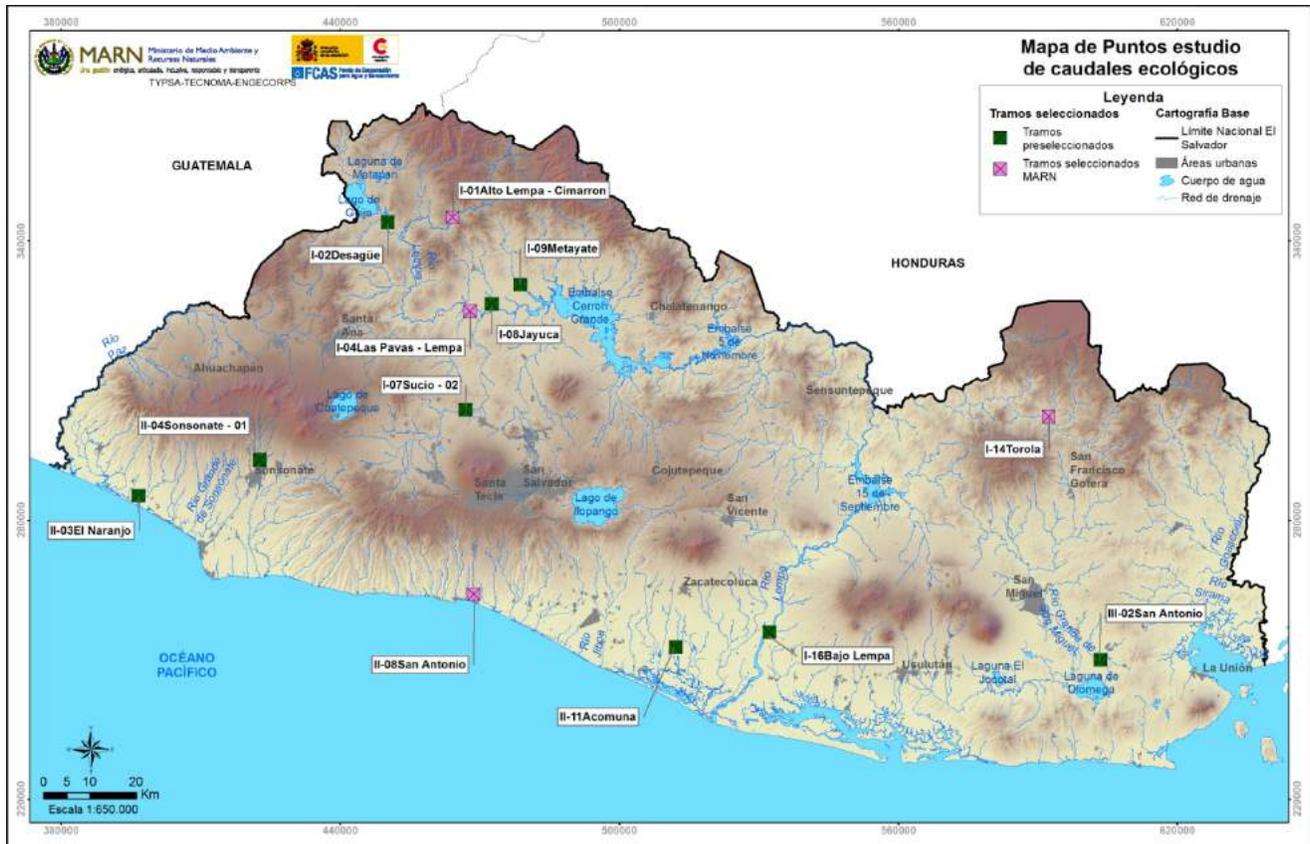


Figura 4. Ubicación de los puntos de estudio de caudales ecológicos en El Salvador, diferenciando entre los tramos preseleccionados y los tramos seleccionados por criterios del MARN. Fuente: PNGIRH-MARN

La descripción de los principales usos detectados en cada una de los tramos propuestos se encuentra más detallada en el Anexo 02. *Usos y Demandas de agua actuales y futuras* del presente producto.

Por otro lado, las especies piscícolas a preservar citadas en cada uno de los tramos son citadas atendiendo al artículo "Checklist of the Inland Fishes of El Salvador" (McMahan, y otros, 2013). En dicho artículo se hace un análisis de la distribución de especies piscícolas continentales atendiendo a la cuenca y al departamento. Faltaría información sobre las especies indicadoras a preservar específicamente en cada uno de los tramos propuesto.

7.1.1. Zona Hidrográfica I: Río Lempa

Tramo I-01: Cimarrón – Alto Lempa

El punto de estudio queda comprendido en la región hidrográfica del río Lempa, dentro del departamento de Santa Ana, haciendo de frontera entre los municipios de Santa Rosa Guachipilín y Metapán. Concretamente se encuentra 3 km aguas abajo de donde está prevista la futura central hidroeléctrica de El Cimarrón. Las coordenadas de punto son $x= 464226.39$ e $y=345002.77$.

Está previsto que la futura central hidroeléctrica de El Cimarrón tenga una capacidad generadora de 261 MW, siendo así la central hidroeléctrica de mayor capacidad generadora construida en El Salvador. Inicialmente su construcción contemplaba iniciarse en 2010 y su puesta en funcionamiento en 2017. En noviembre de 2009, el Presidente Mauricio Funes ordenó la suspensión del proyecto por el impacto que causaría en los ecosistemas del río Lempa y así como a las comunidades afectadas. Se llevó a cabo un proceso de rediseño orientado a la reconversión de una infraestructura, que era exclusivamente hidroeléctrica, en una presa multipropósito. De este modo aumentan los beneficiarios de la actuación, entre los que cabe destacar de forma especial a las comunidades locales, ya que la presa contribuiría al desarrollo económico de la zona norte del país.

En cuanto a las figuras de conservación de la zona, el tramo se encuentra en la zona de transición de la Reserva de la Biosfera (RB) Trifinio – Fraternidad. En esta zona es donde se desarrollan la mayor parte de las actividades productivas y de infraestructura de la RB Trifinio – Fraternidad, sector El Salvador. El tramo presenta una matriz de paisajes con importantes remanentes forestales.

Las principales amenazas son la introducción de especies exóticas, el avance de la frontera agrícola y las prácticas productivas no respetuosas con el medio ambiente, así como el interés por la explotación minera de hierro, cobre, plomo, zinc y plata.

Las principales especies piscícolas continentales nativas que pueden encontrarse en el tramo son: alma seca (*Roebooides bouchellei*), Filin / Juilin (*Rhamdia guatemalensis*; *Rhamdia laticauda*), topote de El Salvador (*Poecilia salvatoris*), guapote manchote (*Poeciliopsis pleurospilus*). Dicha información es extraída del artículo “*Checklist of the Inland Fishes of El Salvador*”, elaborado por McMahan y otros durante el 2013. En dicho artículo se establece un listado de peces continentales en El Salvador a nivel de cuenca y departamento.

La selección de este tramo se justifica principalmente ante la futura central hidroeléctrica de El Cimarrón y el resto de actividades que puedan surgir ante la construcción de la presa multipropósito. En un futuro podrían surgir posibles conflictos por los distintos usos del agua en la zona, por lo que conviene que el régimen de caudales mínimos quede definido para que las figuras de protección y sus ecosistemas asociados no se vean deteriorados.

Tramo I-02: Guajoyo-Desagüe:

Este punto de estudio pertenece a la región hidrográfica del río Lempa. Concretamente se encuentra ubicado aguas abajo de la confluencia del río Guajoyo con el río Desagüe, aguas abajo del lago Güija, en el municipio de Metapán dentro del departamento de Santa Ana. Las coordenadas del punto son $x=450211.87$ e $y=343917.75$. Existe conexión entre el río y la masa de agua, caracterizándose por ser uno de los pocos tramos perdedores en régimen natural de El Salvador.

La central hidroeléctrica de Metapán ubicada a 1.8 km aguas arriba del tramo propuesto, tiene una capacidad de 19.8MW y la demanda anual constituye el 64% del caudal anual en régimen natural.

Además, la zona donde se encuentra el punto propuesto es zona de interés minero, principalmente de hierro, cobre, plomo, zinc y plata.

En tramo está comprendido dentro del área de conservación Trifinio, próximo al sitio Ramsar complejo Güija y dentro de la zona tampón de la Reserva de la Biosfera Trifinio – Fraternidad. La mayor parte de la zona tampón contiene importantes remanentes de bosques naturales que posibilitan la función de amortiguamiento como son bosque nebuloso, bosque de pino, bosque mediano perennifolio, bosque subcaducifolio, bosque caducifolio, bosque de galería, carrizales pantanosos (MARN, MOP, VMVDU, 2004). Contiene especies de biodiversidad únicas, endémicas, amenazadas y/o restringidas.

Las principales especies piscícolas continentales nativas que pueden encontrarse en el tramo son: plateada (*Astyanax aeneus*), alma seca (*Roeboides bouchellei*), Filin / Juilin (*Rhamdia guatemalensis*; *Rhamdia laticauda*). Dicha información es extraída del artículo “*Checklist of the Inland Fishes of El Salvador*”, elaborado por McMahan y otros durante 2013. En dicho artículo se establece un listado de peces continentales en El Salvador a nivel de cuenca y departamento.

La selección de este tramo se justifica ante la importancia ambiental al estar comprendido dentro de un área de conservación y reserva de la biosfera así como muy próximo a un sitio Ramsar. Conviene considerar este tramo para su conservación ante las demandas de usos no consuntivos (central hidroeléctrica de Metapán) y conservar de este modo la conectividad longitudinal del río en el tramo de derivación.

Tramo I-04: Las Pavas - Río Lempa

Pertenece a la región hidrográfica del río Lempa. El punto propuesto se encuentra ubicado concretamente aguas abajo de la toma de la planta potabilizadora de Las Pavas y aguas abajo de la confluencia con el río Suquiapa. En este tramo, el río hace de frontera entre los municipios de San Pablo Tacachico en el departamento de La Libertad y Nueva Concepción en el departamento de Chalatenango. Las coordenadas del punto son $x=467888.035$ e $y=324865.648$.

Las principales demandas detectadas próximas al punto de estudio son:

- Abastecimiento: la planta de Las Pavas es la principal planta potabilizadora de agua y abastecedora del Área Metropolitana de San Salvador. La planta toma agua superficial del río Lempa. Su demanda representa el 2.59% del caudal medio anual en régimen natural.
- Agrícola: unidad de demanda agrícola Atiocoyo N, cuya demanda constituye un 1.546% respecto al caudal medio anual en régimen natural.

El tramo forma parte del área protegida complejo ribereño del río Lempa.

Las principales especies piscícolas continentales nativas que pueden encontrarse en el tramo son: plateada (*Astyanax aeneus*), alma seca (*Roeboides bouchellei*), Filin / Juilin (*Rhamdia guatemalensis*). Dicha información es extraída del artículo “*Checklist of the Inland Fishes of El Salvador*”, elaborado por McMahan y otros durante 2013. En dicho artículo se establece un listado de peces continentales en El Salvador a nivel de cuenca y departamento.

La selección de este tramo se justifica ante las actividades antrópicas que utilizan el recurso, como son agricultura y abastecimiento. Cabe destacar que está prevista una ampliación de la planta potabilizadora de Las Pavas, lo que supondría un aumento en las demandas de agua superficial para abastecimiento. En un futuro podrían surgir posibles conflictos por los distintos usos del agua en la zona (principalmente riego y demandas de agua potable).

Tramo I-07: Río Sucio-02

La extensión de la cuenca del río Sucio es de 830 km² que constituye el 6,9% del área total del país. Nace en la Laguna del valle de Zapotitán, y después de un recorrido de unos 60 km, en dirección E-NE desemboca en el río Lempa, a unos 10 km aguas arriba del embalse del Cerrón Grande. La cuenca se ubica en los departamentos de Santa Ana, Sonsonate, San Salvador y La Libertad.

El punto de estudio propuesto queda comprendido en el río Sucio a la altura del municipio de Quezaltepeque, en el departamento de La Libertad, aguas arriba de la confluencia del sucio con el río Palonquilo por su margen derecha. Las coordenadas del punto de estudio son $x= 466978.186$ e $y= 303661.521$.

Los principales usos detectados en el área son:

- Agrícola: Próximo al punto de estudio propuesto se encuentra la Unidad de Demanda Agrícola (UDA) Sucio-02, la cual presenta una demanda correspondiente a un 2.09% del caudal medio anual en régimen natural.
- Hidroeléctrico: presencia de una pequeña central hidroeléctrica ubicada 2 km aguas abajo en el mismo río Sucio, con una capacidad de 2.5MW.

El tramo queda comprendido dentro del área de conservación de El Playón. En dicha área de conservación han sido identificadas 61 especies de preocupación especial, siendo algunas de ellas consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción. Entre ellas se incluyen, anfibios (2 amenazadas), reptiles (7 amenazadas), aves (23 en peligro y 26 amenazadas) y mamíferos (1 en peligro y 2 amenazadas). De estas, una especie de anfibios ha sido catalogada bajo estatus de en peligro crítico por la UICN, *Agalychnis moreletii* y otra en peligro, *Ptychohyala salvadorensis* (MARN, 2011k).

En cuanto a las especies piscícolas nativas de aguas continentales, ninguna de ellas está catalogada como amenazada a nivel nacional. En este tramo se sabe de la presencia de plateada (*Astyanax aeneus*), alma seca (*Roebooides bouchellei*), filin / juilin (*Rhamdia guatemalensis*). Dicha información es extraída del artículo “*Checklist of the Inland Fishes of El Salvador*”, elaborado por McMahan y otros durante 2013. En dicho artículo se establece un listado de peces continentales en El Salvador a nivel de cuenca y departamento.

El tramo de estudio planteado se encuentra dentro de la zona prioritaria de intervención subcuenca río Sucio, definida dentro del Programa de Gobernabilidad y Planificación de la Gestión del Recurso Hídrico.

La selección de este tramo se justifica por los posibles conflictos de usos que puedan surgir, así como por la importancia en la conservación del ecosistema y poblaciones asociadas.

Tramo I-08: Río Jayuca

El punto del río Jayuca, también conocida como quebrada Jayuca, se encuentra localizado justo antes de la confluencia del Jayuca con el Lempa, en el municipio de Nueva Concepción, perteneciente al departamento de Chalatenango. El punto de estudio presenta las siguientes coordenadas: $x=472633.338$ e $y=326339.694$.

Una de los principales usos detectados en el área es el agrícola. Próximo al punto de estudio se encuentra la Unidad de Demanda Agrícola Jayuca, la cual presenta una demanda correspondiente al 46.64% del caudal medio anual en régimen natural. Además existe una pequeña proporción de caudal destinado a producción acuícola.

Destacar que el punto de estudio está ubicado en una zona potencial de construcción de central hidroeléctrica con capacidad superior a 20 MW.



El río Jayuca presenta conexión con la masa de agua subterránea ESA-06. En régimen natural resultaría un tramo ganador; sin embargo conviene resaltar que analizando el índice actual de explotación, la masa de agua se encuentra en mal estado.

En cuanto a las especies piscícolas nativas de aguas continentales, ninguna de ellas está catalogada como amenazada a nivel nacional. En este tramo se sabe de la presencia de plateada (*Astyanax aeneus*), filin / juilin (*Rhamdia guatemalensis*), burra / burrita (*Amatitlania nigrofasciata*), topote de El Salvador (*Poecilia salvatoris*) y guapote manchote (*Poeciliopsis pleurospilus*). Dicha información es extraída del artículo “*Checklist of the Inland Fishes of El Salvador*”, elaborado por McMahan y otros durante 2013. En dicho artículo se establece un listado de peces continentales en El Salvador a nivel de cuenca y departamento.

La selección de este tramo se justifica por los posibles conflictos de usos que puedan surgir entre los diferentes usos y ante la construcción de una futura central hidroeléctrica con capacidad superior a 20 MW.

Tramo I-09: Río Metayate

El punto de estudio del río Metayate se encuentra en el cantón San Antonio de Chalatenango y divide geográficamente a los municipios La Reina y Agua Caliente, ambos pertenecientes al departamento de Chalatenango. Se alimenta de las quebradas, nacimientos termales y pequeños ríos que bajan desde El Encumbrado, Agua Fría, Agua Caliente y La Reina. Las coordenadas del punto de estudio son $x= 478737.852$ e $y= 330547.198$. Punto ubicado aguas a la altura de la estación hidrométrica de Metayate.

Según el informe de Evaluación de la Calidad de Agua de los ríos de El Salvador (MARN, 2012i), Metayate es el único de entre 55 principales afluentes superficiales a escala nacional que cumple con las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre aguas para recreación con contacto humano. Es el único caudal que los turistas nacionales y extranjeros podrían ocupar para actividades de recreación natural.

Conviene destacar la presencia de pozos excavados en la parte media alta de la subcuenca cuya agua es destinada principalmente a abastecimiento poblacional e industrial.

La parte baja del río, en las cercanías a la desembocadura en el Lempa, sufre problemas de inundación.

En esta misma parte baja se ha desarrollado una ganadería no estabulada.

Destaca también la presencia de una derivación para uso piscícola unos 4.5 km antes de su desembocadura con el río Lempa.

Parte baja de la subcuenca comprendida dentro del sitio Ramsar Cerrón Grande y así como del área de conservación Alto Lempa. Esta área de conservación constituye una zona de interés productivo. Predominan el cultivo de granos básicos y pastos, existe una extensa superficie dedicada al cultivo de caña de azúcar. Al noroeste y norte existen pequeños parches de vegetación natural abierta y sabanas de morrales y chaparrales.

En el propio embalse de Cerrón Grande se han detectado diferentes especies amenazada o en peligro entre las que destacan: la mojarra negra, el cocodrilo americano, el pato candilejo, el pelícano blanco, espátula rosada, el caracolero y el águila pescadora. La tilapia y guapote tigre tiene importancia como fuente de alimento. Destaca la invasión del jacinto de agua como especie exótica.

Las principales especies piscícolas a preservar en este tramo son: Burra/Burrita (*Amatitlania nigrofasciata*), Plateada (*Astyanax aeneus*), Topote de El Salvador (*Poecilia salvatoris*), Guapote manchote, (*Poeciliopsis pleurospilus*) y Filin /



Juilín (*Rhamdia guatemalensis*). Dicha información es extraída del artículo “Checklist of the Inland Fishes of El Salvador” (McMahan, y otros, 2013).

El río Metayate presenta conexión con la masa de agua subterránea ESA-06. En régimen natural resultaría un tramo ganador; sin embargo conviene resaltar que analizando el índice actual de explotación, la masa de agua se encuentra en mal estado.

El tramo se encuentra dentro de la zona prioritaria de intervención subcuenca río Metayate, definida dentro del Programa de Gobernabilidad y Planificación de la Gestión del Recurso Hídrico.

La importancia ambiental al estar comprendido dentro de un área de conservación, la influencia directa sobre un sitio Ramsar, y el interés turístico que presenta la zona, justifica la elección de este punto. Conviene considerar este tramo para garantizar su conservación ante las demandas para agricultura y actividades acuícolas.

Tramo I-14: Tramo río Torola

El río Torola tiene una longitud de 100,3 km, y nace en el departamento de La Unión, de la confluencia del río Lajitas y la quebrada Manzucupagua. Su desembocadura se encuentra en el río Lempa. Su trayectoria es en la dirección este a oeste, y una porción sirve de límite geográfico entre las repúblicas de El Salvador y Honduras. La morfología del río Torola es muy variada formando desde cañones fluviales en la porción nororiente, a pequeñas planicies o valles en la porción occidental.

El tramo está ubicado en el río Torola, a la altura del puente sobre la carretera hacia Perquín, en el departamento de Morazán y divide geográficamente a los municipios de Meanguera y Oscicala. Las coordenadas del punto de estudio son $x= 592289.027$ e $y= 302148.314$, aguas abajo de la confluencia con el río La Joya.

La principal afección del punto de estudio es la posible futura construcción de dos centrales hidroeléctricas unos pocos kilómetros aguas abajo, con una potencia superior a 20MW en cada una de ellas. Asimismo, es uno de los atractivos turísticos de la zona oriental del país.

Este tramo del río Torola está conectado con la masa de agua subterránea ESA-17. En régimen natural resultaría una zona ganadora; además, conviene resaltar que analizando el índice actual de explotación, la masa de agua se encuentra en buen estado.

El punto se encuentra dentro del área de conservación de Nahuaterique. En esta zona se pueden encontrar especies de alto valor en el país, como una población de nutria (*Lontra longicaudis*), puma (*Puma concolor*), garza tigre (*Tigrisoma mexicanum*) y martín pescador verde (*Chloroceryle amazona*). En cuanto a las especies piscícolas cabe destacar la presencia de burra/burrita (*Amatitlania nigrofasciata*), plateada (*Astyanax aeneus*), olomina (*Poecilia gillii*), guapote manchote (*Poeciliopsis pleurospilus*) y filín / juilín (*Rhamdia guatemalensis*) y false anguila (*Synbranchus marmoratus*). Dicha información es extraída del artículo “Checklist of the Inland Fishes of El Salvador” (McMahan, y otros, 2013).

Al ser un río fronterizo, no se pueden aprovechar a fondo las posibilidades de regulación y explotación multiuso del Torola por falta de acuerdo entre El Salvador y Honduras.

Tramo I-16: Tramo bajo del Río Lempa

El tramo bajo del río Lempa hace frontera entre dos de las áreas de conservación del país: Jaltepeque - Bajo Lempa y Bahía de Jiquilisco. Ambas áreas de conservación también se encuentran catalogadas como sitios Ramsar. El tramo

se encuentra ubicado en la parte baja del río Lempa, a la altura de la estación hidrométrica de San Marcos, dividiendo geográficamente a los departamentos de San Vicente y Usulután, pertenecientes a los departamentos de Tecoluca y Jiquilisco respectivamente. Las coordenadas del punto de estudio son $x= 532324.402$ e $y= 255773.377$.

El complejo Jaltepeque constituye el segundo bosque salobre más importante del país. Este lugar ha adquirido una enorme importancia debido a los servicios ecosistémicos que ofrece como la pesca, la agricultura y el turismo, pero una de las funciones más importantes es el bosque de mangle, que sirve como barrera de protección natural ante los efectos del cambio climático.

Debido a su dinámica entre agua dulce y salada alberga una rica diversidad de especies de fauna y flora. Entre estas se cuentan: 34 especies de reptiles, 98 de peces y 206 especies de aves lo que representa el 38% de las 543 especies de aves de las que se tiene registro en el país.

Los principales usos que se encuentran el tramo son:

- Agrícola: presencia de un alto número de pozos excavados y algún otro perforado, todos ellos explotando aguas subterráneas con fines agrícolas. Además, el punto de estudio está ubicado unos kilómetros aguas arriba de la UDA Bajo Lempa que constituye un porcentaje muy bajo respecto al caudal medio anual en régimen natural.
- Turismo, al ser zona costera.
- Pesca y acuicultura

Las principales especies piscícolas nativas a preservar en el tramo de estudio son el bagre cuatete (*Ariopsis guatemalensis*), la guavina (*Gobiomorus maculatus*), cuatro ojos (*Anableps dowei*), guapote del Pacífico (*Poeciliopsis turrubarensis*); a estas se suman otras especies con mayor tolerancia a la salinidad como son la corvina, el jurel, la mojarra, el pargo, la sardina, el róbalo, ruco y sambo (McMahan, y otros, 2013).

El tramo en sí, no queda comprendido dentro de ninguna de las áreas prioritarias de intervención. Pese a ello, el régimen de caudales del bajo Lempa tiene una influencia directa sobre el estero Jaltepeque y sobre la bahía de Jiquilisco, siendo ambas áreas definidas como prioritarias dentro del Programa de Gobernabilidad y Planificación de la Gestión del Recurso Hídrico.

El mantenimiento de un régimen de caudal ecológico en el tramo bajo del río Lempa influye directamente en la conservación de los manglares y de las distintas poblaciones de fauna del estero de Jaltepeque, así como de las pesquerías ubicadas en el Pacífico, a la altura de la desembocadura. De ahí la importancia de la consideración de este tramo.

7.1.2. Zona Hidrográfica II: Paz – Jaltepeque

Tramo II-03: Río El Naranjo

El drenaje del río El Naranjo se origina en el macizo montañoso Tacuba - Apaneca. El punto de estudio se encuentra ubicado en la parte baja del río, próximo a la planicie costera, constituida por materiales gruesos de fácil infiltración de agua. Posteriormente, el agua surge en las zonas bajas formando los pantanos y zanjones. Desemboca en el estero canal barra de Santiago. La zona costera sufre de inundaciones durante la época lluviosa debido a la falta de un efectivo sistema de drenaje. El río no tiene salida directa al mar, sino que pasa por zonas pantanosas y estuarinas, en donde el agua queda estancada.



El punto de estudio se encuentra ubicado en el municipio de Jujutla, perteneciente al departamento de Ahuachapán, y sus coordenadas son $x= 396683.005$ e $y= 285150.427$.

El principal uso en la cuenca es el agrícola. La UDA El Naranjo 01 constituye un alto porcentaje respecto al caudal medio anual en régimen natural.

El tramo queda comprendido dentro del área de conservación El Imposible – Barra de Santiago, justo antes del área natural protegida de Barra de Santiago. Además, actualmente, la zona Barra de Santiago se encuentra en trámites para la declaración del lugar como sitio Ramsar. El área, contiene especies de flora y fauna que se encuentra amenazada y en peligro de extinción a nivel local.

Con respecto a la flora destaca por su manglar, zona de transición bosque salado – bosque duce, helechos gigantes acuáticos. Además, en este sitio habitan el caimán y el cocodrilo, la lora nuca amarilla (en peligro de extinción), la iguana verde y la cotorra frente blanca (amenazada en extinción).

En cuanto a las especies piscícolas nativas de aguas continentales. En este tramo se sabe de la presencia de plateada (*Astyanax aeneus*), róbalo (*Centropomus armatus*), sambo (*Dormitator latifrons*), guavina (*Gobiomorus maculatus*) y gobio cola de palma (*Gobionellus microdon*). Dicha información es extraída del artículo “*Checklist of the Inland Fishes of El Salvador*”, elaborado por McMahan y otros durante el 2013. En dicho artículo se establece un listado de peces continentales en El Salvador a nivel de cuenca y departamento.

Se tiene presencia de la especie nativa machorra o pez lagarto (*Atractosteus tropicus*), única especie piscícola de agua continental que se encuentra “En peligro” según la lista oficial de especies de vida silvestre amenazada o en peligro de extinción (MARN, 2009).

El río El Naranjo presenta conexión con la masa de agua subterránea ESA-01. En régimen natural resultaría un tramo perdedor; además, conviene resaltar que analizando el índice actual de explotación, la masa de agua se encuentra en mal estado, destacando la presencia de intrusión salina y descenso de los niveles piezométricos.

El tramo se encuentra dentro de la zona prioritaria de intervención Cara Sucia – San Pedro, definida dentro del Programa de Gobernabilidad y Planificación de la Gestión del Recurso Hídrico.

El régimen de caudales de la parte baja del río El Naranjo tiene una influencia directa sobre el área natural protegida Barra de Santiago. Por tanto, el mantenimiento de un régimen de caudal ecológico en el tramo bajo del río influye directamente en la conservación de los manglares y de las distintas poblaciones de fauna presente. De ahí la importancia de la consideración de este tramo.

Tramo II-04: Sonsonate 01

La subcuenca del río Sensunapán pertenece a la región hidrográfica de “Grande Sonsonate – Banderas”. Dicha subcuenca se encuentra dentro del departamento de Sonsonate.

El punto seleccionado está ubicado en la parte alta del río Grande Sonsonate, concretamente justo aguas arriba de la confluencia en el mismo del río Las Monjas por su margen izquierda, antes de la entrada del río en la localidad de Sonsonate. El municipio donde se encuentra el punto es Nahuizalco, perteneciente al departamento de Sonsonate, y sus coordenadas son $x= 422765.692$ e $y= 292820.401$.

Los principales usos en la cuenca:

- Agrícolas: Presencia de una Unidad de Demanda Agrícola cuyas demandas constituyen un porcentaje elevado respecto al caudal medio anual en régimen natural.
- Ganadería: Presencia de ganado, principalmente bovino y porcino, en la parte media-baja de la cuenca.
- Hidroeléctrico: En la parte alta del río existe un tramo el cual es frenado por seis presas pertenecientes a diferentes centrales hidroeléctricas. Las represas hidroeléctricas en operación que se encuentran en la subcuenca Grande de Sonsonate son (de aguas arriba a aguas abajo):
 - ✓ C.H. Papaloate
 - ✓ C.H. La Calera
 - ✓ C.H. Nahuizalco
 - ✓ C.H. Cucumacayán.
 - ✓ C.H. Bululú.
 - ✓ C.H. Sonsonate.

Los proyectos en desarrollo en la subcuenca de Sonsonate son:

- ✓ C.H. Juayúa (aprobada recientemente).
- ✓ C.H. San Francisco (en trámite).
- ✓ C.H. Nahuizalco II (en evaluación).

El punto de estudio está ubicado aguas abajo de la central hidroeléctrica de Cucumacayán.

- Industrial: actividad industrial en el municipio de Sonsonate y sus proximidades. Conviene destacar la presencia de una industria papelera. Demanda de agua superficial para uso industrial, cuya cantidad constituyendo un 4% del caudal medio anual.
- Cabe mencionar que la mayoría de los poblados próximos al río (12,000 habitantes aprox.), utilizan sus aguas para lavar, pescar y recrearse. Para estas comunidades, la presa representa la privación del acceso al agua. Los impactos socioambientales deben ser tenidos en cuenta.

La zona alta del río Sonsonate coincide con la zona de transición de la reserva de la biosfera Apaneca-Illamatepec.

Las especies piscícolas a preservar de esta zona son: burra/burrita (*Amatillania nigrofasciata*), gobio del río (*Awaous banana*), guavina manchada (*Eleotris picta*), chupapiedra (*Gobiesox potamius*), guavina (*Gobiomorus maculatus*), topote de Ilopango (*Poecilia marcellino*), topote de El Salvador (*Poecilia salvatoris*), guapote manchote (*Poeciliopsis pleurospilus*) y dormilón pecoso (*Sicydium multipunctatum*) (McMahan, y otros, 2013).

A la altura de este punto de estudio en el río Sensunapán presenta conexión con la masa de agua subterránea ESA-02. En régimen natural resultaría un tramo ganador; sin embargo conviene resaltar que analizando el índice actual de explotación, la masa de agua se encuentra en mal estado.

Este tramo se encuentra dentro de la zona prioritaria de intervención Grande Sonsonate-Banderas, definida dentro del Programa de Gobernabilidad y Planificación de la Gestión del Recurso Hídrico.

El río está fuertemente antropizado en su parte alta por la presencia de centrales hidroeléctricas y de unidades de demanda agrícolas. De ahí la importancia de llevar a cabo un estudio de caudales ecológicos en la zona, ante los posibles futuros conflictos que puedan surgir entre los usos.

Tramo II-08: San Antonio

El río San Antonio discurre por la cuenca del Jute. Su nacimiento tiene lugar en las inmediaciones del núcleo urbano de Nuevo Cuscatlán. La longitud aproximada es de 20 km. El cauce tiene en la zona alta y media, secciones transversales con una marcada forma de V, con paredes verticales en muchos puntos, que se mantienen casi hasta llegar a la desembocadura (Barberà Compte, 2007).

El punto de estudio se ubica en el departamento de La Libertad, concretamente en el municipio del mismo nombre, previo a la entrada del río San Antonio en el estero de San Diego. Las coordenadas del punto son $x= 468712.443$ e $y= 263998.583$.

Uno de los principales problemas encontrados en esta cuenca son los episodios de inundaciones en la parte media y baja de la cuenca, producto del crecimiento urbanístico en la parte alta de la cuenca, lo que ha reducido la capacidad de retención de agua del suelo.

Presenta un alto grado de actividad industrial, aunque prácticamente la totalidad de estas demandas son de aguas subterráneas. Por otro lado, en la desembocadura al estero existe una zona de extracción minera.

El tramo se encuentra dentro del área de conservación Costa del Bálsamo y en el área natural protegida El Bálsamo. El régimen de caudales ecológicos tiene un efecto directo sobre el estero de San Diego aguas abajo y sus ecosistemas asociados.

Las especies piscícolas a preservar de esta zona son: temepechin (*Agonostomus monticola*), gobio del río (*Awaous banana*), guavina manchada (*Eleotris picta*), chupapiedra (*Gobiesox potamius*), guavina (*Gobiomorus maculatus*), topote de Ilopango (*Poecilia marcellino*), guapote manchote (*Poeciliopsis pleurospilus*) y dormilón pecoso (*Sicydium multipunctatum*) (McMahan, y otros, 2013).

La conservación de los manglares en el estero de San Diego es uno de los principales objetivos ambientales que se persigue. Dicha conservación mantiene una estrecha relación con los caudales circulantes que llegan al estero, de ahí la importancia de un manejo adecuado.

Tramo II-11: Río Acomunca

El río Acomunca se encuentra ubicado en la región hidrográfica Jiboa / Estero de Jaltepeque. El punto de estudio queda comprendido en el municipio de Zacatecoluca, dentro del departamento de La Paz, en la parte alta del río Acomunca. Las coordenadas específicas son $x= 512195.966$ e $y= 252585.309$.

Destacar que este tramo se encuentra dentro de la zona prioritaria de intervención Estero Jaltepeque, definida dentro del Programa de Gobernabilidad y Planificación de la Gestión del Recurso Hídrico.

En cuanto a los factores antrópicos presentes en el tramo, el principal uso que se encuentra en esta zona es el agrícola, con la presencia de una unidad de demanda agrícola (UDA-Acomunca01).

A la altura de este punto de estudio, el río Acomunca presenta conexión con la masa de agua subterránea ESA-07, la cual en régimen natural es tramo ganador.

Una de las principales amenazas en los ecosistemas acuáticos continentales son las importantes poblaciones de tilapia y guapote tigre, especies exóticas, ambas utilizadas con fines alimenticios.

Aguas abajo del tramo se encuentra el ANP Jaltepeque-Bajo Lempa; es una completa masa boscosa densa y semidensa en la cuenca baja del río Lempa, con especies arbóreas adaptadas a la inundación estacional, con altos



niveles de riqueza de especies acuáticas y semiacuáticas de ambientes salobres y de agua dulce. El régimen de caudales en el tramo bajo tiene una influencia en el estado de conservación de los manglares y de las distintas poblaciones de fauna presente. De ahí la importancia de conservación de esta zona de estudio.

7.1.3. Zona Hidrográfica III: Jiquilisco-Goascorán.

Tramo III-02: Subcuenca Grande San de Miguel: Río San Antonio

El río San Antonio, perteneciente a la subcuenca de Grande San Miguel, nace en el departamento de La Unión, de la confluencia de los ríos El Mono y Chiquito. Su desembocadura se encuentra en la laguna de Olomega. Una porción sirve de límite geográfico entre los municipios de La Unión al sur y San Miguel al norte. Las coordenadas específicas del punto de estudio son $x= 603504.872$ e $y= 249848.13$.

De los factores antrópicos, el principal uso lo constituye la agricultura. En las proximidades al punto de estudio existe una unidad de demanda agrícola (UDA San Antonio 01).

En cuanto a los factores de conservación, el punto se encuentra en el área de conservación Tecapa – San Miguel, así como en el ANP de La Chiricana. A su vez, el punto de estudios está comprendido dentro del sitio Ramsar Olomega.

Destacar que este tramo se encuentra dentro de la zona prioritaria de intervención Granda San Miguel, definida dentro del Programa de Gobernabilidad y Planificación de la Gestión del Recurso Hídrico.

A la altura de este punto de estudio, el río San Antonio presenta conexión con la masa de agua subterránea ESA-15, la cual en régimen natural es tramo ganador.

Las principales especies piscícolas presentes en esta zona son: cuatro ojos (*Anableps dowei*), sambo (*Dormitator latifrons*), botete diana (*Sphoeroides annulatus*) y falsa anguila (*Synbranchus marmoratus*) (McMahan, y otros, 2013).

La selección del tramo de estudio viene justificada por su valor ecológico, el cual se encuentra comprendido en el área de conservación Tecapa –San Miguel. Además, el régimen de caudales de este tramo tiene influencia directa sobre las lagunas de Olomega y El Jocotal, ambas catalogadas como sitios Ramsar.

7.2. DETERMINACIÓN DE OBJETIVOS PARA LA GESTIÓN

No hay un único conjunto correcto de caudales ecológicos para un río. La extracción de agua tiene siempre la probabilidad de repercutir en la ecología del río. Las preguntas que hay que plantearse son cuánta repercusión es aceptable y qué objetivos buscamos con la gestión de los ríos (O’Keeffe & Le Quesne, 2010). Por tanto, determinar los objetivos de la gestión de los ríos, como ya se ha comentado previamente, es un requisito fundamental para la evaluación de los caudales ecológicos.

Partiendo de la información analizada en el apartado 7.1. Identificación y justificación de tramos prioritarios de estudio, donde se analizaban por un lado las afecciones antrópicas y por otro los aspectos relacionados con la conservación, se ha elaborado una relación de objetivos de gestión a través de la mejora “ambiental” del régimen de caudales por tramo de estudio:

Tabla 7. Objetivos de gestión a través de la mejora en el régimen ambiental de caudales en los puntos de estudio de caudales ecológicos.

OBJETIVOS DE GESTIÓN			
Cód.	Nombre	Región Hidrográfica	Objetivos de gestión
I-01	Cimarrón- Alto Lempa	Lempa	Abastecer necesidades de la comunidad a través de la futura presa multiusos de la CH El Cimarrón. Conservación de los valores culturales y paisajísticos de la zona.
I-02	Guajoyo-Desagüe	Lempa	Abastecer necesidades de la comunidad a través de la presa de la CH de Metapán. Conservación de los remanentes de bosques naturales y otras especies únicas, endémicas y amenazadas existentes en la zona.
I-04	Las Pavas - Lempa	Lempa	Abastecer al Área Metropolitana de El Salvador a través de la potabilizadora de Las Pavas, donde está previsto un ampliamiento. Abastecer la UDA de Atiococho N.
I-07	Río Sucio-02	Lempa	Abastecer la UDA Sucio 02 y abastecer de energía mediante la pequeña CH ubicada aguas abajo. Minimizar los riesgos para la salud.
I-08	Jayuca	Lempa	Abastecer la UDA Jayuca, la producción acuícola y la potencial CH con capacidad superior a 20MW.
I-09	Metayate	Lempa	Abastecer la actividad acuícola. Mejorar el índice actual de explotación del agua subterránea ESA-06 con la que conecta el tramo. Conservar la biodiversidad natural presente en el sitio Ramsar Cerrón Grande. Conservar la buena calidad del agua y seguir cumpliendo con las normas de la OMS para aguas de recreación. Conservar el atractivo turístico de la zona.
I-14	Río Torola	Lempa	Abastecer las necesidades de las futuras CH mayores de 20 MW. Conservar la biodiversidad natural del área de conservación Nahuaterique. Conservar el atractivo turístico de la zona.
I-16	Tramo bajo Lempa	Lempa	Conservar los boques de manglares del estero de Jaltepeque así como los servicios ecosistémicos (pesca agricultura y turismo). Mantener una actividad acuícola y pesquera de subsistencia. Impedir la intrusión salina debido a la explotación de pozos.
II-03	El Naranjo	Cara Sucia-San Pedro Belén	Abastecer la UDA. Conservar la biodiversidad natural del área de conservación El Imposible-Barra de Santiago como manglares y especies en peligro y amenazadas. Conseguir la declaración de El Imposible-Barra de Santiago como sitio Ramsar que actualmente se está tramitando. Mantener los niveles piezométricos necesarios para evitar la intrusión salina en tierras agrícolas y en los depósitos de aguas subterráneas. Conservar la especie piscícola nativa machorra (<i>Atractosteus tropicus</i>)
II-04	Sonsonate 01	Grande de Sonsonate - Banderas	Abastecer la UDA, la demanda ganadera e industrial. Mantener la conectividad fluvial entre las pequeñas CH. Abastecer las necesidades de las comunidades como lavar, pescar y recrearse.
II-08	San Antonio	Mandinga-Comalapa	Conservación de los manglares del estero de San Diego. Conservar los valores paisajísticos del estero de San Diego y del área de conservación Costa del Bálsamo.
II-11	Acomunca	Jiboa / Estero Jaltepeque	Conservar los altos niveles de riqueza de especies acuáticas y semiacuáticas de ambientes salobres y de agua dulce del ANP Jaltepeque-Bajo Lempa. Conservar los ecosistemas acuáticos continentales de las especies exóticas utilizadas con fines alimenticios. Abastecer la UDA Acomunca01.
III-02	San Antonio	Grande de San Miguel	Conservar los valores ecológicos y paisajísticos del ANP La Chiricana y del sitio Ramsar Olomega.

De cara a facilitar la interpretación de los distintos resultados obtenidos mediante las distintas metodologías y realizar una primera propuesta de régimen de caudales mínimos en cada uno de los tramos propuestos, se propone un sistema de clasificación en función de los objetivos analizados en la tabla anterior, de manera similar a la clasificación establecida por (King, Tharme, & De Villers, 2000). Como ya se ha mencionado previamente, todos estos objetivos han de promoverse a través de la mejora ambiental del régimen de caudales, ya que es lo que permite garantizar los objetivos planteados en cada tramo. La clasificación propuesta es la siguiente:

- **OBJETIVOS TIPO 1. Conservación de la biodiversidad natural, la calidad de las aguas y los valores culturales y paisajísticos.** Objetivo perseguido por aquellos tramos comprendidos dentro de alguna figura de protección (Área Natural Protegida, sitio RAMSAR, Reserva de la Biosfera, etc.), con presencia de especies piscícolas endémicas sensibles y/o conexión con masas de agua subterránea en buen estado. Las afecciones antrópicas en ellos son muy bajas. La evaluación del régimen de caudales mínimos en estos tramos ha de ser más restrictiva debido al alto grado de valor ambiental que presentan.
- **OBJETIVOS TIPO 2. Abastecer las necesidades de la comunidad y minimizar los riesgos para la salud:** Objetivo perseguido por aquellos tramos que presentan un alto grado de afecciones antrópicas (demandas para abastecimiento, industria y agricultura, producción acuícola, presencia de centrales hidroeléctricas y de grandes regulaciones, zonas de interés minero y/o conexión con masas de agua subterráneas en mal estado). Son tramos próximos a zonas urbanas. La evaluación del régimen de caudales mínimos en estos tramos generalmente es menos restrictiva debido al alto grado de afección que presentan.
- **OBJETIVOS TIPO 3. Abastecer las necesidades de la comunidad sin comprometer la disponibilidad aguas abajo, la salud ambiental o los bienes y servicios naturales.** Es una combinación de los dos objetivos anteriores. Objetivo perseguido por aquellos tramos donde las afecciones antrópicas y los valores ambientales están equilibrados. Se propone que la evaluación del régimen de caudales mínimos en estos tramos se mantenga en un punto intermedio a los dos casos anteriores, atendiendo a las distintas necesidades.

Atendiendo a esta propuesta de clasificación de objetivos, en la Tabla 9 se identifica el tipo de objetivo por tramo de estudio.

Tabla 8. Identificación del tipo de objetivo de gestión por tramo de estudio.

CLASIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE GESTIÓN			
Cód.	Nombre	Región Hidrográfica	Objetivo tipo
I-01	Cimarrón- Alto Lempa	Lempa	3
I-02	Guajoyo-Desagüe	Lempa	3
I-04	Las Pavas - Lempa	Lempa	2
I-07	Río Sucio-02	Lempa	2
I-08	Jayuca	Lempa	2
I-09	Metayate	Lempa	3
I-14	Río Torola	Lempa	3
I-16	Tramo bajo Lempa	Lempa	1
II-03	El Naranjo	Cara Sucia-San Pedro Belén	3

CLASIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE GESTIÓN			
Cód.	Nombre	Región Hidrográfica	Objetivo tipo
II-04	Sonsonate 01	Grande de Sonsonate - Banderas	2
II-08	San Antonio	Mandinga-Comalapa	1
II-11	Acomunca	Jiboa / Estero Jaltepeque	1
III-02	San Antonio	Grande de San Miguel	1

7.3. RESULTADOS DE RÉGIMEN DE CAUDAL MÍNIMO

A continuación se exponen los resultados obtenidos en cada uno de los tramos prioritarios mediante los métodos hidrológicos planteados en el apartado de metodología. Para llevar a cabo una propuesta hay que valorar previamente tanto la alteración hidrológica de los tramos como el proceso de participación con la intervención de los distintos actores donde se valorará la afección de la implementación sobre los usos presentes en cada tramo.

Esta propuesta del régimen de caudal mínimo ha de realizarse atendiendo a una valoración ecológica u objetivo de preservación. Bajo el criterio de experto se establece el régimen siendo más exigentes en aquellos tramos con un alto valor ecológico y menos exigentes en aquellos más afectados y/o alterados por la acción del hombre (calidad, explotación del recurso, infraestructuras de regulación, etc.).

De manera generalizada, los resultados muestran como en la mayoría de los tramos, el régimen de caudales mínimos durante la época seca, obtenido mediante los distintos métodos hidrológicos, es prácticamente igual, siendo el método del 30% del QMM el que presenta valores más bajos o menos restrictivos en el periodo comprendido entre noviembre y mayo. En cuanto al régimen durante la época húmeda hay más disparidad entre resultados. Se puede generalizar que el método NGPRP, que describe las condiciones hidrológicas de cada mes, es el más restrictivo, proporcionando unos resultados de régimen de caudal mínimo durante la época húmeda considerablemente mayores que los obtenidos con los métodos de Tessman, Tennant o 30% del QMA, principalmente en el mes de septiembre que coincide con el mes más lluvioso.

En las gráficas y tablas de resultados de cada uno de los puntos de estudio, también se han representado los percentiles 33 y 67 en régimen natural, para posteriormente, una vez se disponga de los datos circulantes definitivos, calcular el factor de alteración hidrológica. Pero conviene destacar que estos percentiles no son utilizados como método para la estimación de los caudales mínimos, sino para analizar la alteración hidrológica.

Finalmente se hace una **propuesta de mantenimiento de un rango de caudales ecológicos** con distribución mensual en cada uno de los tramos de estudio, en función de los resultados obtenidos a partir de las distintas metodologías hidrológicas y del tipo de objetivo perseguido en el cada tramo. Concretamente se han seleccionado de la siguiente manera:

- Tramos que persiguen el OBJETIVO TIPO 1, correspondiente a la conservación de la biodiversidad natural, la calidad de las aguas y los valores culturales y paisajísticos: de los cuatro resultados obtenidos para cada mes, se establece el rango con los dos valores más elevados o restrictivos.



- Tramos que persiguen el OBJETIVOS TIPO 2, correspondiente a abastecer las necesidades de la comunidad y minimizar los riesgos para la salud: de los cuatro resultados obtenidos para cada mes, se establece un rango a partir de los dos valores más bajos o menos restrictivos.
- Tramos que persiguen el OBJETIVOS TIPO 3, correspondiente a abastecer las necesidades de la comunidad sin comprometer la disponibilidad aguas abajo, la salud ambiental o los bienes y servicios naturales: de los cuatro resultados obtenidos para cada mes, se establece el rango con los dos valores intermedios.

Esta primera propuesta se establece para preparar el camino de cara a la discusión pública de los valores obtenidos. A su vez, en el Anexo 04. *Asignación y Reserva de recursos para usos y demandas actuales y futuras* se han establecido los criterios de garantía y se han evaluado como demandas ambientales los caudales ecológicos aquí definidos.

Por otro lado, una vez consensuados los rangos, de cara a la fase de explotación puede interesar la agrupación de meses en torno a un valor en caso de que los valores ecológicos mensuales sean similares.

7.3.1. Zona hidrográfica I: Río Lempa

Tramo I-01: Cimarrón – Alto Lempa

En la Figura 5 se puede observar la serie en régimen natural del tramo de estudio a partir de la cual se han aplicado los métodos hidrológicos. Puede apreciarse a nivel mensual como los eventos de mayor caudal coinciden con meses de octubre y septiembre de los años 2011, 1989 y 1978. En la gráfica de caudales medios mensuales puede apreciarse como el mes más húmedo es septiembre y los más secos corresponden a los meses de marzo y abril.

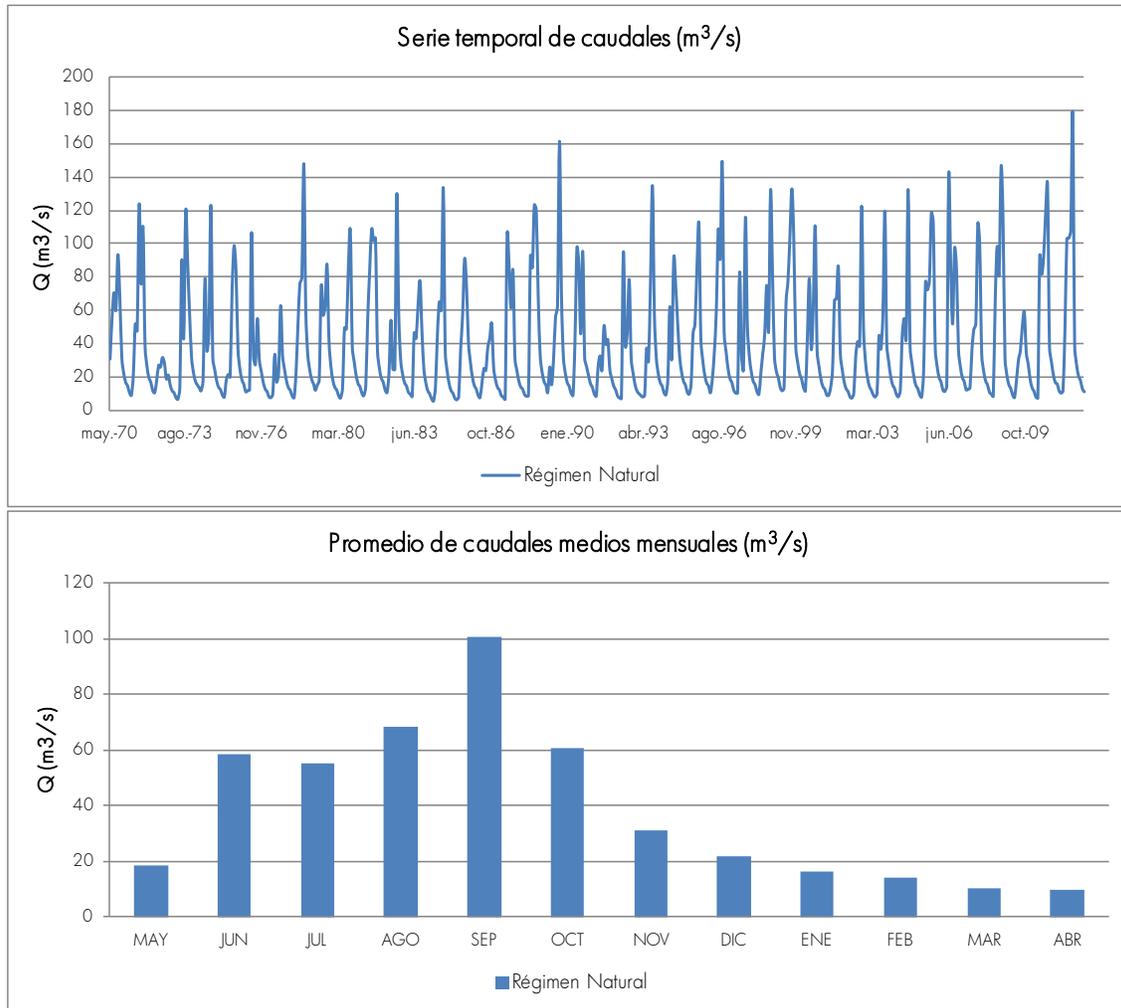


Figura 5. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo I-01 Cimarrón en el Alto Lempa.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural se construye la curva de caudales clasificados, que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río (Figura 6).

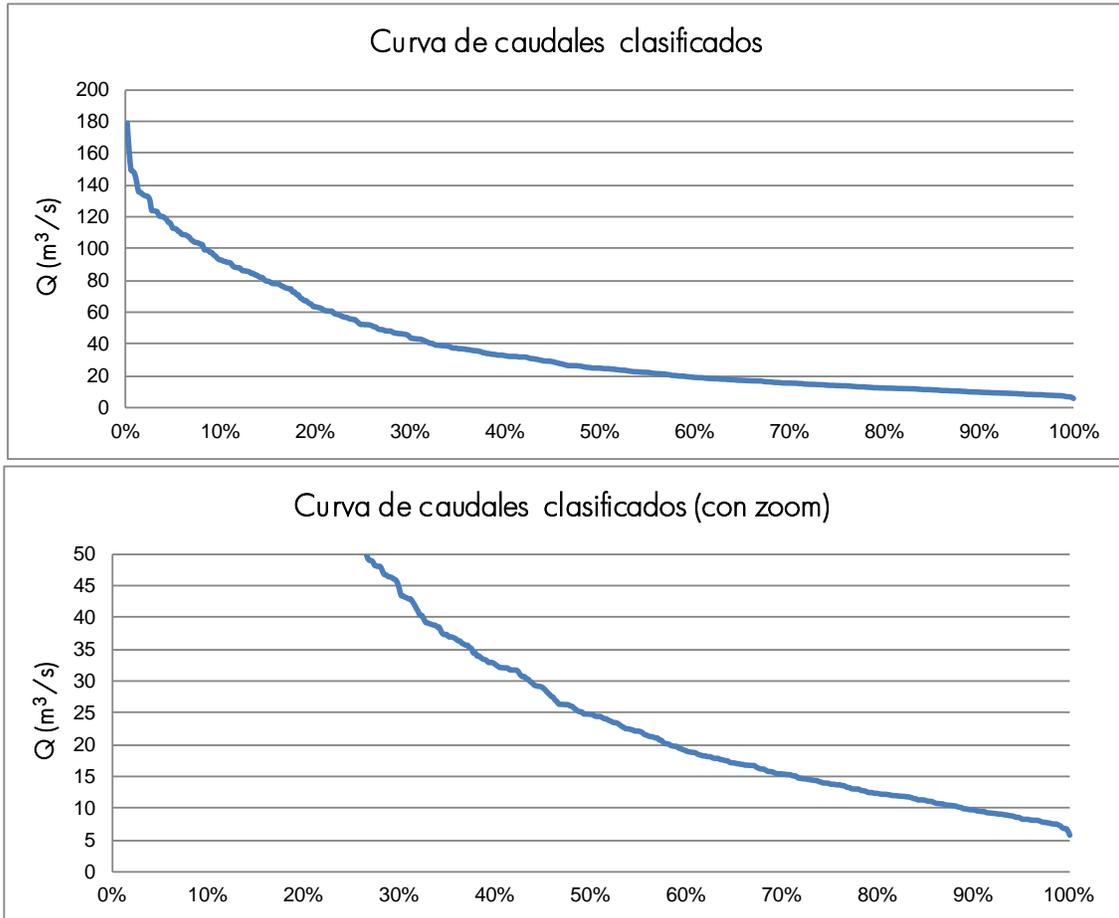


Figura 6. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-01 Cimarrón – Alto Lempa.

En cuanto a los resultados del régimen de caudales mínimos obtenido mediante cada uno de los métodos hidrológicos, en la Tabla 9 se muestra un resumen de los mismos.

Tabla 9. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el punto I-01 Cimarrón – Alto Lempa.

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
NGPRP	14.39	50.72	48.41	62.14	100.52	47.72	24.53	17.88	13.78	12.01	8.81	7.68
	77%	87%	88%	91%	100%	79%	78%	83%	85%	85%	85%	77%
Tessman	15.51	23.45	21.97	27.29	40.31	24.25	15.51	15.51	15.51	14.07	10.38	9.94
	83%	40%	40%	40%	40%	40%	50%	72%	95%	100%	100%	100%
30%QMM	5.58	17.58	16.48	20.47	30.23	18.19	9.37	6.48	4.88	4.22	3.11	2.98
	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Tennant (30-50%QMA)*	19.39	19.39	19.39	19.39	19.39	19.39	11.63	11.63	11.63	11.63	11.63	11.63
	104%	33%	35%	28%	19%	32%	37%	54%	71%	83%	112%	117%
P33%	12.41	43.53	36.95	51.81	85.82	38.99	26.34	19.19	14.51	12.58	9.26	8.09
	67%	74%	67%	76%	85%	64%	84%	89%	89%	89%	89%	81%
P67%	18.12	65.02	65.40	78.29	119.03	58.97	32.23	22.93	17.43	15.26	11.09	9.98
	97%	111%	119%	115%	118%	97%	103%	106%	107%	108%	107%	100%

*30% del QMA entre los meses de noviembre a abril y 50% del QMA entre los meses de mayo a octubre.

En la Figura 7 se aprecia como de las cuatro metodologías desarrolladas, la de NGPRP es la más restrictiva durante los meses comprendidos entre junio y noviembre, con valores próximos a los caudales medios mensuales de la serie. En esta misma época, los rangos establecidos por los valores de Tennant y por el 30% del QMM son los más bajos además de los más alejados respecto a los caudales medios mensuales. Durante los meses secos entre enero y mayo, las metodologías coinciden en sus resultados a excepción de la metodología del 30% del QMM mediante la cual se obtienen los valores de caudales mínimos más bajos. Por otro lado, el caudal obtenido mediante el método de Tennant durante el mes de septiembre es el más bajo, debido a que este método simplifica los resultados de régimen de caudales mínimos en periodo seco y periodo húmedo.

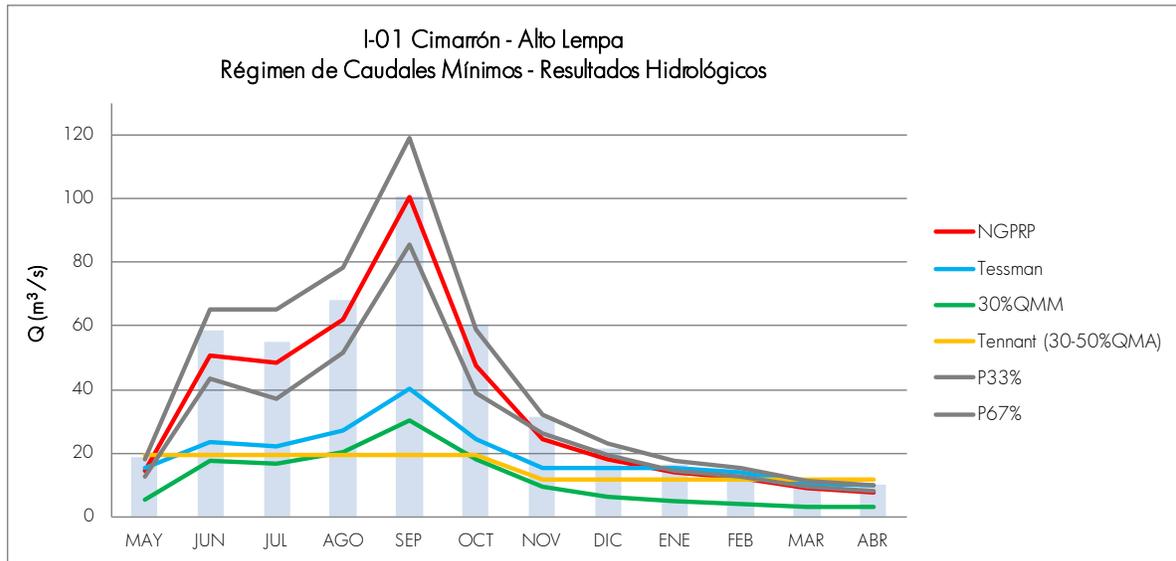


Figura 7. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m^3/s , mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo de I-01 Cimarrón – Alto Lempa. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.

A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el tramo I-01 Cimarrón Alto Lempa persigue los objetivos tipo III, es decir, mantener un caudal ambiental con el objetivo de abastecer las necesidades de la comunidad sin comprometer la disponibilidad aguas abajo, la salud ambiental o los bienes y servicios naturales, se proponen los siguientes rangos mensuales de caudales ecológicos, correspondientes a los dos valores intermedios de los cuatro resultados obtenidos. Estos valores propuestos deberán ser evaluados en la fase de participación y concertación junto con las garantías. En la tabla también se muestra el grado de cumplimiento que cada uno de estos valores propuestos supone respecto al régimen natural en el mes correspondiente.

Tabla 10. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m^3/s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-01 Cimarrón – Alto Lempa.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Rango Inferior Qeco (m^3/s)	14.4	19.4	19.4	20.5	30.2	19.4	11.6	11.6	11.6	11.6	8.8	7.7
% cumplimiento respecto al RN	52%	100%	98%	100%	98%	98%	100%	100%	100%	83%	81%	81%
Rango Superior Qeco (m^3/s)	15.5	23.4	22.0	27.3	40.3	24.3	15.5	15.5	13.8	12.0	10.4	9.9
% cumplimiento respecto al RN	45%	98%	95%	93%	95%	98%	100%	98%	81%	81%	50%	33%

Tramo I-02: Guajoyo - Río Desagüe

La serie en régimen natural del tramo de estudio a partir de la cual se han aplicado los métodos hidrológicos puede observarse en la Figura 8. Puede apreciarse a nivel mensual la existencia de un evento de caudal máximo en octubre del año 2011. En la gráfica de caudales medios mensuales se observa como el mes con mayor valor es septiembre seguido de agosto y octubre. Al igual que en el caso anterior del río Suquiapa, los meses con caudales medios mensuales más bajos son los de marzo y abril.

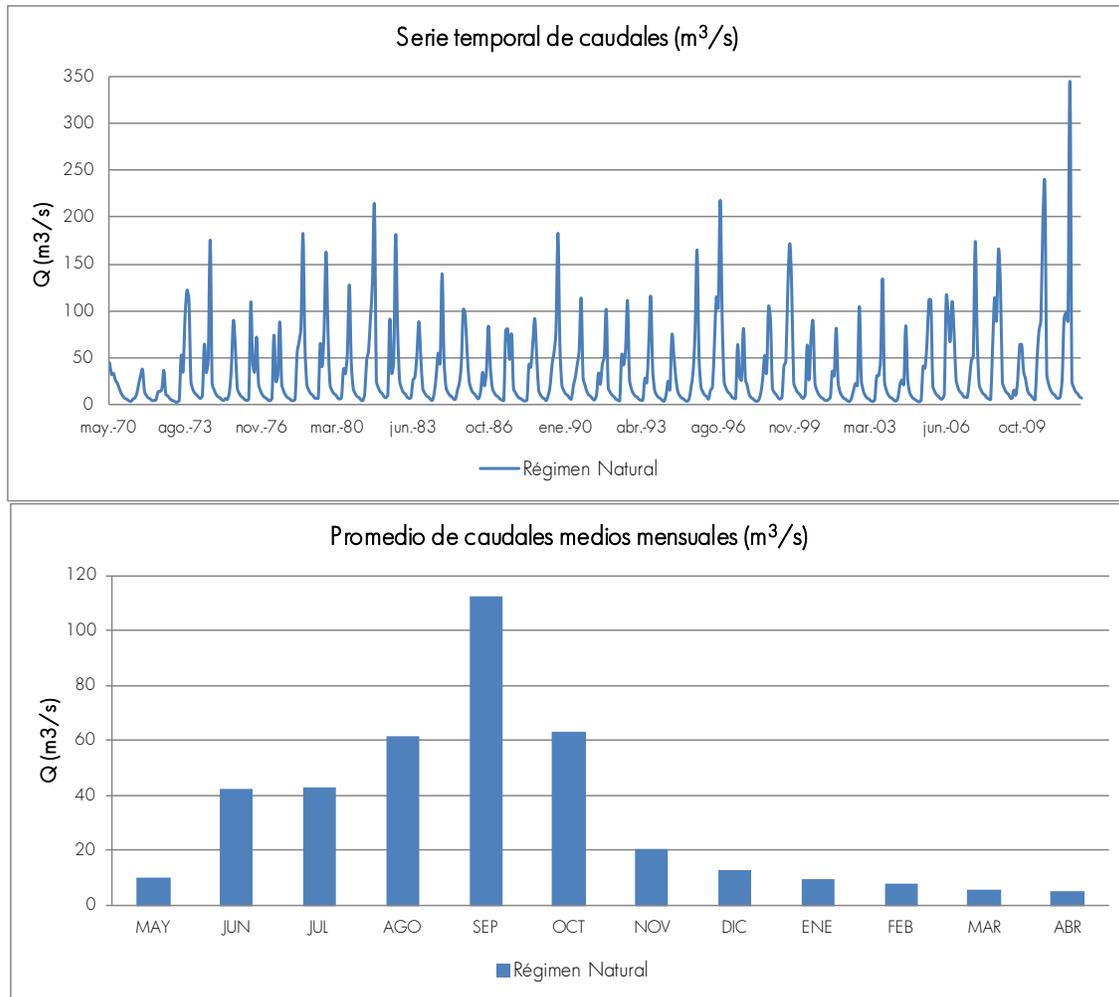


Figura 8. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo I-02 Guajoyo - Desagüe.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural se construye la curva de caudales clasificados, que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río (Figura 9):

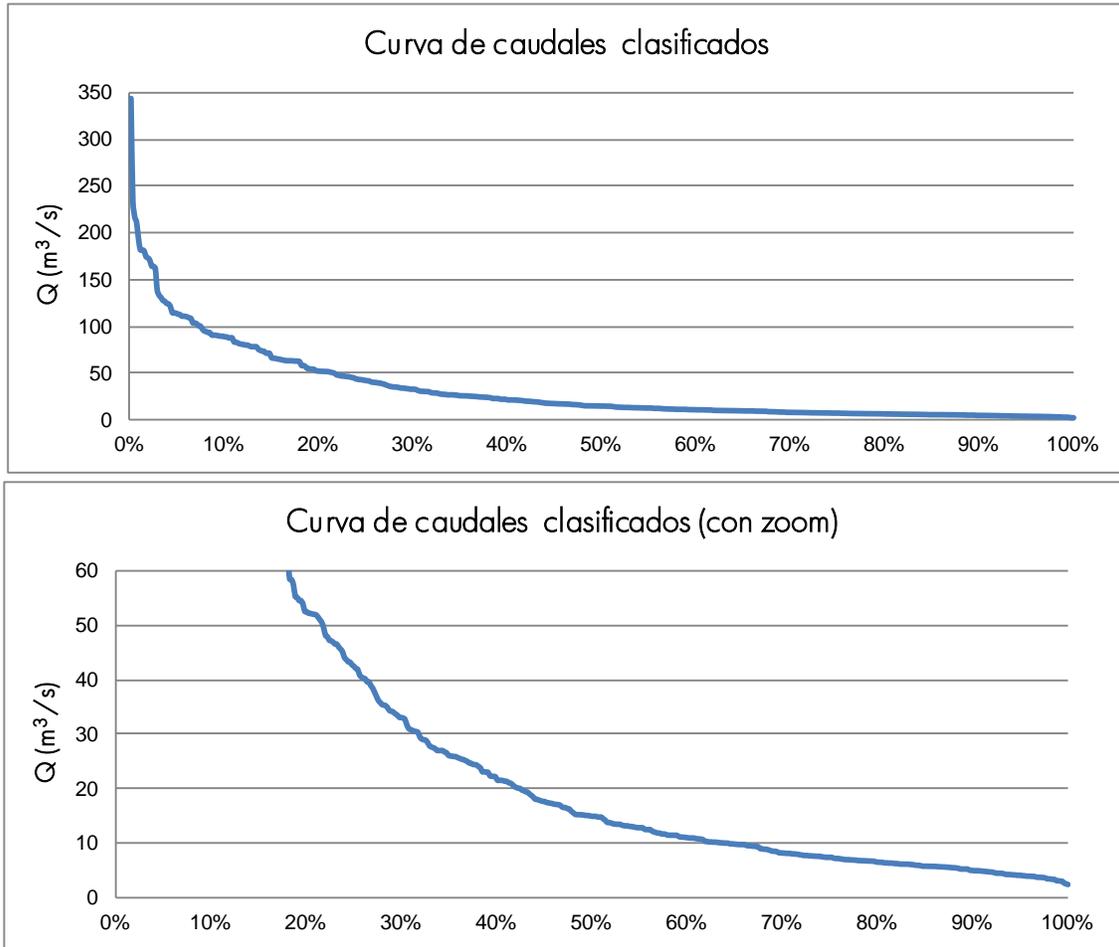


Figura 9. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-02 Guajoyo – Desagüe.

Los resultados del régimen de caudales mínimos obtenido mediante cada uno de los métodos hidrológicos se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-02 Guajoyo – Desagüe.

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
NGPRP	6.79	33.54	34.22	53.32	99.42	43.11	14.25	9.55	6.90	5.75	3.96	3.41
	66%	79%	80%	86%	89%	68%	70%	74%	73%	72%	70%	66%
Tessman	10.23	17.05	17.12	24.67	44.93	25.37	13.16	12.87	9.51	8.00	5.64	5.20
	100%	40%	40%	40%	40%	40%	64%	100%	100%	100%	100%	100%
30%QMM	3.07	12.79	12.84	18.51	33.70	19.03	6.13	3.86	2.85	2.40	1.69	1.56
	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Tennant (30-50%QMA)*	16.45	16.45	16.45	16.45	16.45	16.45	9.87	9.87	9.87	9.87	9.87	9.87
	161%	39%	38%	27%	15%	26%	48%	77%	104%	123%	175%	190%
P33%	5.75	26.50	28.80	45.31	87.23	28.34	15.19	10.28	7.53	6.35	4.46	4.02
	56%	62%	67%	73%	78%	45%	74%	80%	79%	79%	79%	77%
P67%	10.02	51.96	42.21	67.40	127.71	63.81	21.37	14.94	11.12	9.48	6.71	5.79
	98%	122%	99%	109%	114%	101%	105%	116%	117%	118%	119%	111%

*30% del QMA entre los meses de noviembre a abril y 50% del QMA entre los meses de mayo a octubre.

En la Figura 10 se aprecia como de las cuatro metodologías desarrolladas, la de NGPRP es la más restrictiva durante los meses comprendidos entre junio y octubre, siendo la que más se aproxima en estos meses a los caudales medios mensuales. Durante los meses más caudalosos comprendidos entre agosto y octubre, la metodología de Tennant es la que proporciona valores más bajos o menos restrictivos. El resto del año es la metodología del 30% del QMM mediante la que se obtiene estos caudales más bajos. Durante los meses comprendidos entre noviembre y mayo el resto de metodologías presentan resultados similares.

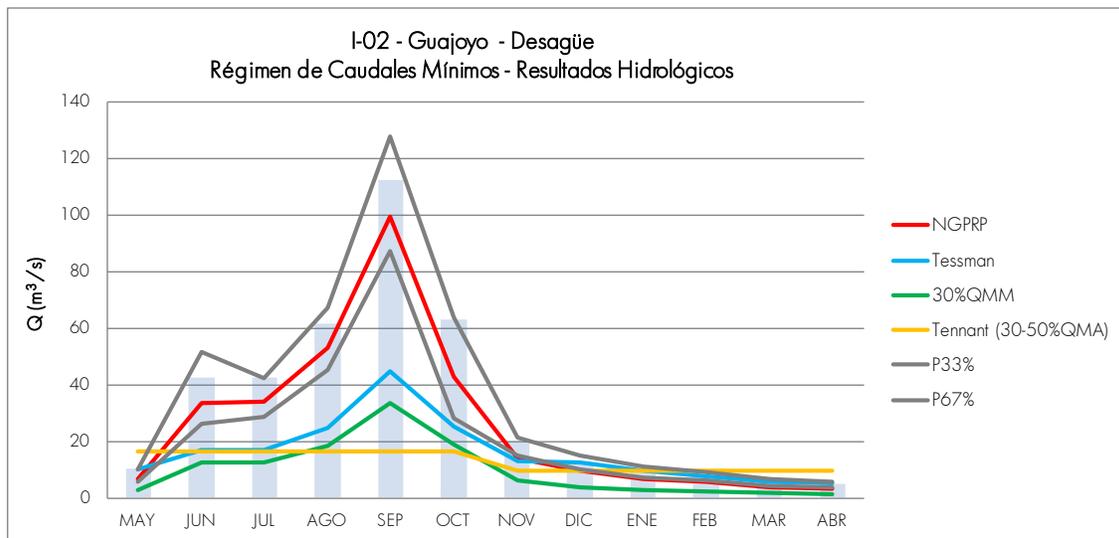


Figura 10. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-02 Guajoyo – Desagüe. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.



A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el tramo I-02 Guajoyo – Desagüe persigue los objetivos tipo III, es decir, mantener un caudal ambiental con el objetivo de abastecer las necesidades de la comunidad sin comprometer la disponibilidad aguas abajo, la salud ambiental o los bienes y servicios naturales, se proponen los siguientes rangos mensuales de caudales ecológicos, correspondientes a los dos valores intermedios de los cuatro resultados obtenidos. Estos valores propuestos deberán ser evaluados en la fase de participación y concertación junto con las garantías. En la tabla también se muestra el grado de cumplimiento que cada uno de estos valores propuestos supone respecto al régimen natural en el mes correspondiente.

Tabla 12. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m³/s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-02 Guajoyo – Desagüe.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Rango Inferior Qeco (m ³ /s)	6.8	16.4	16.4	18.5	33.7	19.0	9.9	3.9	6.9	5.7	4.0	3.4
% cumplimiento respecto al RN	52%	83%	90%	98%	95%	93%	98%	100%	81%	81%	81%	81%
Rango Superior Qeco (m ³ /s)	10.2	17.0	17.1	24.7	44.9	25.4	13.2	9.9	9.5	8.0	5.6	5.2
% cumplimiento respecto al RN	31%	83%	90%	90%	90%	79%	88%	81%	50%	50%	48%	45%

Tramo I-04: Las Pavas – Lempa

En la Figura 11 se puede observar la serie en régimen natural del tramo de estudio a partir de la cual se han aplicado los métodos hidrológicos. En la serie histórica puede apreciarse a nivel mensual la existencia de un evento de elevado caudal correspondiente a octubre de 2011. La gráfica de caudales medios mensuales indica claramente como el mes más húmedo es septiembre, seguido de agosto y octubre. En cuanto al mes con menor caudal a lo largo del año en promedio, es abril seguido de marzo.

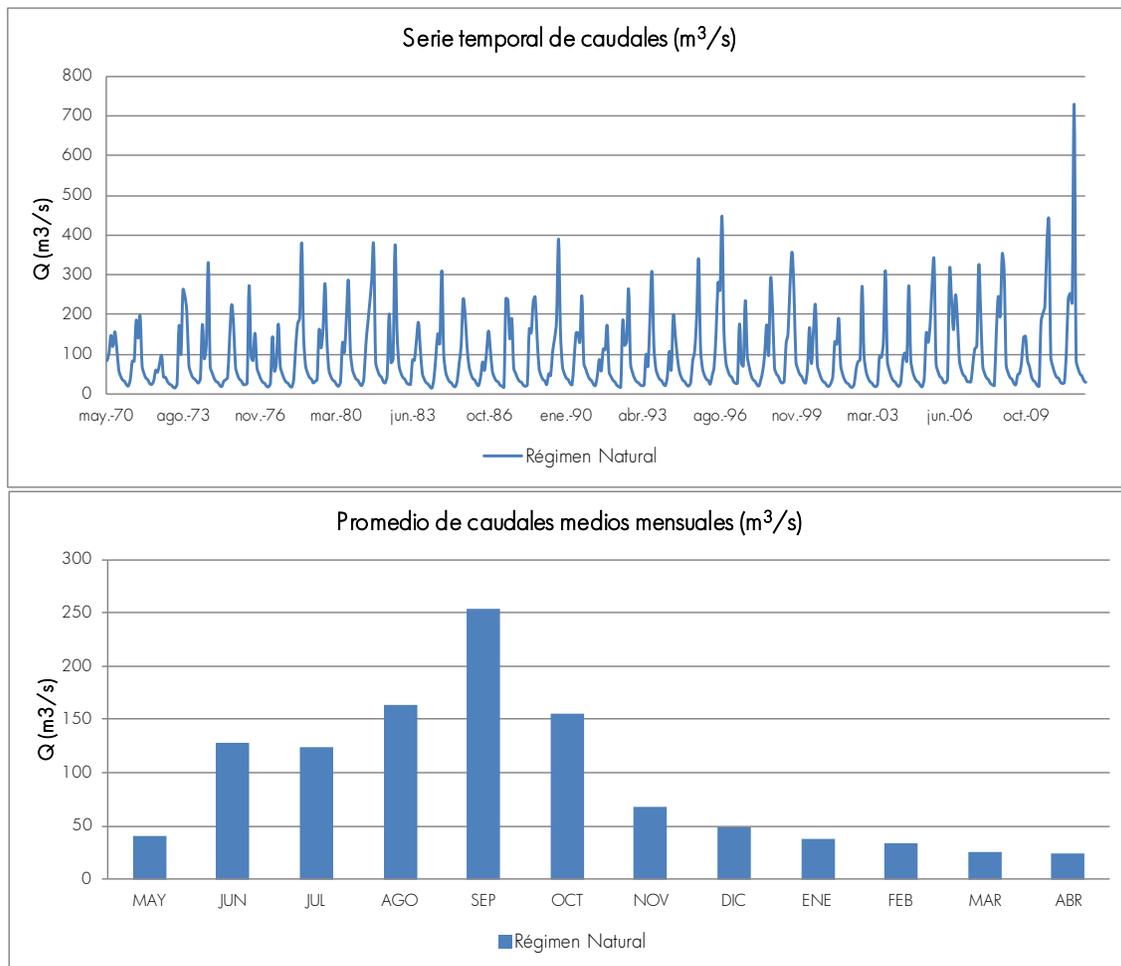


Figura 11. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo del río Lempa a la altura de la potabilizadora de Las Pavas.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural se construye la curva de caudales clasificados, que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río (Figura 12).

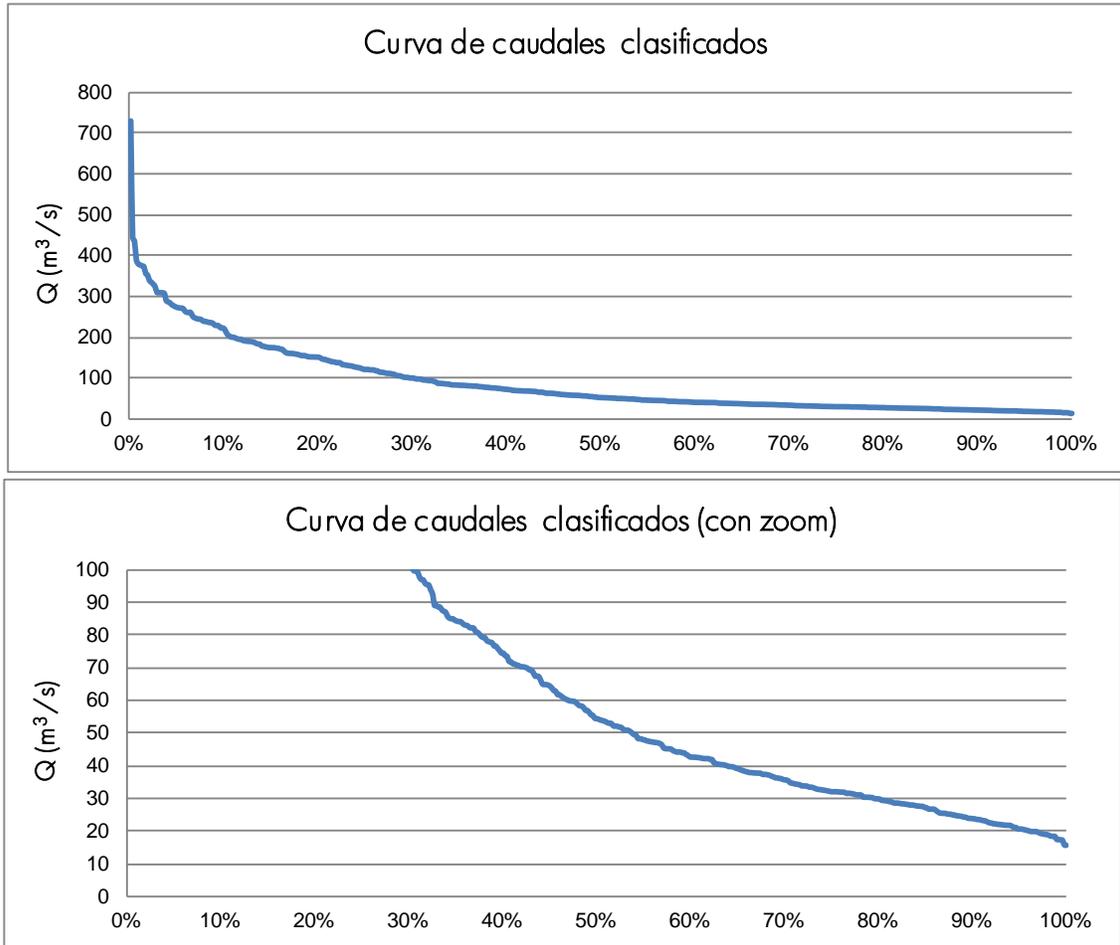


Figura 12. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-04 Las Pavas – Lempa.

En la Tabla 13 se muestra un resumen de los resultados del régimen de caudales mínimos obtenido mediante cada uno de los métodos hidrológicos propuestos.

Tabla 13. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-04 Las Pavas – Lempa.

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
NGPRP	32.83	107.37	104.41	140.56	246.49	114.31	54.27	40.17	31.89	28.36	21.49	19.10
	81%	84%	84%	86%	97%	74%	79%	83%	85%	85%	86%	80%
Tessman	36.73	51.28	49.73	65.21	101.31	62.21	36.73	36.73	36.73	33.53	25.12	23.90
	90%	40%	40%	40%	40%	40%	54%	76%	98%	100%	100%	100%
30%QMM	12.18	38.46	37.29	48.91	75.98	46.66	20.55	14.45	11.30	10.06	7.54	7.17
	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Tennant (30-50%QMA)*	45.91	45.91	45.91	45.91	45.91	45.91	27.54	27.54	27.54	27.54	27.54	27.54
	113%	36%	37%	28%	18%	30%	40%	57%	73%	82%	110%	115%
P33%	29.23	88.31	84.70	127.52	197.96	96.51	58.60	43.79	34.14	30.25	22.43	19.90
	72%	69%	68%	78%	78%	62%	86%	91%	91%	90%	89%	83%
P67%	38.69	153.60	132.43	187.08	285.37	159.81	70.30	51.83	40.36	35.74	26.43	24.09
	95%	120%	107%	115%	113%	103%	103%	108%	107%	107%	105%	101%

*30% del QMA entre los meses de noviembre a abril y 50% del QMA entre los meses de mayo a octubre.

En la Figura 13 se aprecia como de las cuatro metodologías desarrolladas, la de NGPRP es la más restrictiva durante los meses comprendidos entre junio y noviembre, donde los valores se aproximan más a los caudales medios mensuales. En esta misma época, los rangos establecidos por los valores de 30% del QMM y Tennant son los más bajos. Durante los meses más secos entre enero y mayo, las metodologías se aproximan más en sus resultados, a excepción de la metodología del 30% del QMM mediante la cual se obtienen los valores de caudales mínimos más bajos.

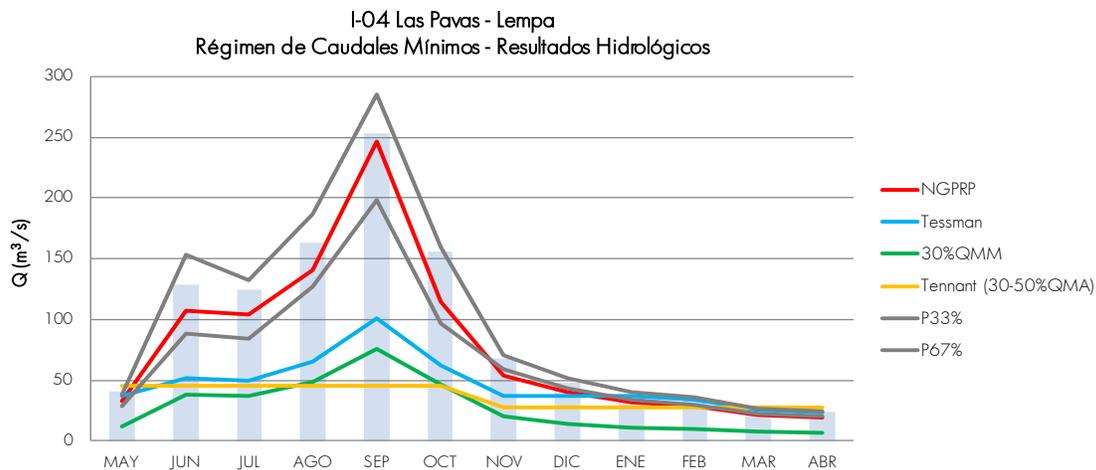


Figura 13. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-04 Las Pavas – Lempa. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.



A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el tramo I-04 Las Pavas – Lempa persigue los objetivos tipo II, es decir, mantener un caudal ambiental con el objetivo de abastecer las necesidades de la comunidad y minimizar los riesgos para la salud, se proponen los siguientes rangos mensuales de caudales ecológicos, correspondientes a los dos valores más bajos de los cuatro resultados obtenidos. Estos valores propuestos deberán ser evaluados en la fase de participación y concertación junto con las garantías. En la tabla también se muestra el grado de cumplimiento que cada uno de estos valores propuestos supone respecto al régimen natural en el mes correspondiente.

Tabla 14. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m³/s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-04 Las Pavas – Lempa.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Rango Inferior Qeco (m³/s)	12.2	38.5	37.3	45.9	45.9	45.9	20.5	14.4	11.3	10.1	7.5	7.2
% cumplimiento respecto al RN	100%	98%	100%	100%	100%	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Rango Superior Qeco (m³/s)	32.8	45.9	45.9	48.9	76.0	46.7	27.5	27.5	27.5	27.5	21.5	19.1
% cumplimiento respecto al RN	52%	95%	98%	100%	100%	98%	100%	100%	98%	88%	81%	81%

Tramo I-07: Río Sucio-02

En la Figura 14 se muestra la serie en régimen natural del tramo de estudio a partir de la cual se han aplicado los métodos hidrológicos. Puede apreciarse a nivel mensual la existencia de un evento de caudal máximo durante octubre del año 2011, al igual que ocurría en el tramo anterior. La gráfica de caudales medios mensuales indica claramente como el mes más húmedo es el de septiembre, seguido de agosto. En cuanto a los meses con caudales menores a lo largo del año son los que van de marzo a abril.

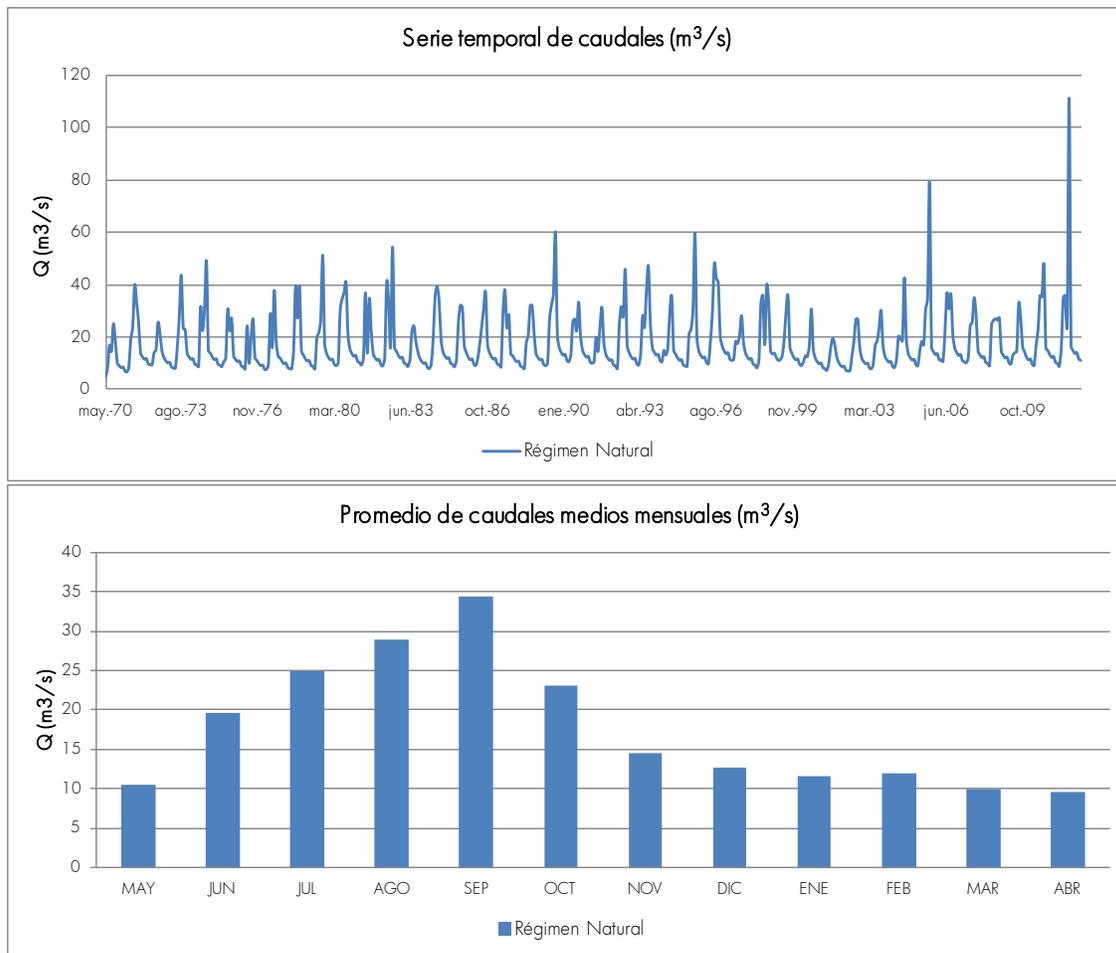


Figura 14. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo del río Sucio-02.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural se construye la curva de caudales clasificados, que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río (Figura 15).

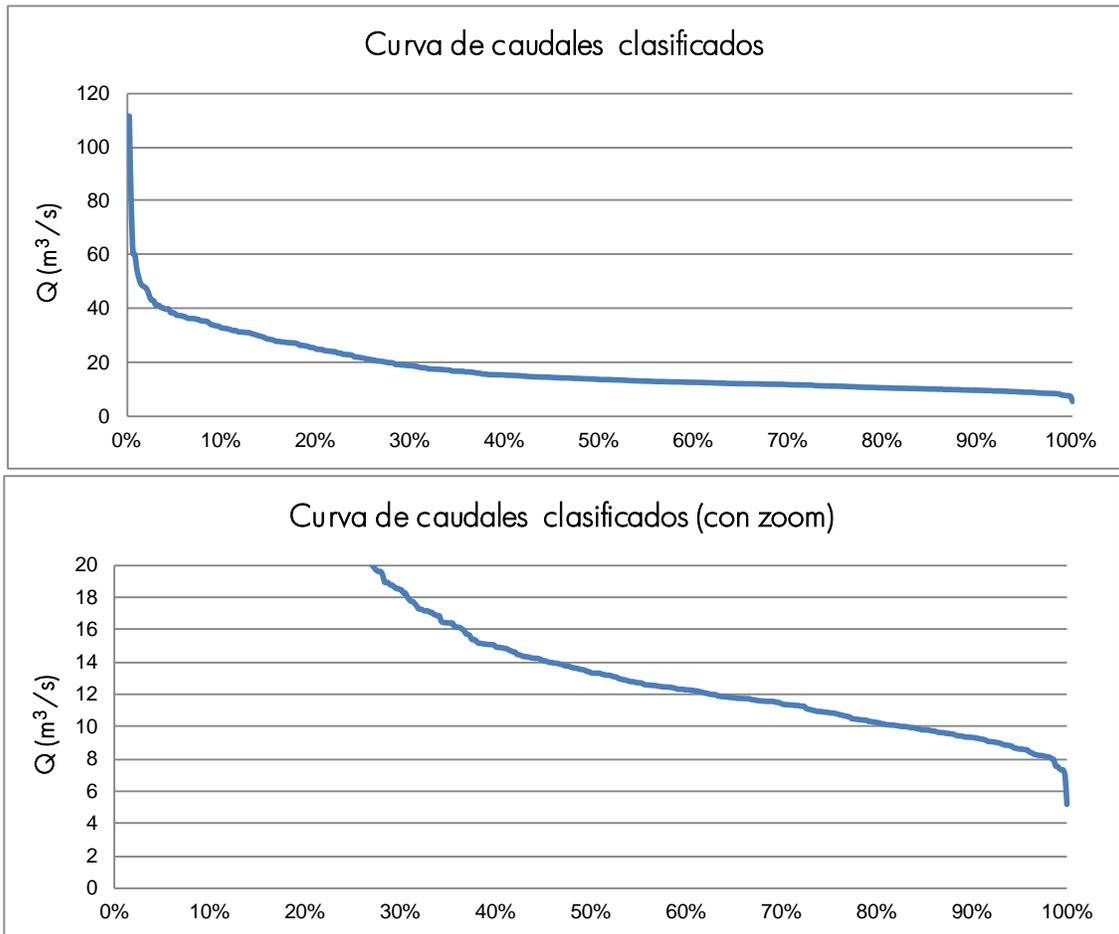


Figura 15. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-07 del río Sucio-02.

Los resultados del régimen de caudales mínimos obtenido mediante cada uno de los métodos hidrológicos quedan resumidos en la Tabla 15.

Tabla 15. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-07 Río Sucio-02.

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
NGPRP	9.63	18.31	22.90	28.86	32.74	18.01	12.64	11.30	10.43	10.66	8.89	8.48
	92%	93%	92%	100%	95%	78%	87%	89%	89%	89%	89%	89%
Tessman	7.05	7.85	9.95	11.58	13.76	9.20	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05
	68%	40%	40%	40%	40%	40%	48%	56%	60%	59%	71%	74%
30%QMM	3.13	5.89	7.46	8.68	10.32	6.90	4.37	3.79	3.50	3.58	2.99	2.86
	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Tennant (30-50%QMA)*	8.81	8.81	8.81	8.81	8.81	8.81	5.29	5.29	5.29	5.29	5.29	5.29
	84%	45%	35%	30%	26%	38%	36%	42%	45%	44%	53%	56%
P33%	9.00	14.33	18.65	25.57	28.31	16.45	13.76	12.31	11.37	11.62	9.69	9.24
	86%	73%	75%	88%	82%	72%	95%	97%	97%	97%	97%	97%
P67%	10.81	21.65	27.23	31.24	36.07	20.90	14.67	13.10	12.09	12.35	10.30	9.83
	104%	110%	109%	108%	105%	91%	101%	104%	104%	104%	103%	103%

*30% del QMA entre los meses de noviembre a abril y 50% del QMA entre los meses de mayo a octubre.

En la Figura 16 se aprecia como de los cuatro métodos hidrológicos desarrollados, el de NGPRP que describe las condiciones hidrológicas de cada mes, es la más restrictiva durante todos los meses del año, siendo más dispares los resultados respecto al resto de metodologías durante los meses comprendidos entre junio y noviembre, con valores muy próximos a los caudales medios mensuales. Por otro lado, también se aprecia como la metodología del 30% del caudal medio mensual es la que proporciona valores de caudales mínimos más bajos o menos restrictivos, a excepción del mes de septiembre, el cual resulta el más caudaloso. Entre los meses de noviembre a mayo, los resultados obtenidos mediante las metodologías de Tessman y Tennant son intermedios entre las metodologías NGPRP y 30% del caudal medio mensual.

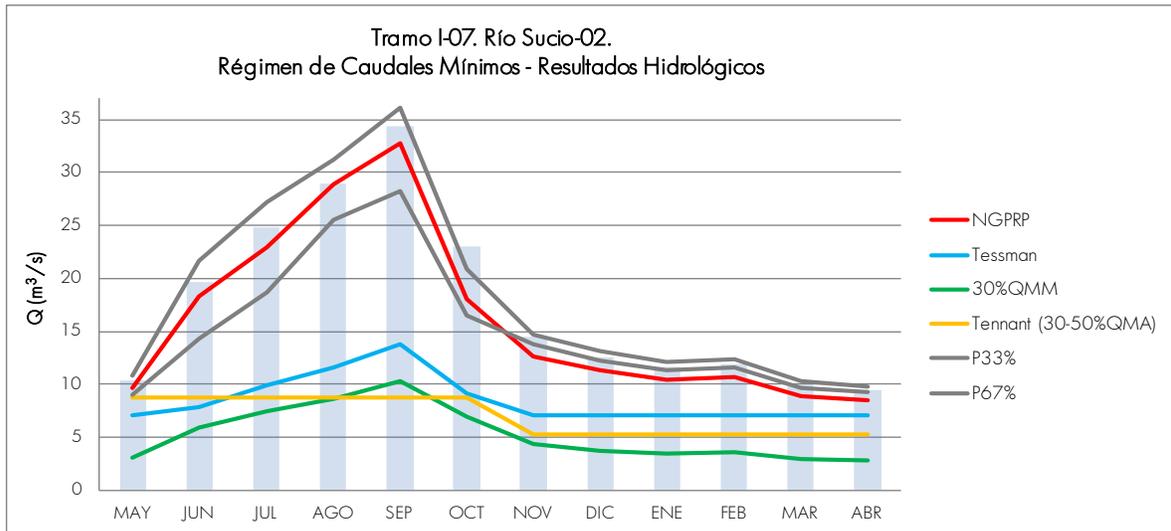


Figura 16. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m^3/s , mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-07. Río Sucio-02. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.

A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el tramo I-07. Río Sucio-02 persigue los objetivos tipo II, es decir, mantener un caudal ambiental con el objetivo de abastecer las necesidades de la comunidad y minimizar los riesgos para la salud, se proponen los siguientes rangos mensuales de caudales ecológicos, correspondientes a los dos valores más bajos de los cuatro resultados obtenidos. Estos valores propuestos deberán ser evaluados en la fase de participación y concertación junto con las garantías. En la tabla también se muestra el grado de cumplimiento que cada uno de estos valores propuestos supone respecto al régimen natural en el mes correspondiente.

Tabla 16. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m^3/s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I I-07. Río Sucio-02.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Rango Inferior Qeco (m^3/s)	3.1	5.9	7.5	8.7	8.8	6.9	4.4	3.8	3.5	3.6	3.0	2.9
% cumplimiento respecto al RN	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Rango Superior Qeco (m^3/s)	7.1	7.8	8.8	8.8	10.3	8.8	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
% cumplimiento respecto al RN	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tramo I-08: Río Jayuca

La serie en régimen natural del tramo de estudio a partir de la cual se han aplicado los métodos hidrológicos se muestra en la Figura 17. Puede apreciarse a nivel mensual la existencia de un par de eventos de máximo caudal durante octubre de 1999 y septiembre del año 2011. La gráfica de caudales medios mensuales indica claramente como el mes más húmedo es el de septiembre, seguido de agosto y octubre. En cuanto a los meses con caudales menores a lo largo del año son los que van de marzo a mayo.

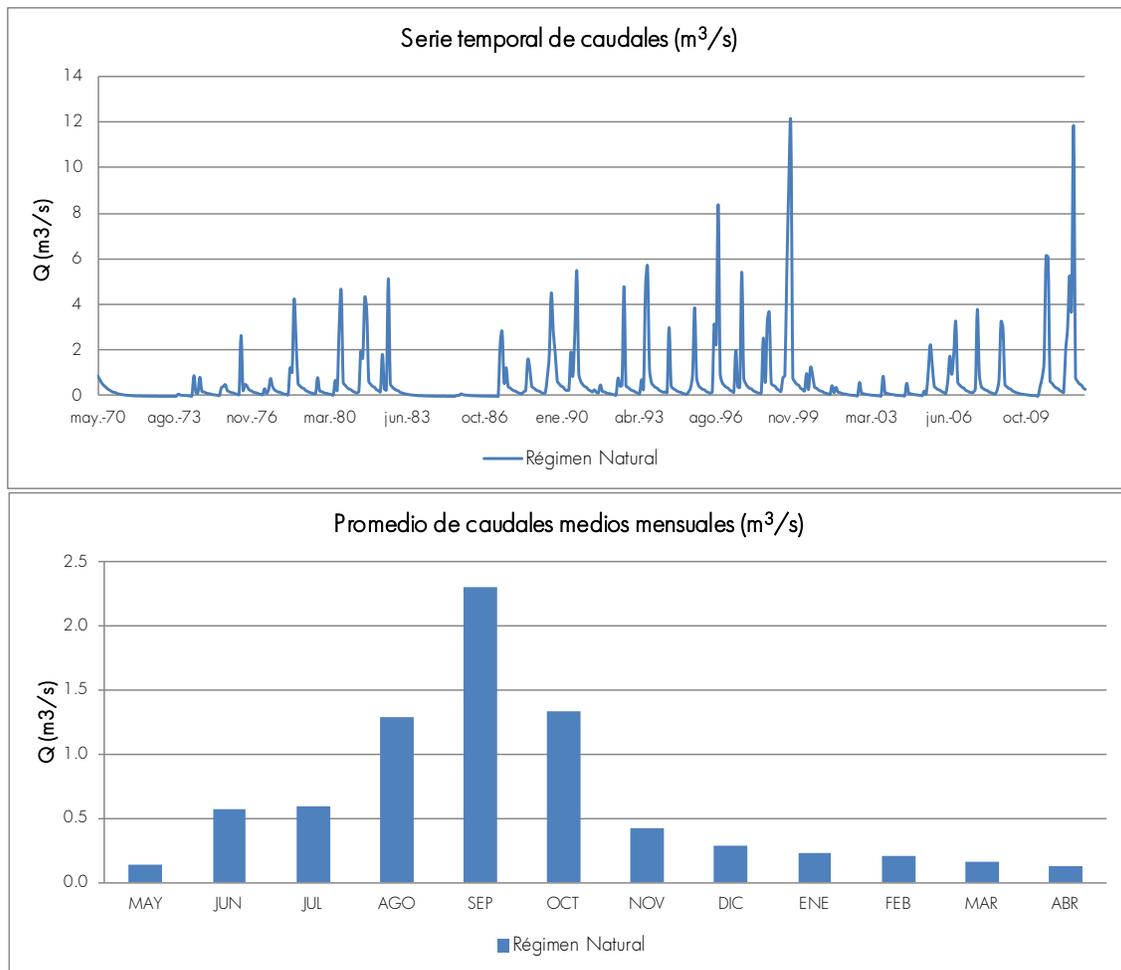


Figura 17. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo I-08 del río Jayuca.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural se construye la curva de caudales clasificados, que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río (Figura 18).

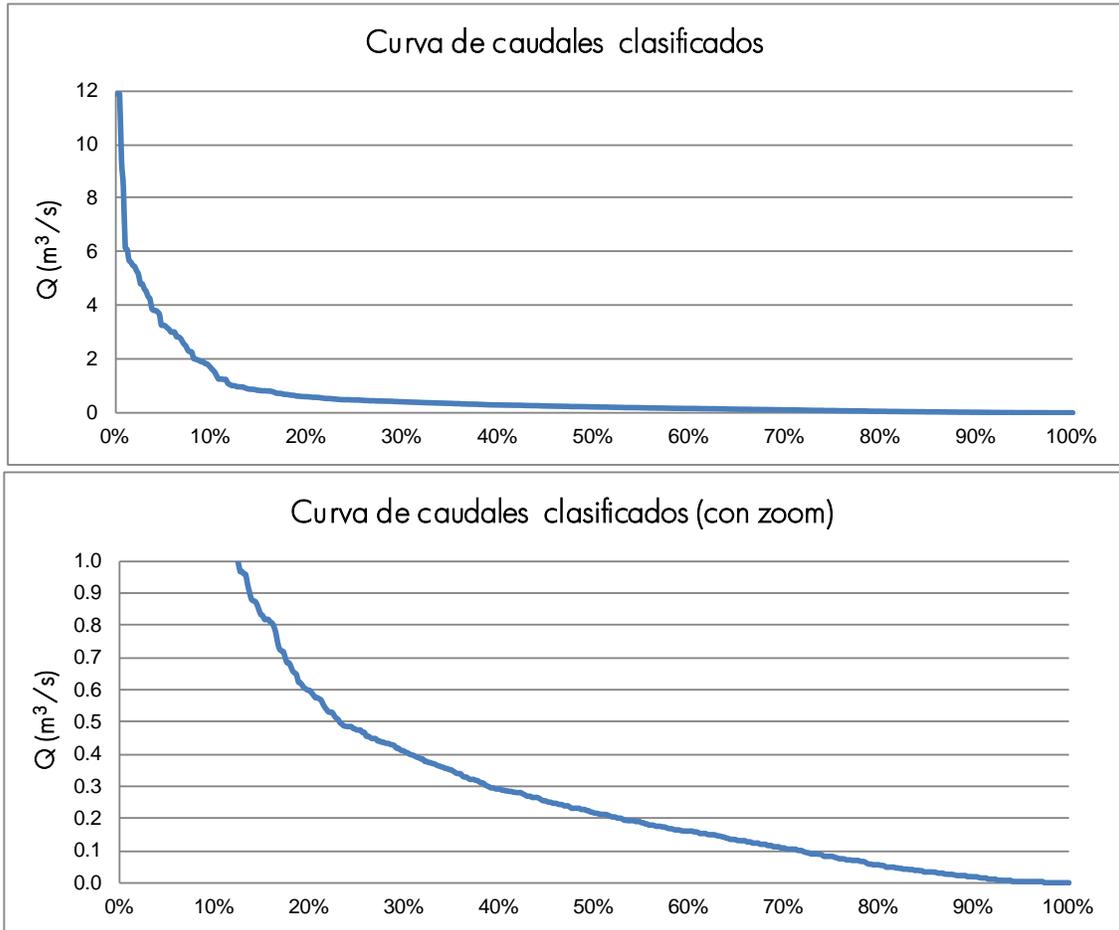


Figura 18. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-08 del río Jayuca.

En la Tabla 17 se muestra un resumen de los resultados del régimen de caudales mínimos obtenido mediante cada uno de los métodos hidrológicos.

Tabla 17. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-08 del río Jayuca.

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
NGPRP	0.11	0.20	0.21	0.44	0.85	0.44	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
	81%	36%	36%	34%	37%	33%	18%	21%	22%	21%	21%	22%
Tessman	0.13	0.25	0.25	0.51	0.92	0.53	0.25	0.25	0.23	0.21	0.15	0.13
	100%	45%	43%	40%	40%	40%	60%	91%	100%	100%	100%	100%
30%QMM	0.04	0.17	0.18	0.39	0.69	0.40	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04
	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Tennant (30-50%QMA)*	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
	241%	56%	54%	25%	14%	24%	45%	68%	83%	91%	124%	146%
P33%	0.06	0.10	0.11	0.15	0.49	0.22	0.19	0.15	0.12	0.11	0.08	0.07
	45%	18%	19%	12%	21%	17%	45%	54%	53%	53%	53%	53%
P67%	0.15	0.72	0.38	1.06	3.33	0.82	0.48	0.38	0.31	0.28	0.21	0.17
	116%	127%	64%	82%	145%	61%	112%	134%	135%	135%	134%	133%

*30% del QMA entre los meses de noviembre a abril y 50% del QMA entre los meses de mayo a octubre.

En la Figura 19 se aprecia como de los métodos hidrológicos desarrollados, el de NGPRP no presenta datos dispares durante la época húmeda y sus resultados son más similares a las obtenidas mediante el resto de metodologías. En este caso, la metodología más restrictiva o la que más caudal mínimo exige es la de Tessman pero con resultados similares al resto.

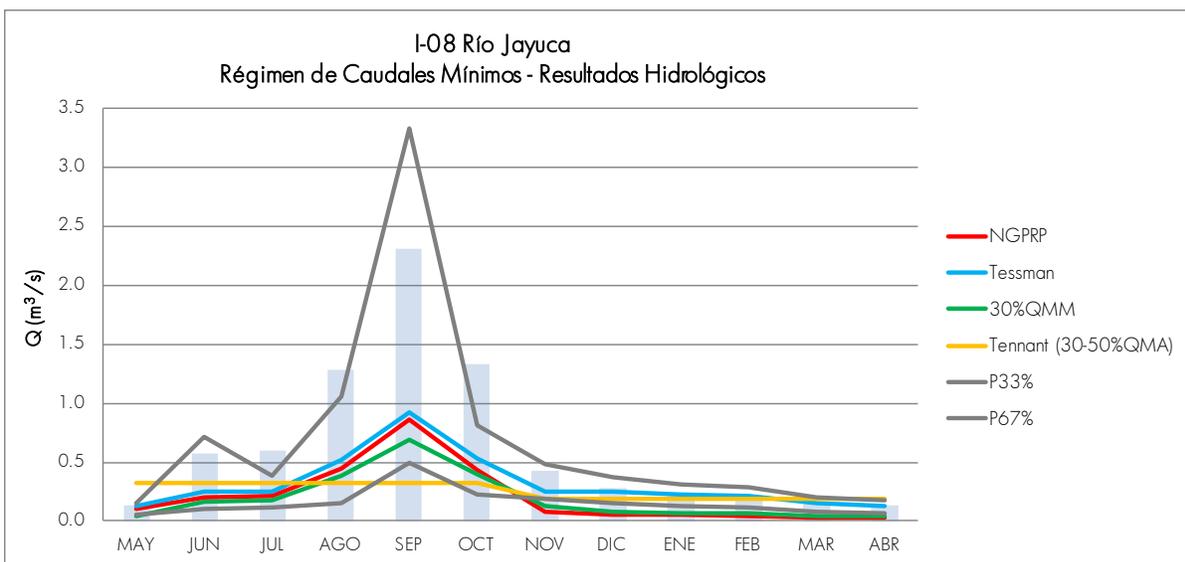


Figura 19. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-08 del río Jayuca. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.



A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el tramo I-08 del río Jayuca persigue los objetivos tipo II, es decir, mantener un caudal ambiental con el objetivo de abastecer las necesidades de la comunidad y minimizar los riesgos para la salud, se proponen los siguientes rangos mensuales de caudales ecológicos, correspondientes a los dos valores más bajos de los cuatro resultados obtenidos. Estos valores propuestos deberán ser evaluados en la fase de participación y concertación junto con las garantías. En la tabla también se muestra el grado de cumplimiento que cada uno de estos valores propuestos supone respecto al régimen natural en el mes correspondiente.

Tabla 18. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m³/s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-08. Río Jayuca.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Rango Inferior Qeco (m³/s)	0.04	0.17	0.18	0.32	0.32	0.32	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
% cumplimiento respecto al RN	76%	57%	55%	60%	81%	62%	81%	81%	81%	81%	81%	81%
Rango Superior Qeco (m³/s)	0.11	0.20	0.21	0.39	0.69	0.40	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04
% cumplimiento respecto al RN	52%	52%	52%	55%	60%	57%	74%	81%	81%	81%	81%	81%

Tramo I-09: Río Metayate

En la Figura 20 se puede observar la serie en régimen natural del tramo de estudio a partir de la cual se han aplicado los métodos hidrológicos. Puede apreciarse a nivel mensual como los eventos de caudal máximo coinciden con los meses de septiembre de 1999 y 2011. En la gráfica de caudales medios mensuales puede apreciarse como el mes más húmedo por presentar mayor caudal medio es el de septiembre, seguido de agosto. Los meses más secos corresponden a los meses de marzo y abril.

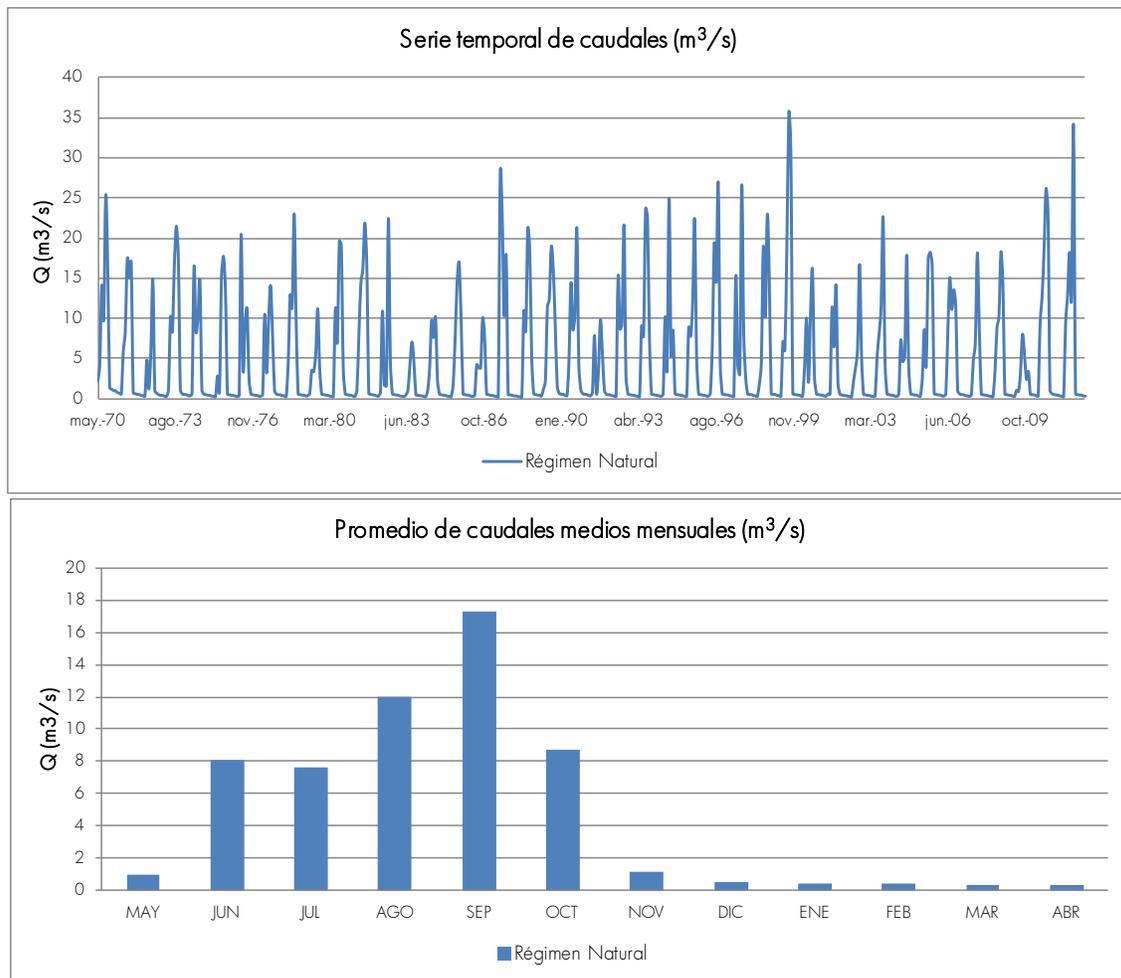


Figura 20. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo I-09 en el río Metayate.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural se construye la curva de caudales clasificados, que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río (Figura 21).

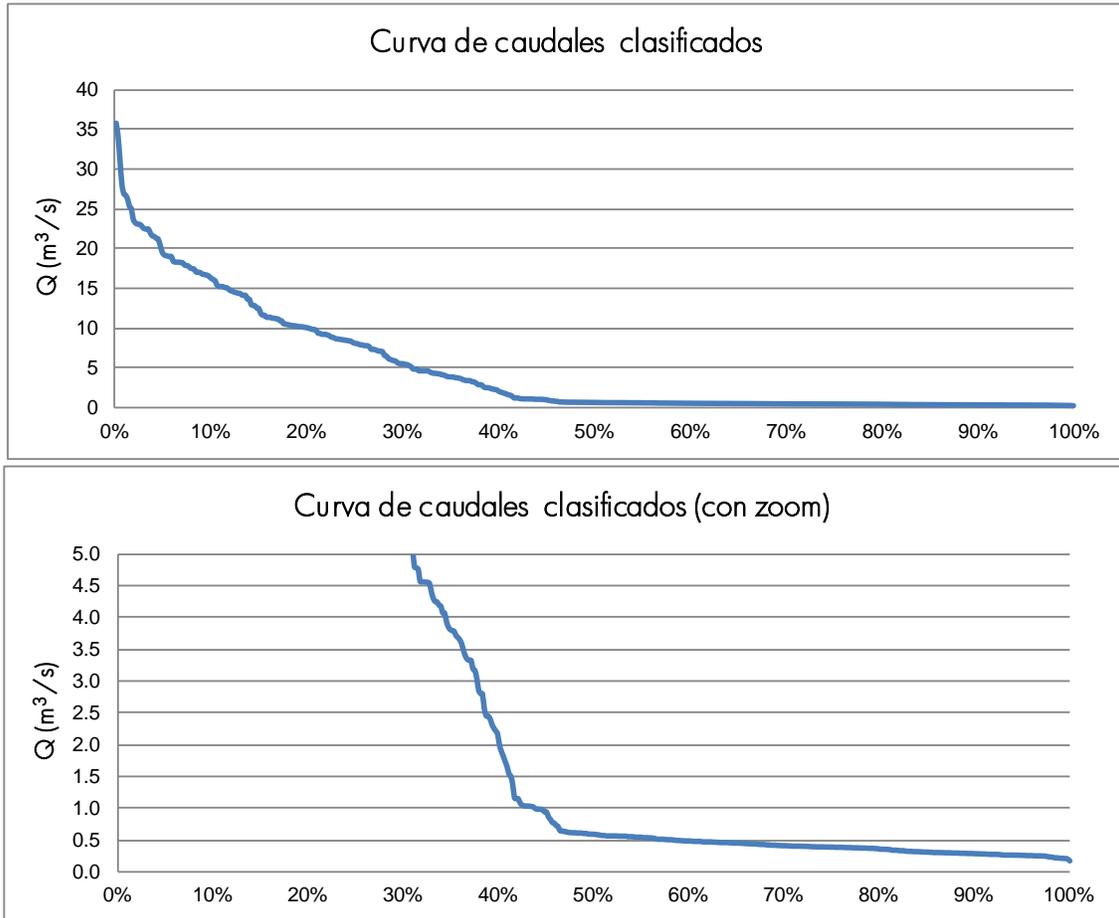


Figura 21. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-09 del río Metayate.

En cuanto a los resultados del régimen de caudales mínimos obtenido mediante cada uno de los métodos hidrológicos queda resumido en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-09 del río Metayate.

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
NGPRP	0.37	7.53	7.15	10.32	17.33	5.46	0.56	0.46	0.40	0.38	0.29	0.26
	39%	93%	94%	86%	100%	63%	49%	89%	89%	89%	90%	83%
Tessman	0.97	3.23	3.05	4.81	6.91	3.47	1.14	0.51	0.44	0.42	0.33	0.32
	100%	40%	40%	40%	40%	40%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
30%QMM	0.29	2.42	2.29	3.61	5.18	2.60	0.34	0.15	0.13	0.13	0.10	0.09
	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Tennant (30-50%QMA)*	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
	248%	30%	32%	20%	14%	28%	127%	281%	326%	342%	440%	458%
P33%	0.27	4.51	4.04	8.98	14.52	4.30	0.57	0.47	0.41	0.39	0.30	0.27
	28%	56%	53%	75%	84%	50%	50%	92%	93%	92%	92%	86%
P67%	0.61	10.04	8.49	14.71	19.35	9.00	0.62	0.51	0.44	0.42	0.33	0.29
	63%	124%	111%	122%	112%	104%	55%	99%	99%	99%	99%	93%

*30% del QMA entre los meses de noviembre a abril y 50% del QMA entre los meses de mayo a octubre.

En la Figura 22 se aprecia como de los cuatro métodos hidrológicos desarrollados, mediante el de NGPRP se obtienen un régimen de caudales mínimos entre los meses de junio y septiembre considerablemente superior comparándolo con los otros tres métodos. En esta misma época, las metodologías mediante las cuales se obtiene regimenes de caudales mínimos menores son Tennant y Tessman. Durante los meses de noviembre a mayo los resultados obtenidos mediante las cuatro metodologías son muy similares.

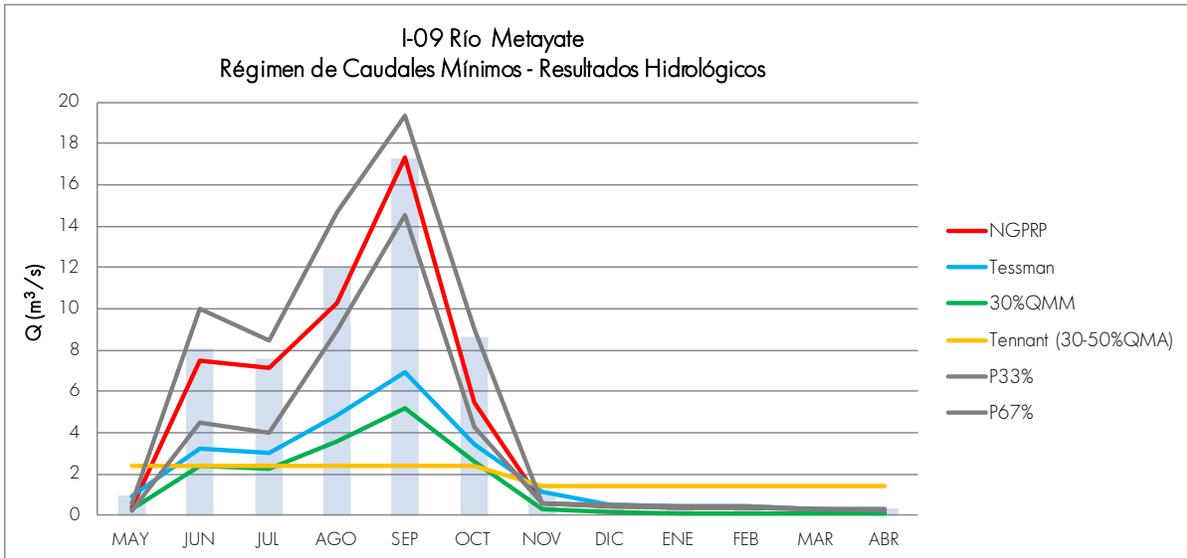


Figura 22. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-09 del río Metayate. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.



A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el tramo I-09 del río Metayate persigue los objetivos tipo III, es decir, mantener un caudal ambiental con el objetivo de abastecer las necesidades de la comunidad sin comprometer la disponibilidad aguas abajo, la salud ambiental o los bienes y servicios naturales, se proponen los siguientes rangos mensuales de caudales ecológicos, correspondientes a los dos valores intermedios de los cuatro resultados obtenidos. Estos valores propuestos deberán ser evaluados en la fase de participación y concertación junto con las garantías. En la tabla también se muestra el grado de cumplimiento que cada uno de estos valores propuestos supone respecto al régimen natural en el mes correspondiente.

Tabla 20. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m³/s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-09 Río Metayate.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Rango Inferior Qeco (m³/s)	0.37	2.42	2.41	3.61	5.18	2.60	0.56	0.46	0.40	0.38	0.29	0.26
% cumplimiento respecto al RN	52%	83%	86%	93%	100%	81%	83%	81%	81%	81%	86%	86%
Rango Superior Qeco (m³/s)	0.97	3.23	3.05	4.81	6.91	3.47	1.14	0.51	0.44	0.42	0.33	0.32
% cumplimiento respecto al RN	21%	81%	86%	88%	95%	76%	12%	31%	31%	31%	33%	24%

Tramo I-14: Río Torola

La serie en régimen natural del tramo de estudio a partir de la cual se han aplicado los métodos hidrológicos se puede observar en la Figura 23. Puede apreciarse a nivel mensual como los eventos de máximo caudal coinciden con septiembre de 1989 y 1995 y octubre de 1973 y 2011. En la gráfica de caudales medios mensuales puede apreciarse como el mes más húmedo por presentar mayor caudal medio es el de septiembre seguido de octubre. Por otro lado, los meses más secos corresponden a los meses de marzo y abril.

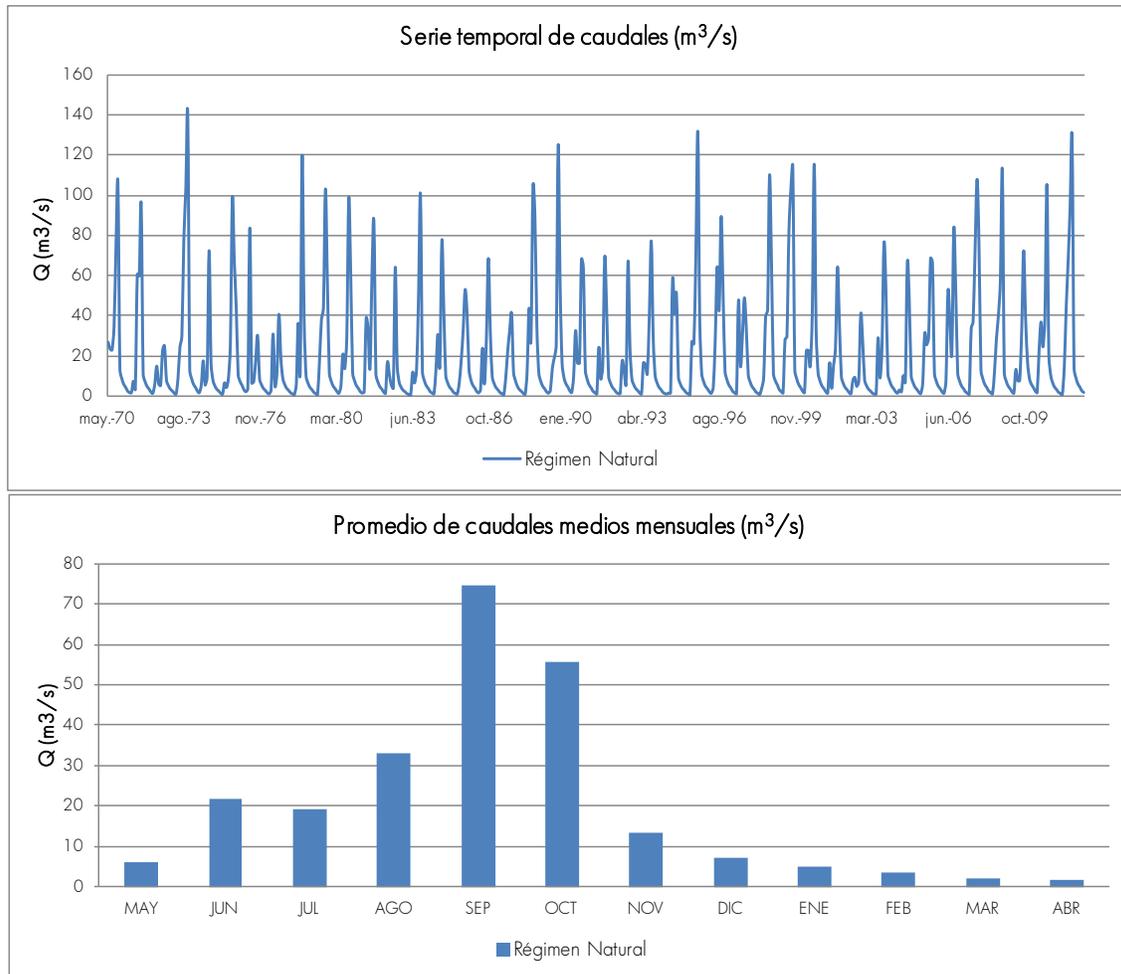


Figura 23. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (abajo) de la serie en régimen natural del tramo I-14 en el río Torola.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural se construye la curva de caudales clasificados, que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río (Figura 24).

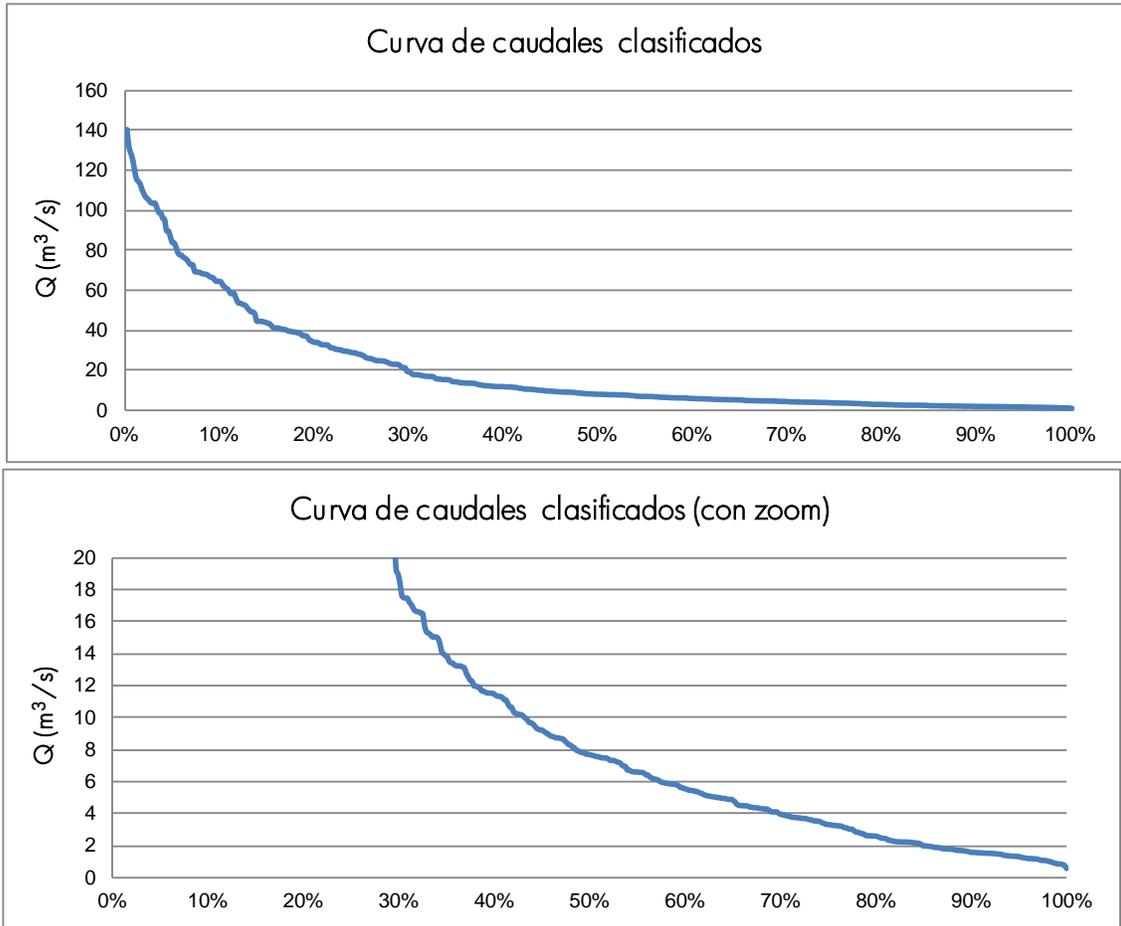


Figura 24. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-14 del río Torola.

En la Tabla 21 se muestra un resumen de los resultados del régimen de caudales mínimos obtenido mediante cada uno de los métodos hidrológicos propuestos.

Tabla 21. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-14 en el río Torola.

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
NGPRP	2.98	17.57	15.08	28.77	68.92	43.88	9.00	5.94	3.98	2.96	1.79	1.24
	49%	81%	79%	87%	92%	79%	68%	81%	81%	81%	81%	81%
Tessman	6.08	8.67	8.12	13.29	29.87	22.33	8.12	7.36	4.93	3.66	2.22	1.54
	100%	40%	42%	40%	40%	40%	61%	100%	100%	100%	100%	100%
30%QMM	1.82	6.50	5.74	9.97	22.40	16.75	3.97	2.21	1.48	1.10	0.66	0.46
	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Tennant (30-50%QMA)*	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09
	167%	47%	53%	31%	14%	18%	46%	83%	123%	166%	275%	397%
P33%	1.25	12.33	9.05	16.38	63.85	34.76	10.21	6.64	4.45	3.30	2.00	1.38
	21%	57%	47%	49%	86%	62%	77%	90%	90%	90%	90%	90%
P67%	5.97	25.10	24.73	39.33	84.36	58.78	11.70	7.68	5.15	3.82	2.31	1.60
	98%	116%	129%	118%	113%	105%	88%	104%	104%	104%	104%	104%

*30% del QMA entre los meses de noviembre a abril y 50% del QMA entre los meses de mayo a octubre.

En la Figura 25 se aprecia como de los cuatro métodos hidrológicos desarrollados, mediante el de NGPRP se obtienen un régimen de caudales mínimos entre los meses de junio y octubre considerablemente superior al compararlo con las otras tres metodologías. También se observa que durante el mes de septiembre los resultados entre metodologías difieren considerablemente. Sin embargo, entre los meses comprendidos entre noviembre y mayo, los resultados entre metodologías son más próximos entre ellos.

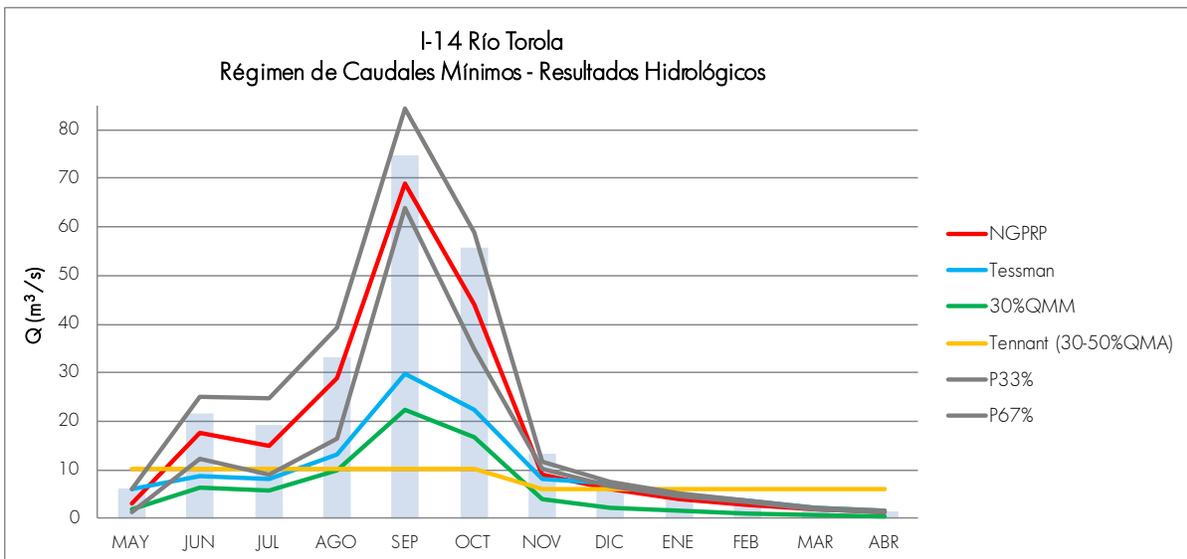


Figura 25. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-14 en el río Torola. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.



A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el tramo I-14 en el río Torola persigue los objetivos tipo III, es decir, mantener un caudal ambiental con el objetivo principal de abastecer las necesidades de la comunidad sin comprometer la disponibilidad aguas abajo, la salud ambiental o los bienes y servicios naturales, se proponen los siguientes rangos mensuales de caudales ecológicos, correspondientes a los dos valores intermedios de los cuatro resultados obtenidos. Estos valores propuestos deberán ser evaluados en la fase de participación y concertación junto con las garantías. En la tabla también se muestra el grado de cumplimiento que cada uno de estos valores propuestos supone respecto al régimen natural en el mes correspondiente.

Tabla 22. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m³/s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-14 Río Torola.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Rango Inferior Qeco (m³/s)	2.98	8.67	8.12	10.15	22.40	16.75	6.09	5.94	3.98	2.96	1.79	1.24
% cumplimiento respecto al RN	52%	79%	74%	83%	98%	95%	100%	81%	81%	81%	81%	81%
Rango Superior Qeco (m³/s)	6.08	10.15	10.15	13.29	29.87	22.33	8.12	6.09	4.93	3.66	2.22	1.54
% cumplimiento respecto al RN	33%	74%	64%	76%	95%	88%	90%	81%	55%	55%	55%	55%

Tramo I-16: Río Lempa – Tramo bajo

En la Figura 26 se puede observar la serie en régimen natural del tramo de estudio a partir de la cual se han aplicado los métodos hidrológicos. Puede apreciarse a nivel mensual la existencia de un evento de máximo caudal durante octubre del año 2011. En la gráfica de caudales medios mensuales se aprecia claramente como el mes más húmedo por presentar mayor caudal medio es el de septiembre seguido de octubre y agosto. Por otro lado, los meses más secos corresponden a los meses de marzo y abril.

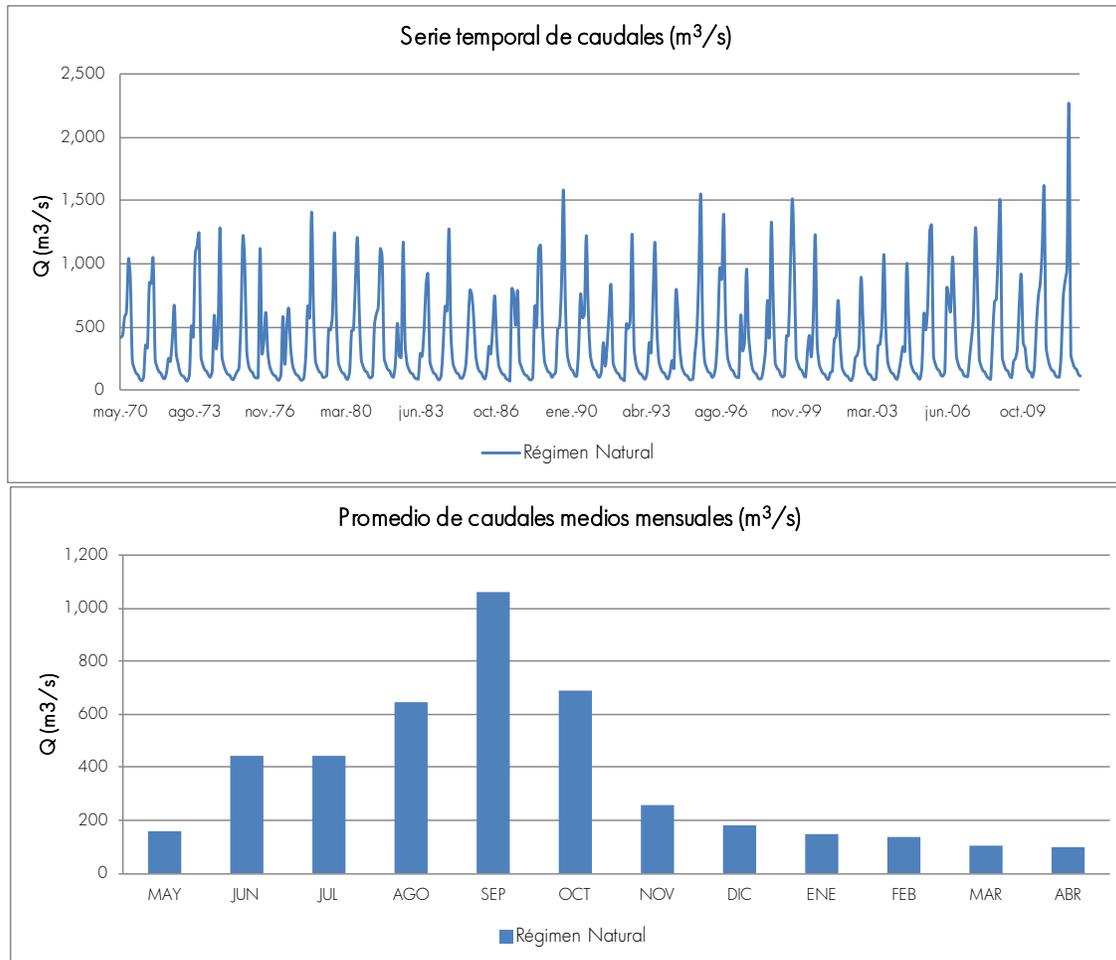


Figura 26. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo I-16 ubicado en el bajo Lempa.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural se construye la curva de caudales clasificados, que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río (Figura 27).

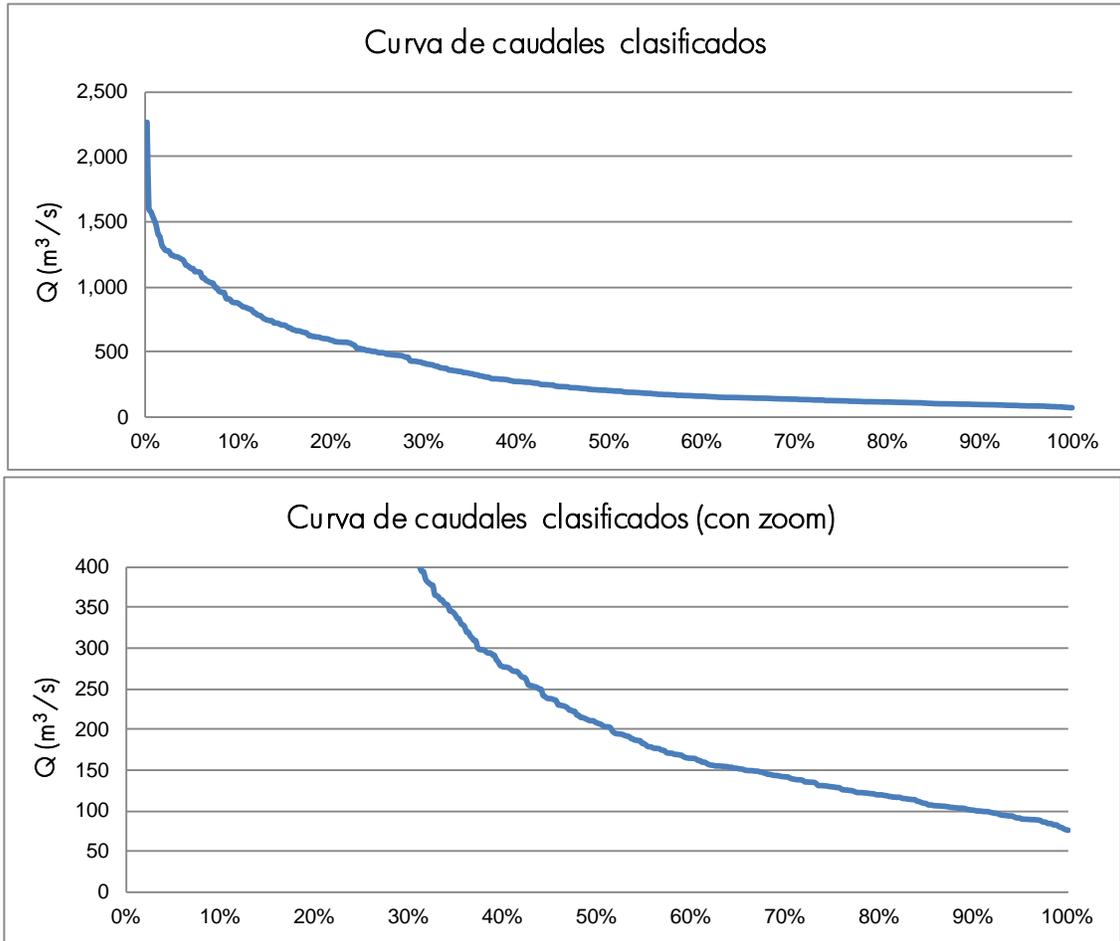


Figura 27. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto I-16 del bajo Lempa.

Los resultados del régimen de caudales mínimos obtenido mediante cada uno de los métodos hidrológicos quedan resumidos en la Tabla 23.

Tabla 23. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo bajo del río Lempa.

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
NGPRP	127.2	398.4	405.9	608.8	1,096.0	573.0	213.8	160.8	131.8	121.9	94.7	85.0
	81%	90%	91%	94%	103%	83%	83%	88%	89%	90%	90%	85%
Tessman	145.6	177.04	178.07	258.8	424.27	275.6	145.6	145.6	145.6	136.1	104.9	99.5
	93%	40%	40%	40%	40%	40%	57%	80%	99%	100%	100%	100%
30%QMM	47.2	132.8	133.5	194.1	318.20	206.7	77.0	54.7	44.3	40.8	31.5	29.8
	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Tennant (30-50%QMA)*	182.0	182.0	182.05	182.0	182.0	182.0	109.2	109.2	109.2	109.2	109.2	109.2
	116%	41%	41%	28%	17%	26%	43%	60%	74%	80%	104%	110%
P33%	111.0	297.1	325.2	529.1	908.1	455.6	228.2	171.8	139.0	129.1	100.2	90.1
	70%	67%	73%	82%	86%	66%	89%	94%	94%	95%	96%	91%
P67%	151.2	499.7	486.6	713.2	1,215.4	695.2	265.4	192.2	156.0	142.6	108.3	105.1
	96%	113%	109%	110%	115%	101%	103%	105%	106%	105%	103%	106%

*30% del QMA entre los meses de noviembre a abril y 50% del QMA entre los meses de mayo a octubre

En la Figura 28 se aprecia como de las cuatro metodologías desarrolladas, la de NGPRP es la más restrictiva durante los meses comprendidos entre junio y noviembre. En esta misma época, los rangos establecidos por los valores de Tennant y por el 30% del QMM son los más bajos. Durante los meses más secos entre enero y mayo, las metodologías coinciden en sus resultados a excepción de la metodología del 30% del QMM mediante la cual se obtienen los valores de caudales mínimos más bajos.

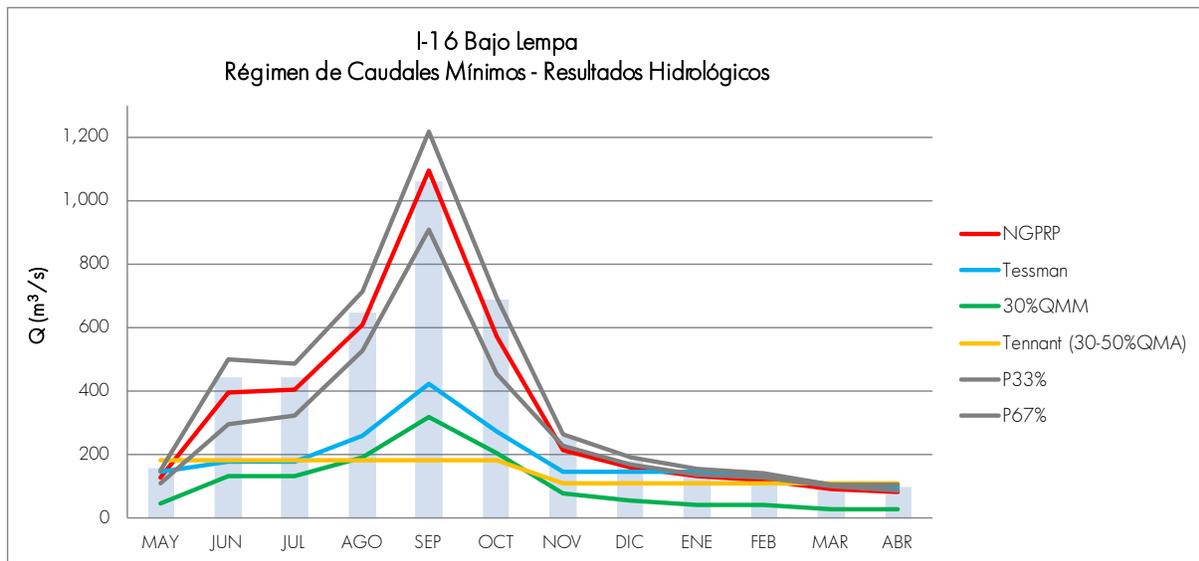


Figura 28. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo I-16 Bajo Lempa. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.



A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el tramo I-16 en el bajo Lempa persigue los objetivos tipo I, es decir, mantener un caudal ambiental con el objetivo principal de conservar la biodiversidad natural, la calidad de las aguas y los valores culturales y paisajísticos, se proponen los siguientes rangos mensuales de caudales ecológicos, correspondientes a los dos valores más altos y/o restrictivos de los cuatro resultados obtenidos. Estos valores propuestos deberán ser evaluados en la fase de participación y concertación junto con las garantías. En la tabla también se muestra el grado de cumplimiento que cada uno de estos valores propuestos supone respecto al régimen natural en el mes correspondiente.

Tabla 24. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m³/s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto I-16 Bajo Lempa.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Rango Inferior Qeco (m³/s)	145.6	182.0	182.0	258.8	424.3	275.6	145.6	145.6	131.8	121.9	104.9	99.5
% cumplimiento respecto al RN	40%	95%	95%	100%	100%	98%	100%	98%	81%	81%	43%	40%
Rango Superior Qeco (m³/s)	182.0	398.4	405.9	608.8	1,096.0	573.0	213.8	160.8	145.6	136.1	109.2	109.2
% cumplimiento respecto al RN	19%	52%	52%	52%	52%	52%	81%	81%	50%	45%	33%	17%

7.3.2. Zona hidrográfica II: Paz - Jaltepeque

Tramo II-03: Río El Naranjo

En la Figura 29 se puede observar la serie en régimen natural del tramo de estudio a partir de la cual se han aplicado los métodos hidrológicos. Puede apreciarse a nivel mensual un evento de máximo caudal en octubre de 2011, seguido de otros tres en octubre de 1973, septiembre de 1999 y octubre de 2006. En la gráfica de caudales medios mensuales puede apreciarse como el mes más húmedo por presentar mayor caudal medio es el de septiembre casi igualado por octubre. Por otro lado, los meses más secos corresponden a los meses de marzo, abril y mayo.

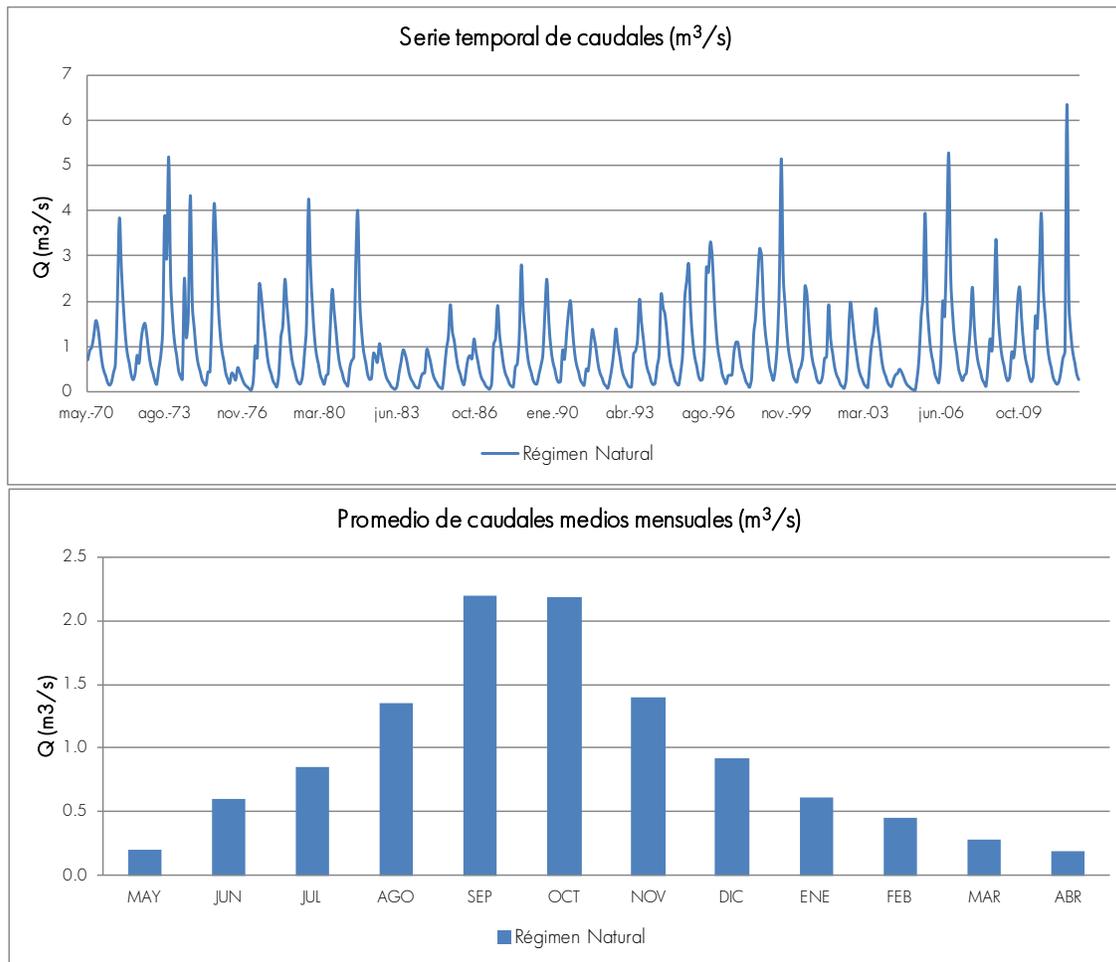


Figura 29. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo II-03 río El Naranjo.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural se construye la curva de caudales clasificados, que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río (Figura 30).

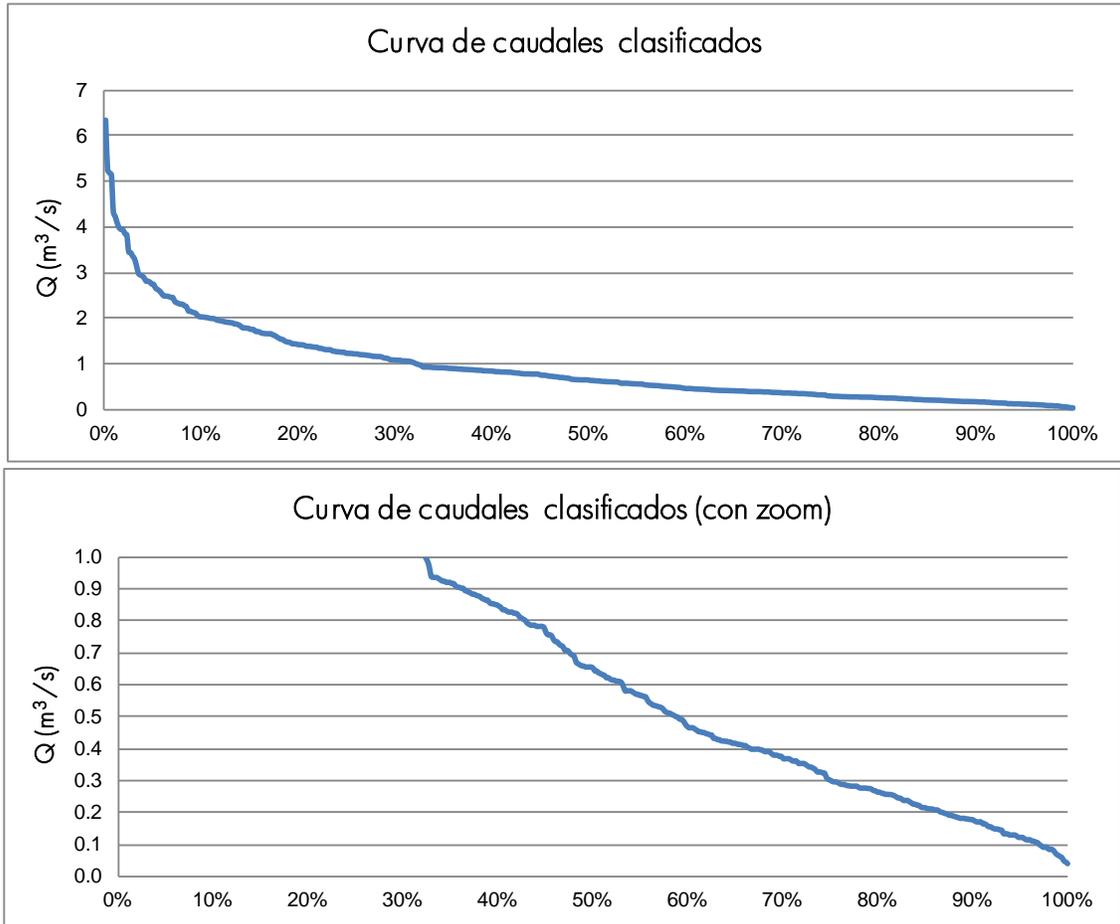


Figura 30. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto II-03 río El Naranjo.

En la Tabla 25 se presenta un resumen de los resultados del régimen de caudales mínimos obtenido mediante cada uno de los métodos hidrológicos propuestos.

Tabla 25. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-03 ubicado en el río El Naranjo.

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
NGPRP	0,17	0,45	0,76	1,21	1,92	1,79	0,87	0,57	0,38	0,28	0,17	0,12
	85%	76%	89%	89%	88%	82%	62%	62%	62%	62%	61%	61%
Tessman	0,20	0,37	0,37	0,54	0,88	0,87	0,56	0,37	0,37	0,37	0,28	0,19
	100%	63%	44%	40%	40%	40%	40%	41%	61%	82%	100%	100%
30%QMM	0,06	0,18	0,25	0,41	0,66	0,65	0,42	0,28	0,18	0,14	0,08	0,06
	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Tennant (30-50%QMA)*	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
	230%	78%	55%	35%	21%	21%	20%	31%	46%	61%	102%	146%
P33%	0,13	0,36	0,61	0,88	1,65	1,41	1,09	0,75	0,50	0,37	0,23	0,16
	62%	61%	72%	65%	75%	65%	78%	81%	81%	82%	82%	82%
P67%	0,21	0,63	0,90	1,50	2,34	2,34	1,60	1,07	0,72	0,53	0,32	0,22
	104%	106%	107%	111%	107%	107%	114%	117%	117%	117%	116%	117%

*30% del QMA entre los meses de noviembre a abril y 50% del QMA entre los meses de mayo a octubre.

En la Figura 31 se aprecia como el método NGPRP es el más restrictivo durante los meses más lluviosos de julio a noviembre. El resto de meses el régimen de caudales mínimos obtenido mediante este método es similar al resto de metodologías desarrolladas. Los métodos a partir de los cuales se obtienen caudales mínimos más bajos son Tennant (de septiembre a noviembre) y 30% del QMM resto de meses.

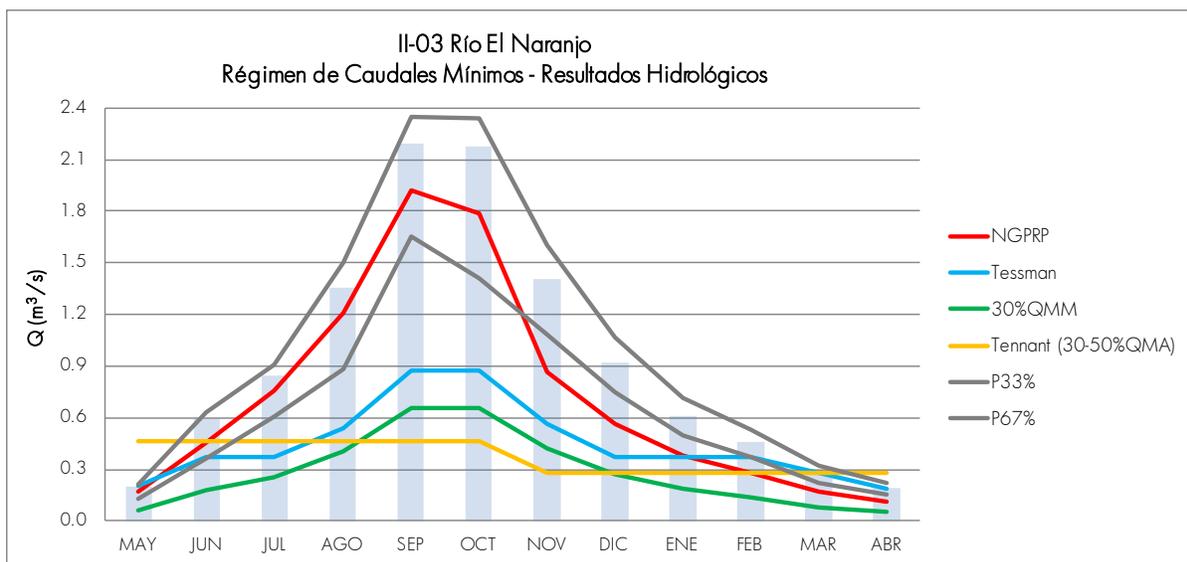


Figura 31. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-03 Río El Naranjo. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.



A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el tramo II-03 del río El Naranjo persigue los objetivos tipo III, es decir, mantener un caudal ambiental con el objetivo de abastecer las necesidades de la comunidad sin comprometer la disponibilidad aguas abajo, la salud ambiental o los bienes y servicios naturales, se proponen los siguientes rangos mensuales de caudales ecológicos, correspondientes a los dos valores intermedios de los cuatro resultados obtenidos. Estos valores propuestos deberán ser evaluados en la fase de participación y concertación junto con las garantías. En la tabla también se muestra el grado de cumplimiento que cada uno de estos valores propuestos supone respecto al régimen natural en el mes correspondiente.

Tabla 26. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m³/s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto II-03 Río El Naranjo.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Rango Inferior Qeco (m³/s)	0.17	0.37	0.37	0.47	0.66	0.65	0.42	0.28	0.28	0.28	0.17	0.12
% cumplimiento respecto al RN	52%	67%	93%	90%	95%	95%	95%	95%	90%	83%	81%	81%
Rango Superior Qeco (m³/s)	0.20	0.45	0.47	0.54	0.88	0.87	0.56	0.37	0.37	0.28	0.28	0.19
% cumplimiento respecto al RN	40%	52%	76%	90%	95%	88%	95%	95%	83%	81%	45%	45%

Tramo II-04: Río Sonsonate-01

En la Figura 32 se puede observar la serie en régimen natural del tramo de estudio a partir de la cual se han aplicado los métodos hidrológicos. Puede apreciarse a nivel mensual claramente un evento de máximo caudal que es el correspondiente al mes de octubre de 2011. En la gráfica de caudales medios mensuales puede apreciarse como el mes más húmedo por presentar mayor caudal medio es el de septiembre, seguido de octubre y agosto. Por otro lado, los meses más secos corresponden a los meses de abril y mayo.

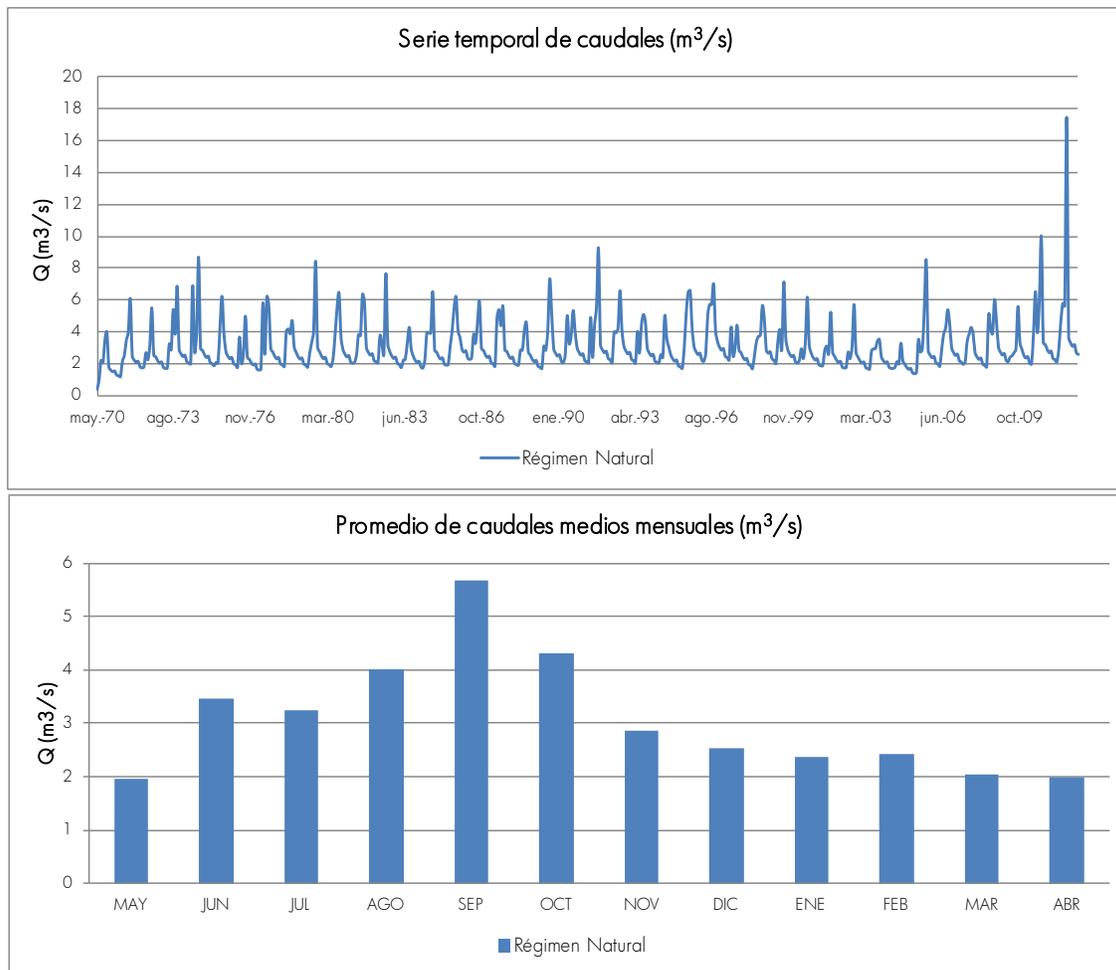


Figura 32. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo II-04 río Sonsonate-01.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural se construye la curva de caudales clasificados, que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río (Figura 33).

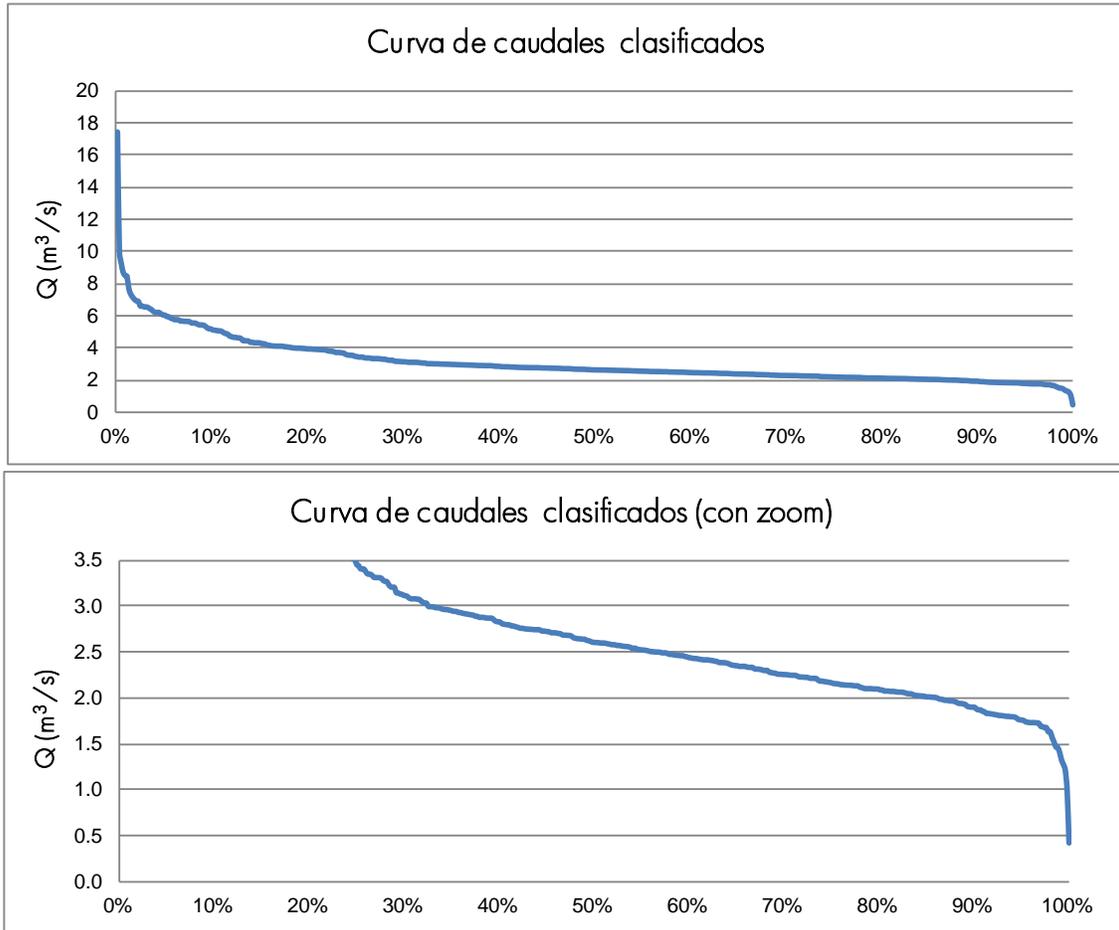


Figura 33. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto II-04 río Sonsonate-01.

En la Tabla 27 se presenta un resumen de los resultados del régimen de caudales mínimos obtenido mediante cada uno de los métodos hidrológicos propuestos.

Tabla 27. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-04 río Sonsonate-01.

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
NGPRP	1,88	3,02	2,92	3,90	5,61	3,45	2,49	2,25	2,09	2,16	1,82	1,76
	96%	88%	90%	97%	99%	80%	87%	89%	89%	89%	89%	89%
Tessman	1,23	1,38	1,30	1,60	2,27	1,72	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
	63%	40%	40%	40%	40%	40%	43%	49%	52%	50%	60%	62%
30%QMM	0,59	1,04	0,98	1,20	1,70	1,29	0,86	0,76	0,71	0,73	0,62	0,59
	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Tennant (30-50%QMA)*	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	79%	44%	47%	38%	27%	36%	32%	36%	39%	38%	45%	47%
P33%	1,80	2,74	2,66	3,31	5,09	3,06	2,72	2,46	2,29	2,37	1,99	1,92
	92%	79%	82%	82%	90%	71%	95%	97%	97%	97%	97%	97%
P67%	2,06	3,78	3,46	4,30	6,19	4,09	2,94	2,65	2,47	2,55	2,15	2,07
	105%	109%	106%	107%	109%	95%	103%	104%	104%	105%	105%	104%

*30% del QMA entre los meses de noviembre a abril y 50% del QMA entre los meses de mayo a octubre.

En la Figura 34 se aprecia como el método NGPRP es el más restrictivo durante todos los meses del año, con valores considerablemente dispares al compararlos con el resto de metodologías. Por otro lado, el método menos restrictivo prácticamente todo el año es el del 30% del QMM. Los resultados obtenidos mediante los métodos de Tennant y Tessman son más próximos a los de 30% del QMM que a los de NGPRP.

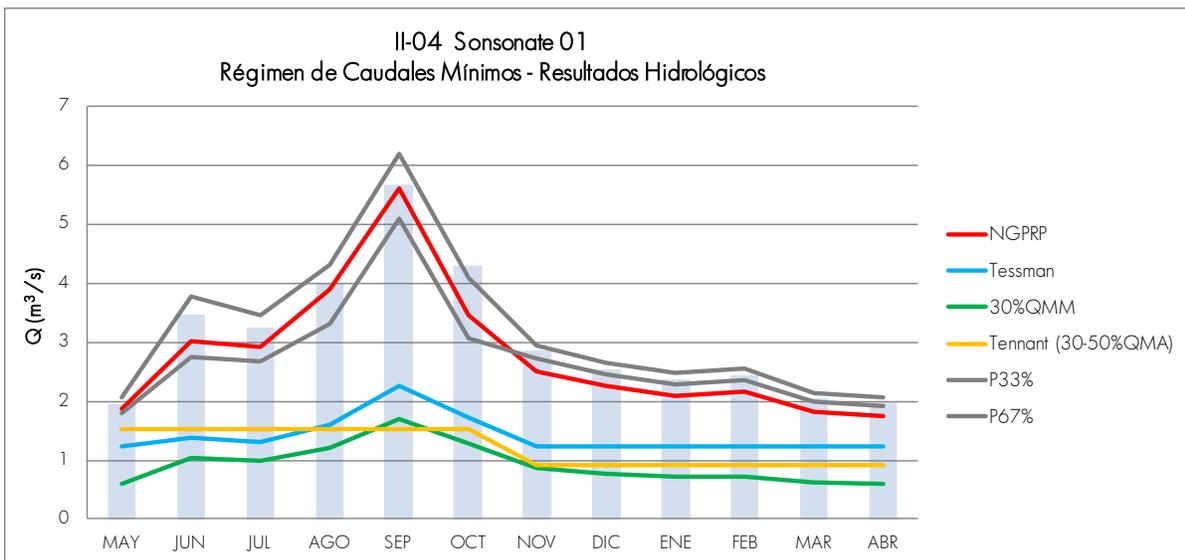


Figura 34. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-04 Río Sonsonate-01. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.



A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el tramo II-04 Río Sonsonate-01 persigue los objetivos tipo II, es decir, mantener un caudal ambiental con el objetivo de abastecer las necesidades de la comunidad y minimizar los riesgos para la salud, se proponen los siguientes rangos mensuales de caudales ecológicos, correspondientes a los dos valores más bajos o menos restrictivos de los cuatro resultados obtenidos. Estos valores propuestos deberán ser evaluados en la fase de participación y concertación junto con las garantías. En la tabla también se muestra el grado de cumplimiento que cada uno de estos valores propuestos supone respecto al régimen natural en el mes correspondiente.

Tabla 28. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m³/s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto II-04 Río Sonsonate-01.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Rango Inferior Qeco (m³/s)	0.59	1.04	0.98	1.20	1.54	1.29	0.86	0.76	0.71	0.73	0.62	0.59
% cumplimiento respecto al RN	98%	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Rango Superior Qeco (m³/s)	1.23	1.38	1.30	1.54	1.70	1.54	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
% cumplimiento respecto al RN	95%	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tramo II-08: Río San Antonio

La serie en régimen natural del tramo de estudio a partir de la cual se han aplicado los métodos hidrológicos se muestra en la Figura 35. Puede apreciarse a nivel mensual como los dos eventos de máximo caudal corresponden a septiembre de 1989 y octubre de 2011, seguidos de otros de menor magnitud correspondientes a agosto de 1982 y septiembre de 2005. Por otro lado, en la gráfica de caudales medios mensuales se observa como el mes más húmedo por presentar mayor caudal medio es el de septiembre, seguido de agosto, mientras que los meses más secos corresponden a los meses de marzo y abril.

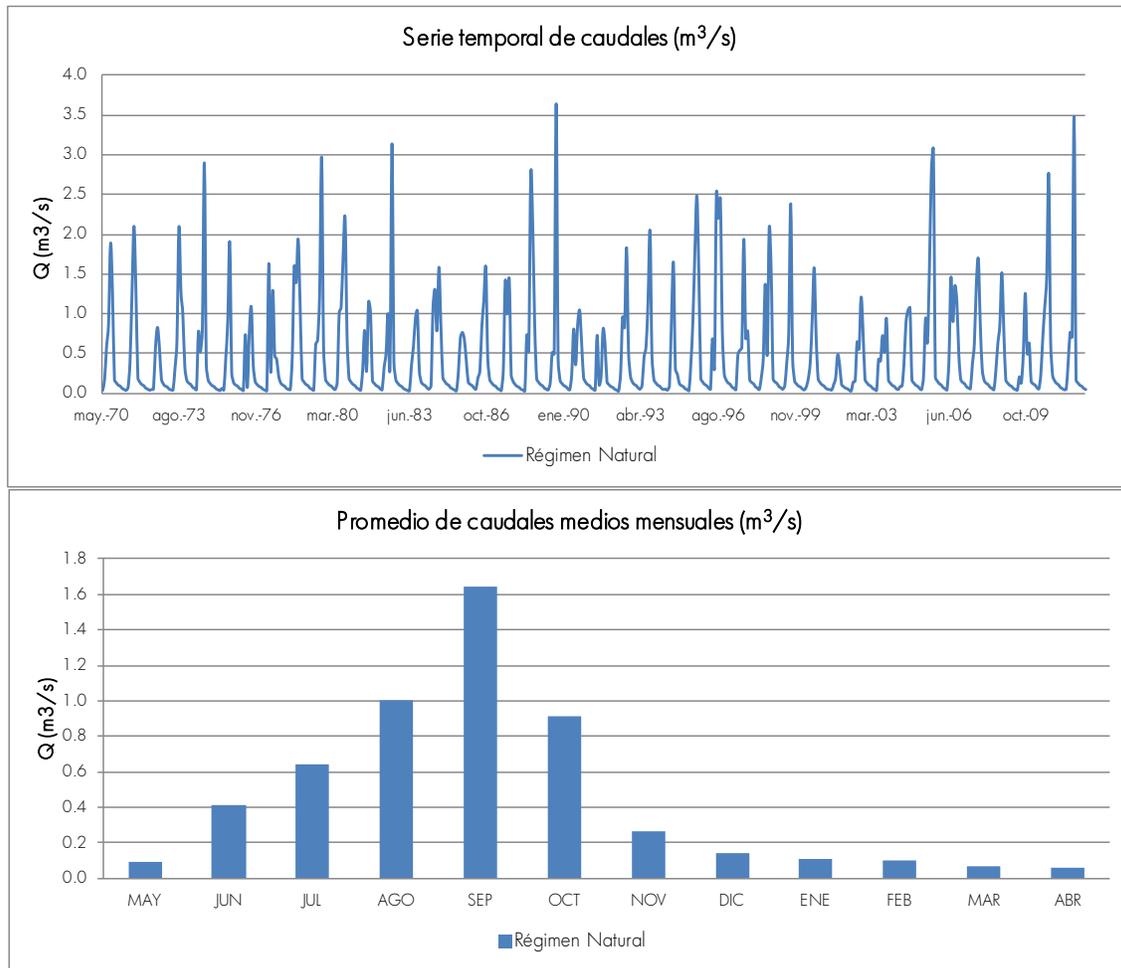


Figura 35. Serie temporal temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo II-08 del río San Antonio.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural se construye la curva de caudales clasificados, que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río (Figura 36).

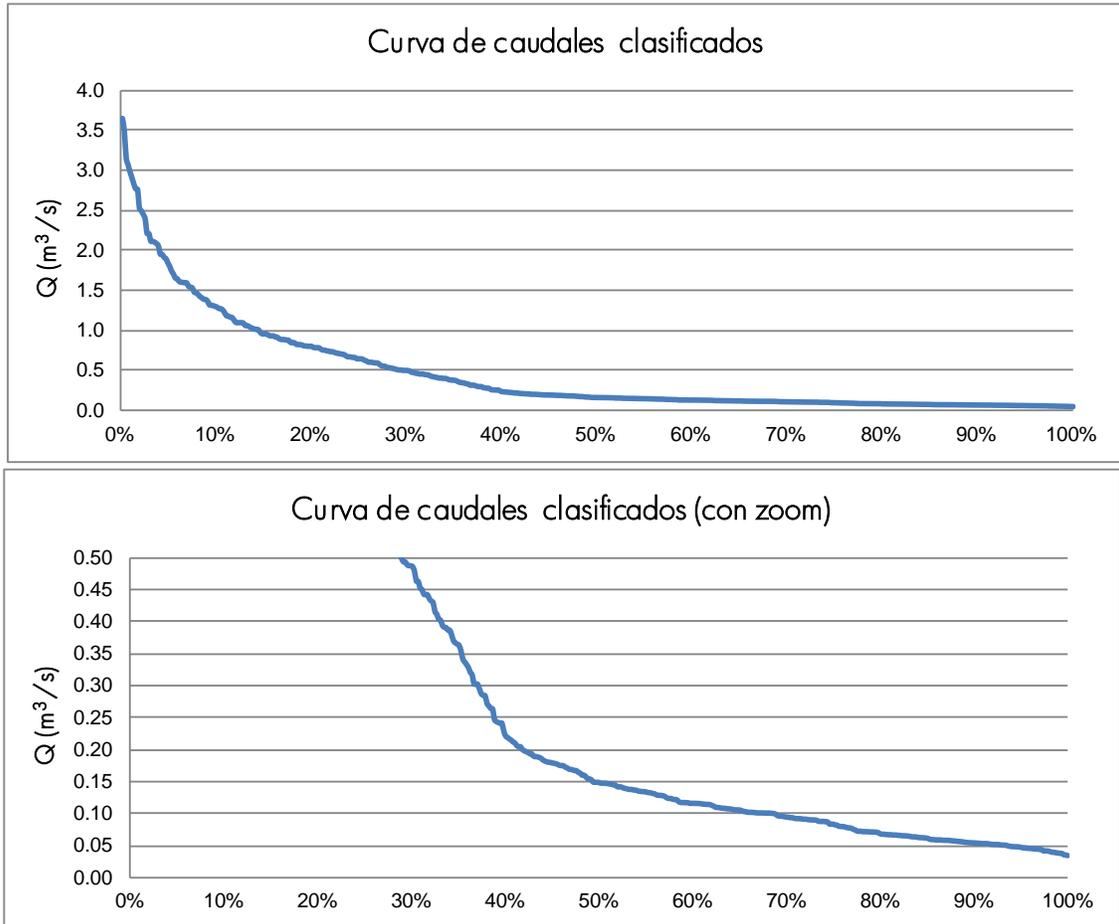


Figura 36. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto II-08 del río San Antonio.

Los resultados del régimen de caudales mínimos obtenido mediante cada uno de los métodos hidrológicos quedan resumidos en la Tabla 29.

Tabla 29. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-08 San Antonio.

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
NGPRP	0.05	0.30	0.53	0.86	1.55	0.71	0.17	0.13	0.10	0.09	0.06	0.05
	52%	74%	83%	86%	94%	78%	64%	90%	90%	90%	90%	90%
Tessman	0.09	0.18	0.26	0.40	0.66	0.37	0.18	0.14	0.11	0.10	0.07	0.06
	100%	44%	40%	40%	40%	40%	68%	100%	100%	100%	100%	100%
30%QMM	0.03	0.12	0.19	0.30	0.49	0.27	0.08	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Tennant (30-50%QMA)*	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
	239%	55%	35%	23%	14%	25%	51%	95%	121%	139%	196%	241%
P33%	0.04	0.19	0.39	0.75	1.14	0.58	0.18	0.13	0.11	0.09	0.07	0.05
	47%	46%	61%	75%	69%	63%	67%	94%	94%	94%	94%	94%
P67%	0.06	0.46	0.65	1.16	1.94	0.89	0.21	0.15	0.12	0.10	0.07	0.06
	60%	113%	102%	115%	118%	98%	79%	103%	103%	103%	103%	103%

*30% del QMA entre los meses de noviembre a abril y 50% del QMA entre los meses de mayo a octubre.

En la Figura 35 se aprecia como el método NGPRP es el más restrictivo durante los meses comprendidos entre junio y octubre. En este mismo periodo los métodos que menos caudal requieren son 30% del QMM y Tennant. El resto de meses el régimen de caudales mínimos obtenido mediante las distintas metodologías es similar entre ellas, siendo el más restrictivo el de Tennant y el menos el del 30% del QMM.

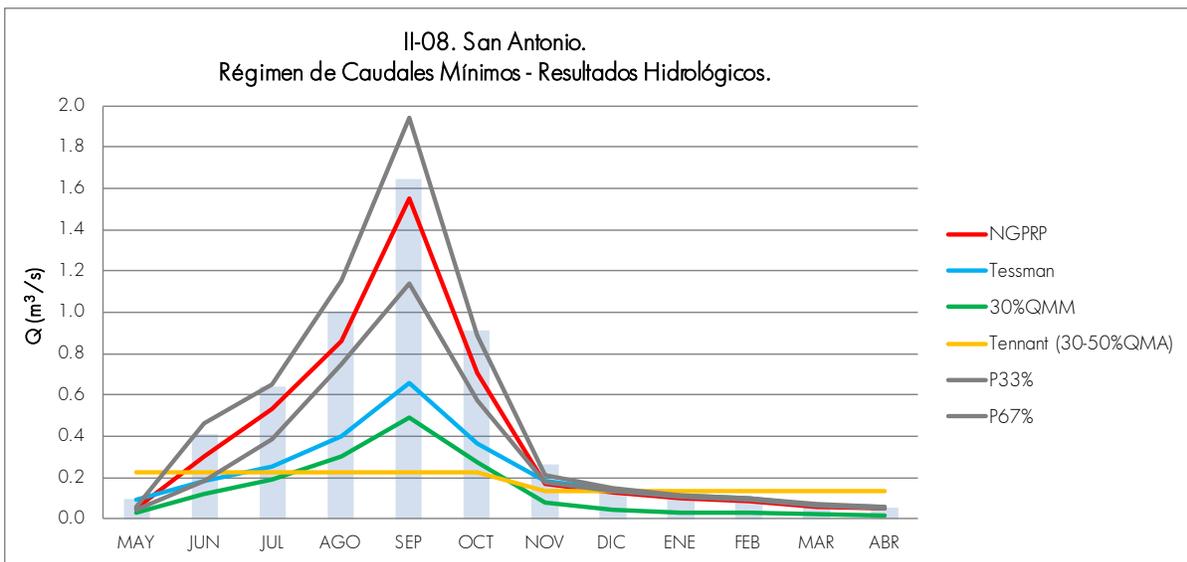


Figura 37. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo río San Antonio. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.



A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el tramo II-08 en río San Antonio persigue los objetivos tipo I, es decir, mantener un caudal ambiental con el objetivo principal de conservar la biodiversidad natural, la calidad de las aguas y los valores culturales y paisajísticos, se proponen los siguientes rangos mensuales de caudales ecológicos, correspondientes a los dos valores más elevados o restrictivos de los cuatro resultados obtenidos. Estos valores propuestos deberán ser evaluados en la fase de participación y concertación junto con las garantías. En la tabla también se muestra el grado de cumplimiento que cada uno de estos valores propuestos supone respecto al régimen natural en el mes correspondiente.

Tabla 30. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m³/s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto II-08 Río San Antonio.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Rango Inferior Qeco (m³/s)	0.09	0.23	0.26	0.40	0.66	0.37	0.17	0.14	0.11	0.10	0.07	0.06
% cumplimiento respecto al RN	24%	62%	83%	90%	90%	93%	81%	62%	45%	45%	45%	45%
Rango Superior Qeco (m³/s)	0.23	0.30	0.53	0.86	1.55	0.71	0.18	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
% cumplimiento respecto al RN	10%	52%	52%	52%	52%	52%	60%	45%	7%	0%	0%	0%

Tramo II-11: Río Acomunca

En la Figura 38 se puede observar la serie en régimen natural del tramo de estudio a partir de la cual se han aplicado los métodos hidrológicos. Puede apreciarse a nivel mensual como los dos eventos de caudales máximos corresponden a septiembre de 1979 y del 1999, seguidos por otros dos eventos de menor magnitud correspondientes a agosto de 1988 y septiembre 1989. Por otro lado, en la gráfica de caudales medios mensuales puede apreciarse como el mes más húmedo por presentar mayor caudal medio es el de septiembre, mientras que los meses más secos son marzo y abril.

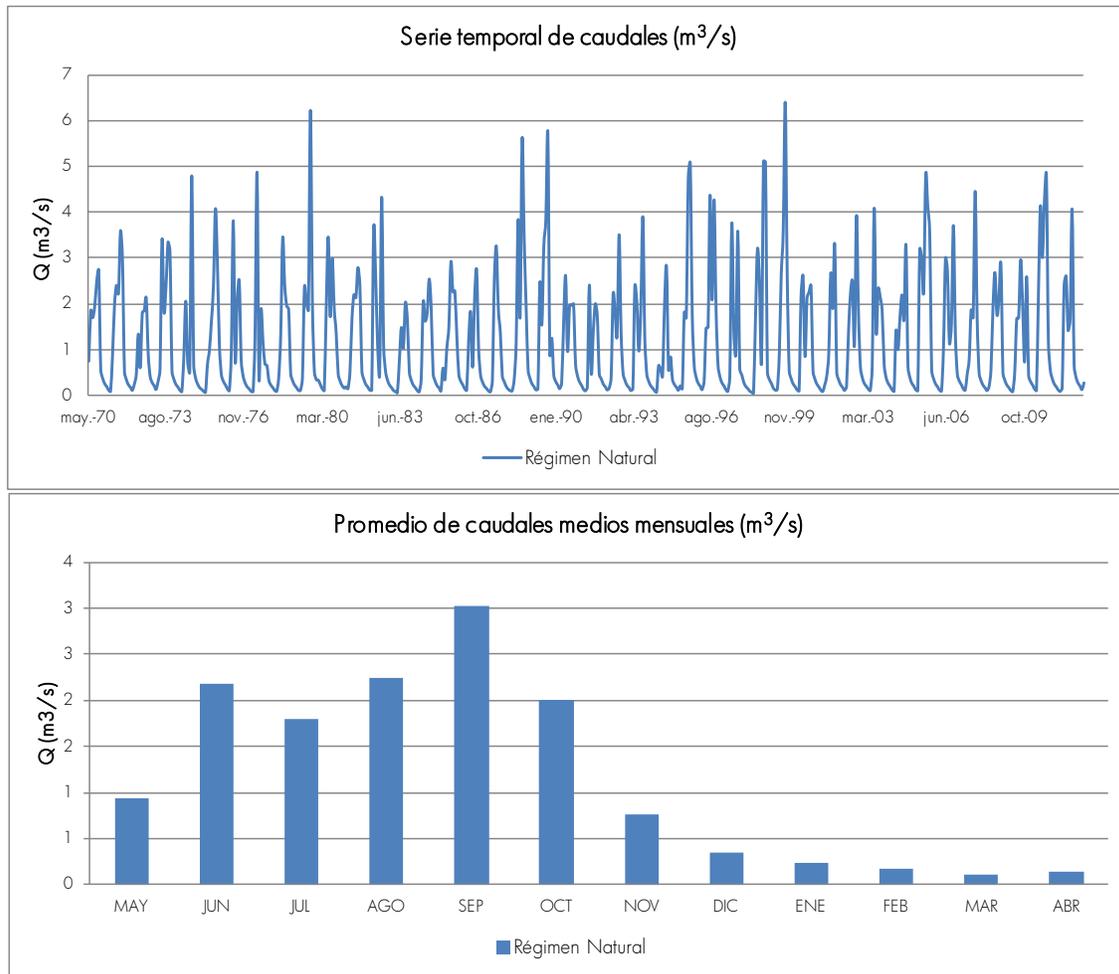


Figura 38. Serie temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo II-11 en el río Acomunca.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural se construye la curva de caudales clasificados, que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río (Figura 39).

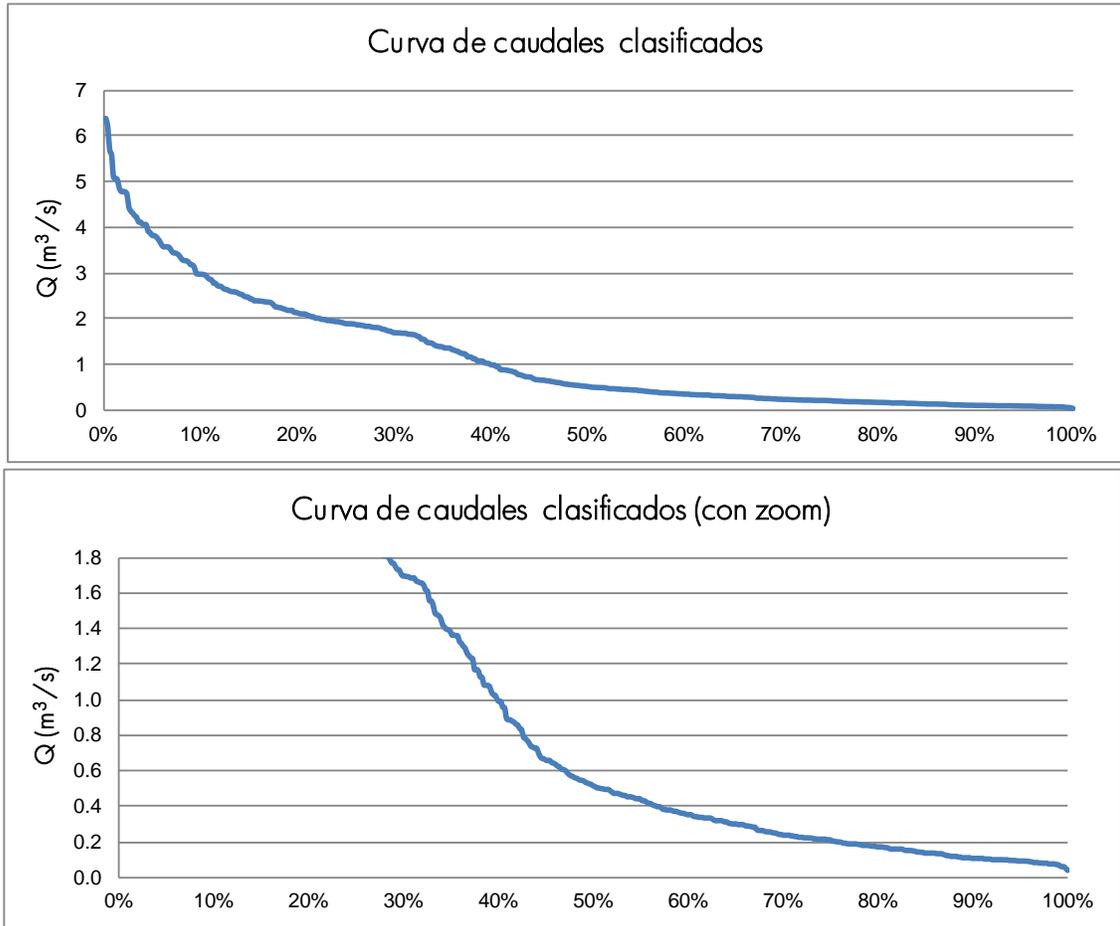


Figura 39. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto II-11 del río Acomunca.

En cuanto a los resultados del régimen de caudales mínimos obtenido mediante cada uno de los métodos hidrológicos quedan resumidos en la Tabla 31.

Tabla 31. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-11 del río Acomunca.

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
NGPRP	0,58	1,99	1,68	2,01	2,51	1,85	0,46	0,30	0,20	0,15	0,09	0,07
	62%	91%	94%	90%	83%	93%	61%	87%	86%	86%	85%	54%
Tessman	0,47	0,87	0,72	0,90	1,21	0,80	0,47	0,35	0,24	0,17	0,11	0,14
	49%	40%	40%	40%	40%	40%	62%	100%	100%	100%	100%	100%
30%QMM	0,28	0,65	0,54	0,67	0,91	0,60	0,23	0,10	0,07	0,05	0,03	0,04
	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Tennant (30-50%QMA)*	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
	62%	27%	32%	26%	19%	29%	46%	101%	148%	200%	318%	257%
P33%	0,39	1,66	1,41	1,84	2,01	1,38	0,49	0,32	0,21	0,16	0,10	0,08
	42%	76%	79%	82%	66%	69%	65%	91%	90%	90%	89%	60%
P67%	1,02	2,42	2,02	2,32	3,57	2,28	0,62	0,36	0,25	0,19	0,11	0,11
	108%	111%	112%	103%	118%	114%	82%	105%	105%	107%	103%	79%

*30% del QMA entre los meses de noviembre a abril y 50% del QMA entre los meses de mayo a octubre.

En la Figura 40 vuelve a apreciarse como el método NGPRP es el más restrictivo durante los meses comprendidos entre junio y octubre, con una diferencia considerable respecto a los resultados obtenidos por el resto de metodologías. En este mismo periodo los métodos que menos caudal requieren son 30% del QMM y Tennant. El resto de meses el régimen de caudales mínimos obtenido mediante las distintas metodologías es similar entre ellas, siendo el más restrictivo el de Tennant y el menos el del 30% del QMM.

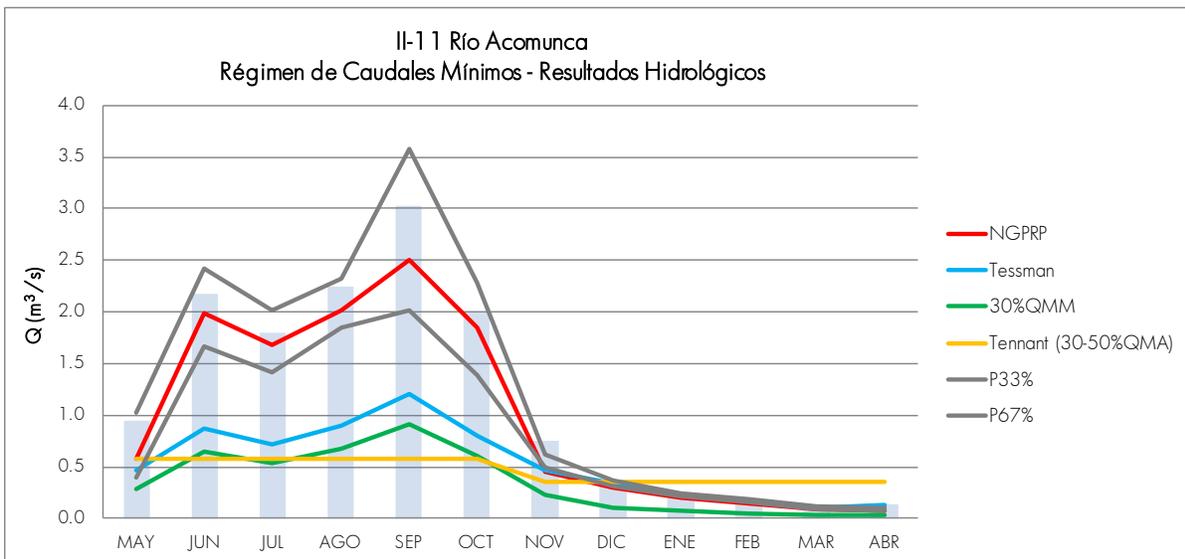


Figura 40. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m³/s, mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo II-11 en el río Acomunca. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.



A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el tramo II-11 en el río Acomunca persigue los objetivos tipo I, es decir, mantener un caudal ambiental con el objetivo principal de conservar la biodiversidad natural, la calidad de las aguas y los valores culturales y paisajísticos, se proponen los siguientes rangos mensuales de caudales ecológicos, correspondientes a los dos valores más altos o restrictivos de los cuatro resultados obtenidos. Estos valores propuestos deberán ser evaluados en la fase de participación y concertación junto con las garantías. En la tabla también se muestra el grado de cumplimiento que cada uno de estos valores propuestos supone respecto al régimen natural en el mes correspondiente.

Tabla 32. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m³/s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto II-11 Río Acomunca.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Rango Inferior Qeco (m³/s)	0.58	0.87	0.72	0.90	1.21	0.80	0.46	0.35	0.24	0.17	0.11	0.14
% cumplimiento respecto al RN	52%	88%	86%	93%	95%	83%	81%	48%	50%	45%	38%	31%
Rango Superior Qeco (m³/s)	0.58	1.99	1.68	2.01	2.51	1.85	0.47	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
% cumplimiento respecto al RN	52%	52%	57%	52%	52%	52%	79%	48%	0%	0%	0%	2%

7.3.3. Zona hidrográfica III: Jiquilisco - Goascorán

Tramo III-02: Río San Antonio

La serie en régimen natural del tramo de estudio a partir de la cual se han aplicado los métodos hidrológicos se muestra en la Figura 41. Puede apreciarse a nivel mensual, como los dos eventos de máximo caudal que corresponden a octubre de 1998 y 2008. Por otro lado, en la gráfica de caudales medios mensuales puede apreciarse como el mes más húmedo por presentar mayor caudal medio es el de octubre, seguido de septiembre, mientras que los meses más secos son abril y marzo.

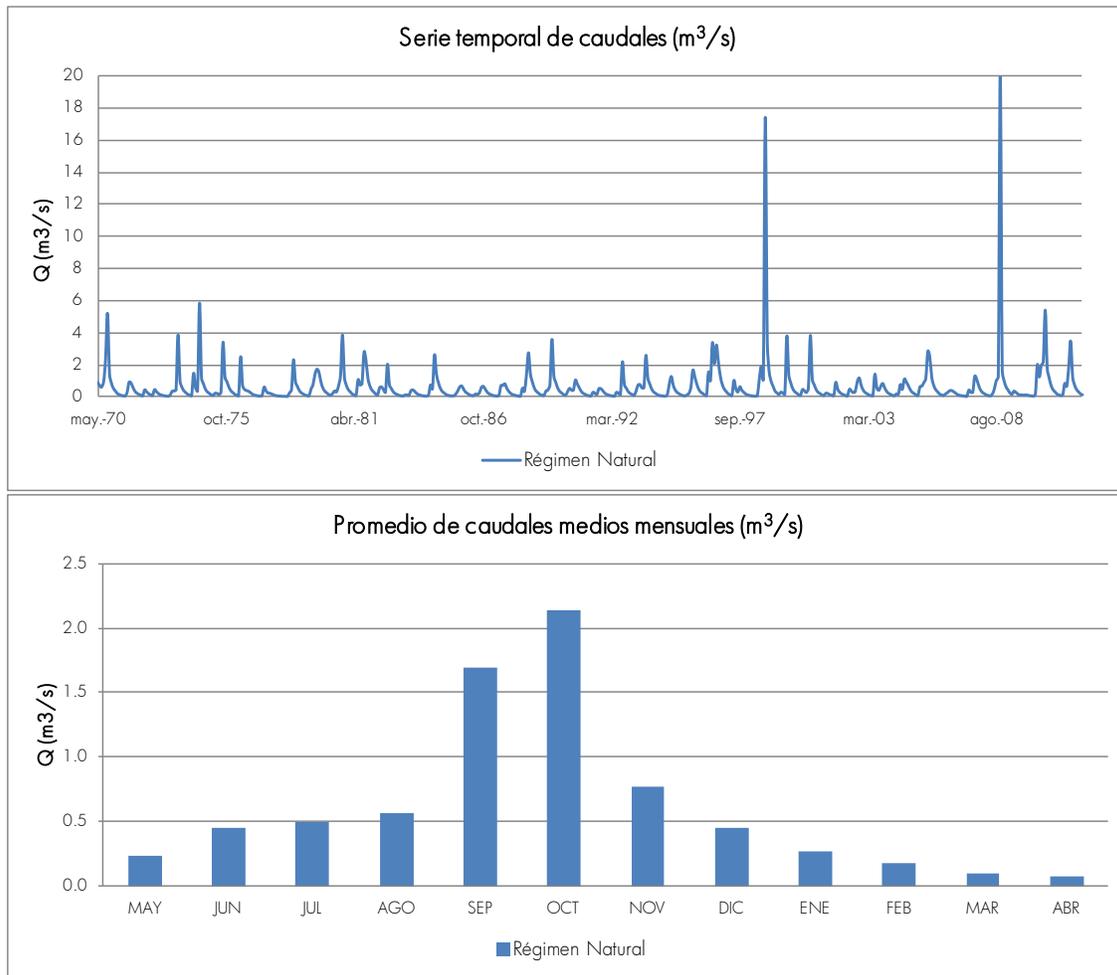


Figura 41. Serie temporal temporal (arriba) y promedio de caudales medios mensuales (debajo) de la serie en régimen natural del tramo III-02 en el río San Antonio.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural se construye la curva de caudales clasificados, que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río (Figura 42).

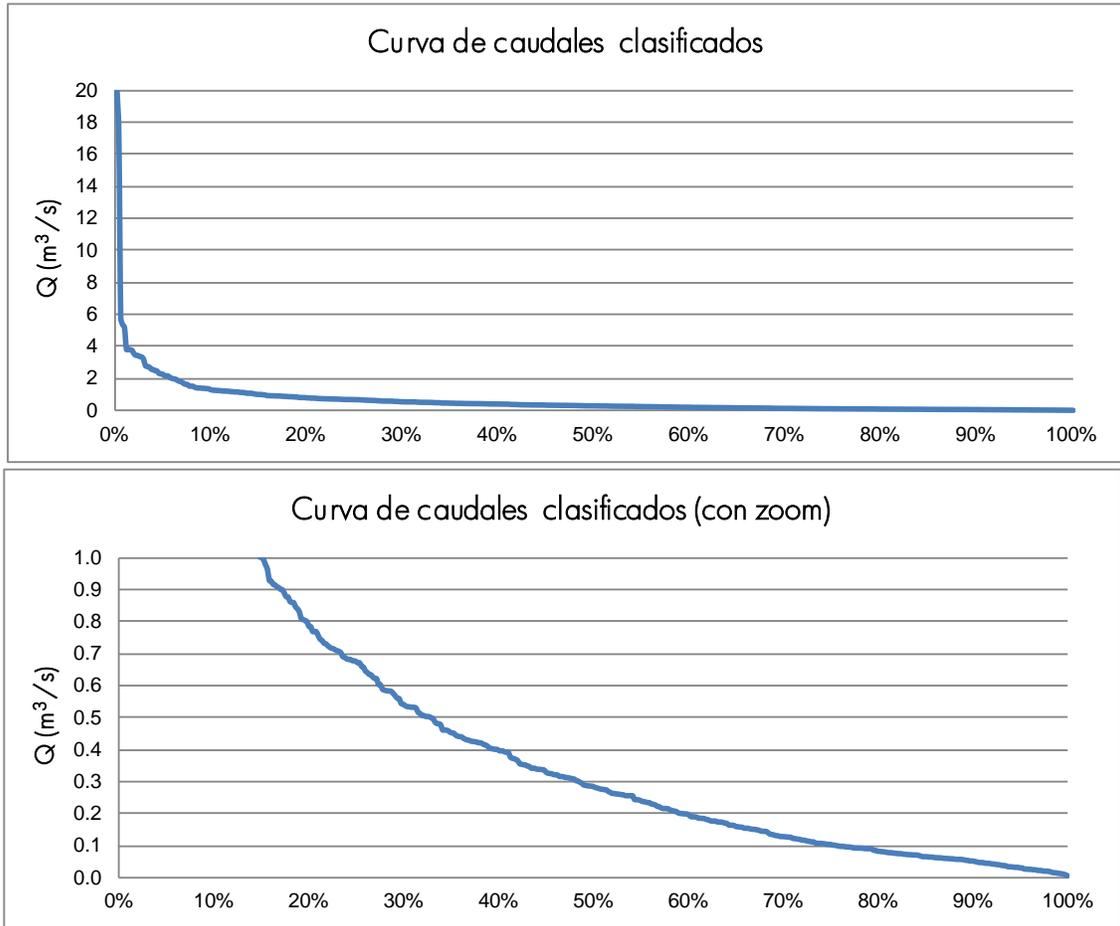


Figura 42. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo obtenido a partir de los distintos métodos hidrológicos aplicados en el punto III-02 del río San Antonio.

En la Tabla 33 se muestra un resumen de los resultados del régimen de caudales mínimos obtenido mediante cada uno de los métodos hidrológicos propuestos.

Tabla 33. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m^3/s , y porcentaje respecto al caudal medio mensual del resultado obtenido mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo III-02 río San Antonio.

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
NGPRP	0.06	0.26	0.31	0.36	1.16	1.07	0.32	0.19	0.11	0.08	0.04	0.03
	24%	57%	64%	64%	69%	50%	41%	42%	42%	42%	42%	41%
Tessman	0.24	0.25	0.25	0.25	0.68	0.85	0.31	0.25	0.25	0.18	0.10	0.07
	100%	55%	50%	44%	40%	40%	40%	55%	91%	100%	100%	100%
30%QMM	0.07	0.14	0.15	0.17	0.51	0.64	0.23	0.13	0.08	0.05	0.03	0.02
	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Tennant (30-50%QMA)*	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
	131%	68%	63%	55%	18%	14%	24%	41%	68%	102%	186%	255%
P33%	0.04	0.14	0.22	0.26	0.76	0.76	0.53	0.31	0.19	0.13	0.07	0.05
	17%	32%	45%	47%	45%	36%	68%	69%	69%	69%	69%	63%
P67%	0.16	0.47	0.53	0.55	2.18	1.29	0.86	0.51	0.31	0.21	0.11	0.07
	66%	103%	108%	97%	129%	61%	111%	113%	113%	113%	113%	102%

*30% del QMA entre los meses de noviembre a abril y 50% del QMA entre los meses de mayo a octubre.

En la Figura 43 vuelve a apreciarse como el método NGPRP es considerablemente el más restrictivo durante los meses de septiembre y octubre, correspondientes a los más caudalosos. El resto de meses el régimen de caudales mínimos obtenido mediante las distintas metodologías es bastante similar, detectándose pequeñas diferencias en el método de Tennant durante los meses de marzo abril y mayo con valores superiores de caudal respecto al resto, y los meses de septiembre y octubre con valores inferiores.

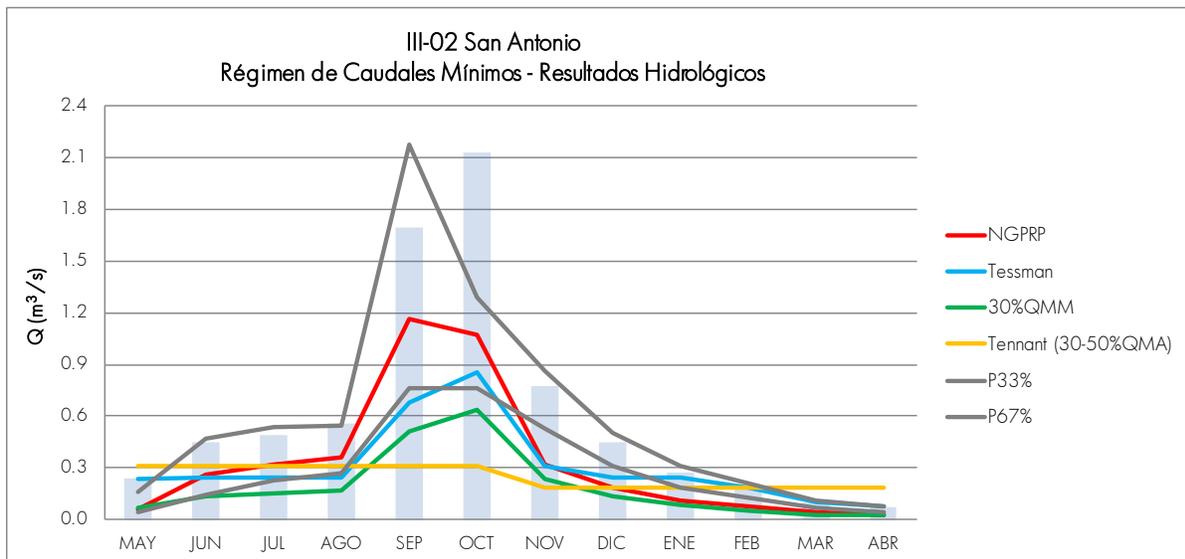


Figura 43. Resultados del régimen de caudales mínimos, en m^3/s , mediante cada una de las metodologías propuestas, en el tramo III-02 en el río San Antonio. Las barras al fondo de la gráfica representan los caudales mensuales en régimen natural.



A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el tramo III-02 en el río San Antonio persigue los objetivos tipo I, es decir, mantener un caudal ambiental con el objetivo principal de conservar la biodiversidad natural, la calidad de las aguas y los valores culturales y paisajísticos, se proponen los siguientes rangos mensuales de caudales ecológicos, correspondientes a los dos valores más elevados o restrictivos de los cuatro resultados obtenidos. Estos valores propuestos deberán ser evaluados en la fase de participación y concertación junto con las garantías. En la tabla también se muestra el grado de cumplimiento que cada uno de estos valores propuestos supone respecto al régimen natural en el mes correspondiente.

Tabla 34. Propuesta del rango de caudales ecológicos (m³/s) a establecer y porcentaje del grado de cumplimiento de cada uno de los valores respecto a la serie en régimen natural. Punto III-02 Río San Antonio.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Rango Inferior Qeco (m³/s)	0.24	0.26	0.31	0.31	0.68	0.85	0.31	0.19	0.19	0.18	0.10	0.07
% cumplimiento respecto al RN	26%	52%	55%	62%	69%	62%	83%	81%	69%	45%	45%	36%
Rango Superior Qeco (m³/s)	0.31	0.31	0.31	0.36	1.16	1.07	0.32	0.25	0.25	0.19	0.19	0.19
% cumplimiento respecto al RN	24%	48%	52%	52%	52%	52%	81%	79%	52%	40%	5%	5%

7.4. CONCLUSIONES

Analizando los resultados de todos los puntos de estudio se pueden realizar algunas generalizaciones al respecto:

- A partir de los caudales medios mensuales modelados en régimen natural se observa que, de manera generalizada, el mes más caudaloso es septiembre, mientras que los meses más secos corresponden a marzo y abril. Existen varios episodios punta de caudal que varían según ubicación de los puntos de estudio.
- Analizando los resultados obtenidos mediante las distintas metodologías, se puede afirmar que durante los meses húmedos, existe mayor disparidad de resultados entre resultados que en los meses secos. Sin embargo, en el periodo seco comprendido entre los meses de noviembre a abril los resultados obtenidos no difieren tanto, obteniéndose los resultados más restrictivos mediante las metodologías de NGPRP y Tessman y los menos restrictivos mediante la metodología del 30% del caudal medio mensual
- Para el periodo comprendido entre los meses de junio y octubre, la **metodología NGPRP** es la más restrictiva o conservadora, es decir, la que exige un mayor caudal mínimo, obteniéndose valores similares a los promedios mensuales de las distintas series analizadas. Durante este mismo periodo, las diferencias son significativas respecto al resto de metodologías. El resto del año, los resultados obtenidos son similares.
- En cuanto a la metodología 30% del caudal medio mensual, puede afirmarse que prácticamente para la totalidad de los meses, exceptuando aquellos con caudal más alto, es la metodología menos conservadora o la que recoge los valores mínimos más bajos.
- En cuanto a la metodología de Tennant, los resultados obtenidos son dos valores, uno para la época seca y otro para la época húmeda. Es por ello que durante el mes de mayor caudal, que generalmente es septiembre, los caudales mínimos más bajos se obtienen mediante esta metodología. Por otro lado, durante los meses de caudales más bajos los resultados obtenidos son generalmente superiores a los caudales medios mensuales.
- En cuanto a los resultados obtenidos con la metodología de Tessman se aprecia como durante los meses secos los resultados obtenidos son muy próximos a los valores medios mensuales, mientras que en la época húmeda se distancian más de éstos.

En todos los tramos de estudio se observa un comportamiento variable durante el transcurso de los meses, evidenciando que el método más conservador durante los meses húmedos es el NGPRP, y durante los meses secos el de Tessman. Por otro lado, el método menos conservador durante prácticamente todo el año a excepción de los dos o tres meses más caudalosos es el 30% del QMM.

Todos estos aspectos han de tenerse en cuenta de cara al proceso de participación, donde el establecimiento del régimen de caudales mínimos dependerá del objetivo ambiental que se plantee alcanzar en cada uno de los tramos. Los resultados, por tanto, han de tratarse tramo a tramo debido a la complejidad y diversidad de resultados.

Como punto de partida de cara a los procesos de participación, se ha propuesto para cada uno de los tramos un rango de caudales ecológicos por mes, definido a partir de los resultados obtenidos a través de los distintos métodos hidrológicos aplicados, y del objetivo ambiental a alcanzar en cada tramo.

8. CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA EN FASES POSTERIORES

Pasos posteriores tras la aprobación del Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador:

- **Clasificación hidrológica para facilitar la extrapolación de resultados:** La clasificación hidrológica constituye el primer paso de un reciente marco holístico para el desarrollo de caudales ambientales a escala regional: los “Límites Ecológicos de la Alteración Hidrológica” (ELOHA) (Poff, y otros, 2010). Uno de los posteriores trabajos a realizar es desarrollar una clasificación a nivel nacional en El Salvador basada en la caracterización de su régimen natural de caudales. Dicha clasificación puede servir en un futuro a las autoridades salvadoreñas como apoyo a la estimación y extrapolación de los caudales ecológicos en las distintas cuencas del país. A su vez, esta clasificación permitirá establecer prioridades de actuación aplicando experiencias piloto que pudieran irse ampliando a otras cuencas.
- **Obtención del régimen natural a escala diaria.** Para conocer la desviación del régimen actual con el natural, se debe disponer de datos en régimen natural a escala diaria para la aplicación de los métodos hidrológicos y la determinación del resto de términos cuya agrupación recibe el nombre genérico de “caudales ambientales”. Estos datos pueden obtenerse o estimarse de diferentes formas:
 - A partir de los registros de las series de aforo en aquellos tramos fluviales que conserven el régimen natural.
 - Mediante restitución de las series. Modelización hidrológica de series en régimen natural a escala mensual con la estimación posterior de la serie a escala diaria. En el caso de El Salvador podrían utilizarse los datos provenientes del modelo de simulación lluvia-escorrentía (Evalhid).

Para poder pasar los datos restituidos mensuales a diarios, se pueden emplear unos coeficientes de variación o pesos que permitan repartir de forma diaria los aportes mensuales caracterizados. Para ello es necesario identificar aquellas series hidrológicas pertenecientes a estaciones de aforo que recogen el régimen natural o bien, que durante algún periodo han podido recoger dicho régimen a escala diaria. Se selecciona el año patrón; a modo de recomendación se podría elegir aquel patrón de distribución diaria del mes que más se aproxime a la aportación mensual media (es decir, aquel cuya desviación típica más se aproxime a 1). Es recomendable localizar y asociar al menos una de estas series por región hidrológica y/o hidroclimática.

- **Estimación del caudal máximo:** es el mayor caudal que debe circular por un tramo de río regulado y que no debe ser superado al generar los caudales ecológicos salvo en las grandes avenidas. Se refiere al caudal máximo admisible para un río o tramo de río considerado y se define para casos específicos de trasvases o descargas periódicas (de caudales altos y con relativa frecuencia) desde grandes embalses de regulación.

Los caudales artificialmente altos y continuados pueden reducir las poblaciones piscícolas de los estadios y especies más sensibles por agotamiento al superar las velocidades críticas, produciendo su desplazamiento hacia aguas abajo o incluso su muerte. Es recomendable durante la gestión ordinaria no superar las velocidades críticas o velocidades de agotamiento, asegurando el mantenimiento de unas condiciones medias en el cauce asimilables a las velocidades óptimas de desplazamiento (velocidades a las que el pez es capaz de desplazarse grandes distancias manteniendo un coste energético de desplazamiento mínimo).

- **Estimación del caudal de crecida o generador:** El transporte de sedimentos y, por tanto, los cambios en la morfología del cauce, suelen ser bastante episódicos, y ocurren principalmente durante las crecidas. Aunque las grandes crecidas con periodos de retorno elevados pueden reestructurar el cauce de forma acusada, las

crecidas más influyentes y que ejercen un mayor trabajo geomorfológico suelen ser aquellas más pequeñas, con un periodo de retorno de uno o dos años, que llenan todo el cauce y están a punto de desbordar a la llanura de inundación. Esto es lo que se llama **caudal generador o bankfull**. Este caudal es reconocido a nivel científico como uno de los indicadores más representativos del comportamiento del flujo, y tiene diversas funciones ecosistémicas tales como el mantenimiento de la geometría del cauce y la morfología fluvial en general y la regeneración periódica del sustrato y saneamiento del cauce. Por tanto, es necesario adaptarlo a las condiciones de regulación en términos de magnitud, momento, frecuencia y duración.

El caudal generador del lecho es representativo de la magnitud y frecuencia de aquellos caudales máximos con significación geomorfológica. Por tanto, el caudal generador es equiparable al caudal de sección llena o nivel de cauce ordinario (bankfull).

Los parámetros a determinar para caracterizar el caudal generador en una determinada masa de agua son:

- Frecuencia: el periodo de retorno (T) de la máxima crecida ordinaria se puede estimar a partir del coeficiente de variación.
 - Magnitud: la magnitud del caudal generador viene dada por el caudal de avenida asociado al periodo de retorno de la máxima crecida ordinaria. Se toman los caudales máximos anuales de la serie histórica y se realiza un ajuste utilizando diferentes distribuciones estadísticas (p.e. Gumbel, Log Pearson, Log Normal) mediante la obtención del promedio de la magnitud de las avenidas del periodo de retorno considerado.
 - Número de eventos a estudiar: de entre los episodios de avenida identificados a lo largo de los n años de la serie de caudales, se analizan los n/T eventos con caudal punta más próximo al caudal generador.
 - Tasa de cambio: para cada evento seleccionado, se hallan las tasas máximas de cambio (pendiente, $m^3/s/día$) de las ramas ascendente y descendente de los hidrogramas, obteniéndose sendas series de tasas, de n/T elementos.
 - Duración del evento: definida por la tasa de ascenso y descenso, desde el caudal base hasta el caudal generador y viceversa.
 - Estacionalidad: se valora la estacionalidad como el mes en que se produce la mayor frecuencia de eventos o precipitaciones en distintos periodos de retorno en función de dicha frecuencia.
- **Elaboración de estudios piscícolas.** Una de las mejores maneras de validar los métodos hidrológicos desarrollados es comparando la relación que tienen estos resultados con los procesos ecológicos y validar la relación a nivel nacional mediante la aplicación simultánea de metodologías hidrológicas y de simulación del hábitat físico en varios casos de estudio. Las especies piscícolas son las que tienen una respuesta más rápida y directa ante las variaciones del régimen de caudales. Es por ello que algunas metodologías estiman un régimen de caudal ecológico que maximice la cantidad de microhábitat para una etapa vital concreta de una especie piscícola de especial interés en unos pocos puntos específicos del río. Estas metodologías permiten reproducir diversas intensidades de regulación sobre el sistema, y estudiar los efectos sobre los hábitats piscícolas (Magdaleno, 2005).

En la actualidad en El Salvador, no se dispone de información específica del estado de las poblaciones piscícolas, desconociéndose aquellas indicadoras o a preservar. Convendría en un futuro llevar a cabo inventarios piscícolas actuales a nivel nacional y poder conocer de manera específica aquellas poblaciones que deberían ser objeto de estudio ante las variaciones de las variables físicas del hábitat disponible e

idóneo. De este modo, podrían validarse los resultados obtenidos mediante métodos hidrológicos a través de los resultados obtenidos mediante métodos hidrobiológicos.

- **Caudales ecológicos atendiendo a valores culturales:** los valores culturales del medio fluvial suponen un servicio básico a las sociedades, que siempre han encontrado en los ambientes riparios lugares de espacamiento y recreo. Prácticamente en todas las sociedades, el elemento agua ha sido el objeto central de multitud de celebraciones de toda índole, dado la importancia que tiene este recurso para su desarrollo. Por otro lado en El Salvador, cabe considerar el derecho al agua de los pueblos indígenas conforme a las reglas del derecho tradicional.

Para evaluar esta componente social y cultural, no existen métodos descritos de manera específica, ya que se puede considerar una variable dependiente de otras, como la vegetación de ribera, la geomorfología del río o la calidad de las aguas. Sin embargo se trata de uno de los aspectos que mejor definen, en última instancia, el estado real del río, puesto que cualquier alteración grave de las características del medio fluvial hace inviable en muchos casos la celebración de ciertas actividades de índole cultural o religioso. Los gestores deberán programar, para las fechas en que éstas se realicen, la descarga de caudales que no impidan por exceso o por defecto su celebración. Además, se deberá dotar al sistema de avenidas generadoras y de limpieza que aseguren el buen estado de las riberas y llanuras de inundación, en las épocas de afluencia a estas celebraciones.

Esta gestión cultural de los ríos no es más que una estrategia de acercamiento a los mismos y es la que se debe incluir como etapa metodológica en el manejo de estos sistemas, para evitar que las regulaciones e intervenciones en los ríos supongan su desconexión con las poblaciones y comunidades. Esta gestión se podría conectar con las distintas demandas y usos para que desde la planificación se tengan en cuenta estos tramos de ríos afectados. En todos los procesos sería deseable la participación de los distintos actores implicados, como garantes del impulso de las iniciativas y del establecimiento de las limitaciones correspondientes.

- **Estimación de las demandas ambientales:** Uno de los aspectos que debería quedar definido en la futura Ley de Aguas en el país es la **estipulación de los caudales ecológicos bien como demanda o bien como restricción ambiental**. La diferencia estriba en cómo son considerados los caudales al realizar los balances de los sistemas y el posterior análisis de las garantías de las demandas.

En caso de que los caudales ecológicos se interpretasen como una restricción, esta agua tendría máxima prioridad, solo superada por la primacía de los abastecimientos y no se incluiría dentro del balance de recursos y demandas. Implicaría una revisión de todos los derechos otorgados hasta el momento. Por el contrario, si los caudales ecológicos fueran considerados como una demanda más, entrarían en competencia con el resto de demandas. Esto supondría tanto una negociación junto con el resto de demandas como una implicación de las administraciones con competencias en medio ambiente que representasen esta demanda de caudal ecológico en el proceso de concertación.

- **Proceso de Implementación:** Una vez determinado del régimen ambiental hay que velar por su **implementación y cumplimiento**. Para ellos es imprescindible desarrollar una estrategia de trabajo, incorporando actividades, plazos, indicadores, etc., para asegurar que se dará un paso que conllevará importantes modificaciones de los escenarios de uso y gestión tradicionales, y que requerirá de consideraciones ambientales, sociales, técnicas, legales, económicas y culturales, que deberán conjugarse

en un contexto de participación, conciliación de derechos y demandas, y salvaguarda de la integridad de los ecosistemas vinculados al agua.

Una vez definido el régimen de caudales ecológicos, la implementación puede verse dificultada por el incumplimiento por parte de los operadores de infraestructuras, administraciones o ciudadanos. El incumplimiento puede ser prevenido informando a los actores que juegan un papel importante sobre las distintas acciones necesarias para el proceso de implementación, e incluso involucrarles en la aplicación real del proceso.

En otros casos, puede ser necesaria la elaboración de un **programa de seguimiento y control**, donde se lleve a cabo un monitoreo de las condiciones hidrológicas, flujos efectuados y respuesta del ecosistema.

El monitoreo de los caudales circulantes juega un papel importante en la evaluación del cumplimiento del régimen de caudales ambientales. Este monitoreo puede llevarse a cabo mediante estaciones hidrométricas existentes, estaciones hidrométricas nuevas, puesta en uso de estaciones que no se encuentran en funcionamiento. También podría aprovecharse la infraestructura de las centrales hidroeléctricas para este monitoreo.

La **relación entre el régimen de caudales y la respuesta de los ecosistemas** sigue siendo un campo relativamente desconocido, y no ha sido estudiado en detalle para muchas especies y ríos. Generalmente en los estudios de planificación no hay presupuesto suficiente para establecer un programa de captura de datos y análisis, y por tanto, las relaciones del ecosistema con el caudal suelen estar basados en la opinión de expertos.

Esta **incertidumbre** puede constituir un obstáculo para la toma de decisiones. Aunque la investigación adicional puede reducir la incertidumbre, es poco probable que ésta se vea mermada sustancialmente en el corto plazo. Una solución podría ser la aplicación del **método de “gestión adaptativa”**, o lo que es lo mismo, aprender haciendo. Este método de gestión hace frente a las incertidumbres en los sistemas naturales inicialmente, en función de los conocimientos disponibles, y posteriormente va aprendiendo y actualizando las acciones de gestión. El método puede definirse a través de tres pasos:

- **Monitoreo y recopilación de la información científica**, mediante la cual se pondrán a prueba las diferentes hipótesis sobre el comportamiento del ecosistema.
- **Aprendizaje social**, con el objetivo de mejorar las políticas y prácticas de gestión a partir de las estrategias de gestión aplicadas. En este proceso intervienen todos los actores involucrados junto con los expertos, para una mejor comprensión del funcionamiento del sistema. La relación “caudal – respuesta ecosistema” puede verse modificada y reevaluarse el impacto de las estrategias aplicadas.
- El manejo adaptativo requiere que la **estrategia para lograr el objetivo ambiental sea flexible** y pueda verse modificado en base a los resultados del monitoreo.

Es importante destacar que la posible incertidumbre existente en la relación “caudal - respuesta ecosistema” debido a la falta de estudios, no justifica la no aplicación de los caudales ambientales. Para ello, TNC y WWF desarrollaron **9 directrices para llevar a cabo el proceso de evaluación e implementación** (Le Quesne, Kendy, & Weston, 2010):



1. En la implementación, llevar a cabo un enfoque por fases para reducir la presión sobre los recursos limitados.
2. Ser oportunista y hacer uso de los instrumentos jurídicos adecuados
3. Trabajar de forma continua y lenta en la construcción de la capacidad técnica y de gestión.
4. Limitar las extracciones y alteración del caudal tan pronto como sea posible
5. Definir unos objetivos claros sobre la base de un proceso inclusivo, transparente y comunicativo.
6. Desarrollar un marco institucional claro, incluyendo una supervisión independiente.
7. Crear mecanismos de financiamiento sostenible.
8. Llevar a cabo proyectos piloto a pequeña escala.
9. Permitir flexibilidad en la metodología de implementación, y definir un plazo para ello.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acreman, M., & Dunbar, M. (2004). Defining environmental river flow requirements, a review. . *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(5): 861-876.
- Andersson, E., Nilsson, C., & Johansson, M. (2000). Effects of river fragmentation on plant dispersal and riparian flora. *Regulated Rivers: Research and Management*, 16: 83-89.
- Arthington, A. H., & Pusey, B. J. (2003). Flow restoration and protection in Australian rivers. *River Research and Applications*, 19:377-395.
- Arthington, A. H., Brizga, S. O., & Kennard, M. J. (1998). Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques: Best Practice Framework. *Land and Water Resources Research and Development Corporation: Canberra, Australia*, 25-98.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1970). *Ley de riego y Avenimiento*. San Salvador: Diario Oficial N° 213, Tomo 229 del 23/11/1970.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (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. (1998). *Ley del Medio Ambiente*. Diario Oficial No: 79; Tomo No: 339.
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2005). *Ley de Áreas Naturales Protegidas*. Diario Oficial No.:32. Tomo No.:366.
- Barberà Compte, C. (2007). *Plan director de abastecimiento y saneamiento de las cuencas internas del departamento de la Libertad (El Salvador)*. Universidad Politècnica de Catalunya. Minor thesis.
- Beca. (2008). *Draft guidelines for the selection of methods to determine ecological flows and water levels*. Wellington: Ministry for the Environment. New Zealand: Report by Beca Infrastructure Ltd for Ministry for the Environment.
- Benetti, A., Lanna, E., & Cobalchini, M. (2003). Metodologías para determinação de vazoes ecológicas em ríos. *Revista Brasileira de Recursos Hidricos*. Vol. 8, N°2, 149-160.
- Bovee, K. (1982). *A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology*. United States Fish and Wildlife Service, Cooperative Instream Flow Group, Instream Flow Information Paper n° 12. Fort Collins, Colorado.
- Brizga, S. (1998). *Methods addressing flow reueriments for geomorphological purposes*. (En: Arthington, A.H. & J.M. Zalucki. *Comparative evaluation of environmental flow assessment techniques: review of methods*). Canberra, Australia: Land and Water Resources Research and Development Corporation (LWRRDC).
- Brown, C., & King, J. (2003). *Environmental Flows: Concepts and methods*. Washington, D.C: Water Resources and Environment Technical. The World Bank.
- Bustamante, M. L. (2011). *“Environmental Flows: policy implications and institutional arrangements in the*. UNESCO - IHE.



- Díez, J. M. (2000). Tesis: Metodologías para la estimación de caudales ecológicos. Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias.
- Dyson, M., Bergkamp, G., & Scanlon, J. (2003). Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales. Tr. José María Blanch. San José, C.R.: UICN-ORMA.
- EFM. (2003). *Environmental Flow Methodologies*.
- GEA. (2011). *Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia*.
- Gordon, N. D., Mac Mahon, T. A., & Finlayson, B. L. (1992). *Stream Hydrology. An Introduction for Ecologist*. Chichester: John Wiley and Sons.
- Hirji, R., & David, R. (2009). *Environmental Flows in Water Resources Policies, Plans, and Projects: Finding and Recommendations*. The World Bank.
- International Water Management Institute (IWMI)*. (2004). Obtenido de www.iwmi.cgiar.org/
- Jowett, L. G. (1989). *River hydraulic and habitat simulation, RHYHABSIM computer manual*. New Zealand Ministry of Agriculture and Fisheries, Fisheries Miscellaneous Repon 49. Christchurch.
- King, J. M., Tharme, R. E., & De Villers, M. S. (2000). *Environmental flow assessments for rivers: manual for the Building Block Methodology*. Pretoria, South Africa.: WRC Report No: TT 131/00. Water Research Commission.
- King, J. M., Tharme, R. E., & Villiers, M. d. (2008). *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology*. updated Edition.
- King, J., Brown, C., & Sabet, H. (2003). A Scenario-Based Holistic Approach to Environmental Flow Assessments for Rivers. *River Research and Applications*, 19: 619-639.
- Kulik, B. H. (1990). A Method to Refine the New England Aquatic Base Flow Policy. *Rivers*, 8:22.
- Le Quesne, F., Kendy, E., & Weston, D. (2010). *The Implementation Challenge. Taking stock of government policies to protect and restore environmental flows*. WWF y The Nature Conservancy.
- Magdaleno, F. (2005). *Caudales ecológicos: conceptos, métodos e interpretaciones*. Monografías CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas), M-82. Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento.
- MARN. (2009). *Acuerdo N° 36. Listado Oficial de Especies de Vida Silvestre Amenazada o en Peligro de Extinción*. Diario Oficial N° 103, Tomo N° 383.
- MARN. (2011k). *Fichas de las Áreas de Conservación de El Salvador*. San Salvador.
- MARN. (2012a). *Anteproyecto de Ley General de Aguas*.
- MARN. (2012i). *Evaluación de Calidad de Agua de los Ríos de El Salvador*.
- MARN, MOP, VMVDU. (2004). *Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial*. El Salvador - Centroamérica.



- McMahan, C. D., Matamoros, W. A., Álvarez-Calderón, F. S., Yamileth-Enríquez, W., Recinos, H. M., Chakrabarty, P., . . . Herrera, N. (2013). Checklist of the Inland Fishes of El Salvador. *Zootaxa*, 3608 (6): 440-456.
- Nippon Koei Co., Ltd. (2007). *Informe Final. Modelos para el manejo de los recursos hídricos de El Salvador*.
- O’Keeffe, J., & Le Quesne, T. (2010). *Cómo conservar los ríos vivos. Guía sobre los caudales ecológicos*. WWF.
- Ormazábal, C. (2004). Caso del proyecto RALCO. *Seminario: “Caudal ecológico: metodologías y casos aplicados”*. Santiago de Chile. Chile.
- Poff, N. L., Richter, B., Arthington, A., Bunn, S. E., Naiman, R. J., Kendy, E., . . . Warner, A. (2010). The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology*, 55: 147-170.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Powell, J., & Braun, D. P. (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 10(4):1163-1174.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Wigington, R., & Braun, D. P. (1997). How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37: 231-249.
- Scarf, F. (1983). *Ashburton River Water Management Plan 1983-1990*. South Canterbury Catchment Board and Regional Water Board. Publication No. 36.
- SEGEPLAN. (2006). *Política Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (PNGIRH) y de la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (ENGIRH)*. Guatemala: SEGEPLAN.
- Silveira, L. A., & Silveira, L. G. (2003). Vazões mínimas. Hidrologia Aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas. *Associação Brasileira de recursos Hídricos. Brasil*.
- Tennant, D. (1976). Instream flow regimens for fish, wildlife, recreational and related environmental resources. *Fisheries*, 1(4): 6-10.
- Tessman, S. (1980). *Environmental Assessment. Technical Appendix E. In: Reconnaissance Elements of the Western Dakotas Region os South Dakota Study*. South Dakota State University: Water Resources Research Institute.
- Tharme, R. E. (2003). A Global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19: 397-441.
- USFWS. (1974). *NGPRP - Northern Great Plains Resource Program*. Washington DC: Instream Needs Subgroup: Workgroup C.



APÉNDICE 1

ZONAS DE INTERÉS ECOLÓGICO Y MEDIO AMBIENTAL



ÍNDICE DEL APÉNDICE 01. ZONAS DE INTERÉS ECOLÓGICO Y MEDIO AMBIENTAL

1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. SIGLAS, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....	3
2. ÁREAS PROTEGIDAS	4
2.1. ÁREAS DE CONSERVACIÓN	4
2.1.1. Área de Conservación Alotepeque - La Montañona	6
2.1.2. Alto Lempa.....	7
2.1.3. Apaneca - Ilimatepec.....	8
2.1.4. Bahía de Jiquilisco.....	8
2.1.5. Costa del Bálsamo.....	9
2.1.6. El Imposible - Barra de Santiago	10
2.1.7. El Playón	10
2.1.8. Golfo de Fonseca	11
2.1.9. Jaltepeque - Bajo Lempa	12
2.1.10. Los Cóbano.....	13
2.1.11. Nahuaterique	13
2.1.12. San Vicente Norte	14
2.1.13. Tecapa-San Miguel	14
2.1.14. El Trifinio	15
2.1.15. Volcán Chingo	17
2.2. HUMEDALES RAMSAR.....	18
2.2.1. Área Natural Protegida Laguna de Jocotal	19
2.2.2. Complejo de Bahía Jiquilisco:.....	19
2.2.3. Embalse de Cerrón Grande:	19
2.2.4. Laguna de Olomega:.....	19
2.2.5. Complejo Güija:	20
2.2.6. Complejo Jaltepeque:	20
2.2.7. Complejo Barra de Santiago:.....	20
2.3. ÁREAS CERTIFICADAS POR UNESCO COMO RESERVAS DE LA BIOSFERA.....	21
3. ÁREAS NO PROTEGIDAS	22
4. ESPECIES RELEVANTES A CONSERVAR.....	23
4.1. VEGETACIÓN DE RIBERA.....	23
4.2. MACROINVERTEBRADOS	23
4.3. MOLUSCOS.....	24
4.4. CRUSTÁCEOS	24
4.5. ANFIBIOS.....	24
4.6. PECES.....	25
4.7. REPTILES.....	25



4.8. MAMÍFEROS	26
4.9. AVES	26
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27



1. INTRODUCCIÓN

A continuación se realiza una evaluación de los recursos naturales a nivel de cuencas, a fin de conocer las características de los ecosistemas y sus interrelaciones con los recursos hídricos para poder mejorar el régimen de los ríos con el objetivo de alcanzar un aprovechamiento sostenible.

1.1. SIGLAS, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

AC	Área de Conservación
ANP	Área Natural Protegida
CITES	Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
PNODT	Plan Nacional de Ordenación del Territorio
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

2. ÁREAS PROTEGIDAS

En febrero de 2011, el número de las **Áreas Naturales Protegidas (ANP)** declaradas era de 73. Muchas de las ANP propuestas consisten de terrenos pequeños y en general, carecen de conectividad con otras ANP. Para optimizar su eficiencia administrativa y conectividad ecológica, el MARN propuso 15 “**Áreas de Conservación (AC)**” (Figura 2), que reúnen las ANP en unidades ecológicas y administrativas. Estas áreas de conservación fueron seleccionadas para la propuesta de corredor biológico en el 2003, debido a que se encuentran muy interrelacionadas con ecosistemas naturales similares.

Por tanto, se consideran **Áreas de Conservación** a las agrupaciones de áreas naturales protegidas (Figura 1) y los territorios que les sirven de nexo. Estos espacios mantienen una relación directa entre ellos, llegando a constituir un sistema independiente e integral desde el punto de vista cultural, geográfico, hidrológico y ecológico. Son auténticas unidades funcionales dentro del sistema que requieren de una gestión coordinada; aunque ello no quiere decir que sean sistemas cerrados, sino que también se relacionan con las demás unidades.

El registro de áreas naturales protegidas se ha realizado a partir de la documentación oficial del MARN sobre la Estrategia en la Gestión de Áreas Protegidas (MARN, 2005b), sobre las Fichas de las Áreas de Conservación (MARN, 2011k) sobre el Catálogo de Espacios Naturales desarrollado dentro del PNODT (MARN, MOP, VMVDU, 2004) y sobre el III Informe Nacional de Áreas Naturales Protegidas (MARN, 2010a).

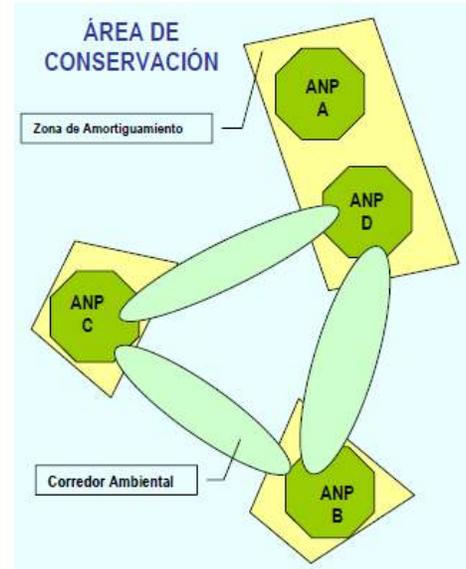


Figura 1. Esquema de la estructura de un Área de Conservación. Fuente: (MARN, 2005a)

2.1. ÁREAS DE CONSERVACIÓN

Las **Áreas de Conservación** y **Áreas Naturales Protegidas** existentes en El Salvador quedan representadas en la Figura 2, siendo citadas brevemente en la Tabla 1 y desarrolladas a continuación:

Tabla 1. Listado de Áreas de Conservación de El Salvador. Fuente: PNGIRH-MARN.

ÁREA DE CONSERVACIÓN (AC)	PRINCIPALES ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (ANP) INCLUIDAS	OTRAS ÁREAS NATURALES INCLUIDAS
1. Alotepeque – La Montañona	El Pital, El Manzano y La Montañona	
2. Alto Lempa	Santa Rita y Colima y Colimita	Pañanalapa, Bolívar, San Francisco dos Cerros, Embalse de Cerrón Grande, Santa Bárbara, Cinquera, Cerro Guazapa, Embalse 5 de Noviembre.
3. Apaneca – Ilimatepec	San Blas o Las Brumas, San Francisco El Triunfo, San José Miramar, San Rafael Los Naranjos, San Isidro, Volcán de Izalco	Complejo Marcelino (Las Lajas, La Presa), Complejo los Volcanes (Los Andes, Ojo de Agua del Venado, El Paraíso, La Macarena, Cerro Verde, Cráter Volcán Santa Ana, El Cipresal) y el Complejo Laguna Las Ranas (Lagunas Las Ninfas Verdes, Buenos Aires y El Carmen)



ÁREA DE CONSERVACIÓN (AC)	PRINCIPALES ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (ANP) INCLUIDAS	OTRAS ÁREAS NATURALES INCLUIDAS
4. Bahía de Jiquilisco	Isla San Sebastián, Chaguantique, Complejo Nacuchiname (La Maroma, Mata de Piña, Porción VI, Porción V)	Normandía, El Tercio, Complejo Bahía de Jiquilisco, Laguna San Juan del Gozo, La Esperanza o Ceiba Doblada
5. Costa del Bálsamo	Chiquileca, Comaesland, Santa Clara y San Juan Buenavista	Taquillo o Franja del Litoral, Complejo Parque Deininger (Parque Walter Thilo Deininger, El Amatal, Espíritu Santo)
6. El Imposible - Barra de Santiago	Santa Rita, El Chino, Cara Sucia, El Cortijo, San Benito II, Monte Hermoso y Las Colinas	El Imposible, Complejo Barra de Santiago (Garita Palmera-Bola de Monte, Barra de Santiago, laguna El Bijagual), San Antonio y El Golondrinal, Mashtapula, Las Mercedes, El Escondido, Lote No 9 Zona 2, Zona Los Encuentros, Inmueble 7, Sagacinto, La Esperanza
7. El Playón	Complejo El Playón (Los Abriles, La Catorce, Colombia, La Argentina, La Isla, Chanmico, San Lorenzo y San Andrés), Complejo El Volcán (El Picacho, El Jabalí, Las Granadillas, Santa María, El Mirador y Las Mercedes), Complejo El Espino (Bosque Los Pericos)	
8. Golfo de Fonseca	El Faro Yologual, Maquigüe III y Suravaya	Complejo Conchagua (Maquigue I, Humedales de San Felipe, Las Tunas y San Francisco Gualpirque) y Complejo de la Bahía de la Unión (Manglares de la Bahía de La Unión, El Once y La Paz o El Güisquil, Sirama Lourdes, Isla Conejo, Isla Martín Pérez)
9. Jaltepeque – Bajo Lempa	El Astillero	Escuintilla
10. Los Cóbanos	Complejo Los Cóbanos (Parque Marino Los Cóbanos, Santa Águeda o El Zope, Salinitas, Comunidad Los Cóbanos) y Complejo Los Farallones (Los Lagartos, Las Vicotrias, Las Trincheras, Plan de Amayo)	
11. Nahuaterique	No contiene ANP	Cerro Cacahuatique, Cerro El Ocotal, Cerro Ocotepeque, Corinto, Cerro Las Peñas, Río Goascorán, Río Sapo, Río Torola y Unama
12. San Vicente Norte	Tehuacán	La Joya, Parras Lempa, El Tecomatal y El Tamarindo
13. Tecapa – San Miguel	Laguna de Alegría, laguna El Jocotal, laguna seca El Pacayal, laguna San Juan, laguna de Aramuaca, laguna de Olomega, pantanos de La Chiricana, volcán San Miguel, ausoles de Chinameca, Chilanguera, El Socorro II y Tierra Blanca	Laguna de Alegría y el Complejo El Socorro (El Socorro, Santa Elena, San Lucas, San Juan Mercedes Silva)
14. El Trifinio	Complejo Lago de Güija (La Montañita y San Diego – La Barra)	Lago de Güija y Laguna de Metapán, Río Angue y Río Ostúa
15. Volcán Chingo	No contiene ANP	Paraje Galán, San Jerónimo, La Magdalena, Volcán Chingo, Las Tablas, San José los Amates, Rancho Grande (El Junquillo) y Tahuapa, Laguna de Morán, El Chaparrón / San Cayetano, La Labor.

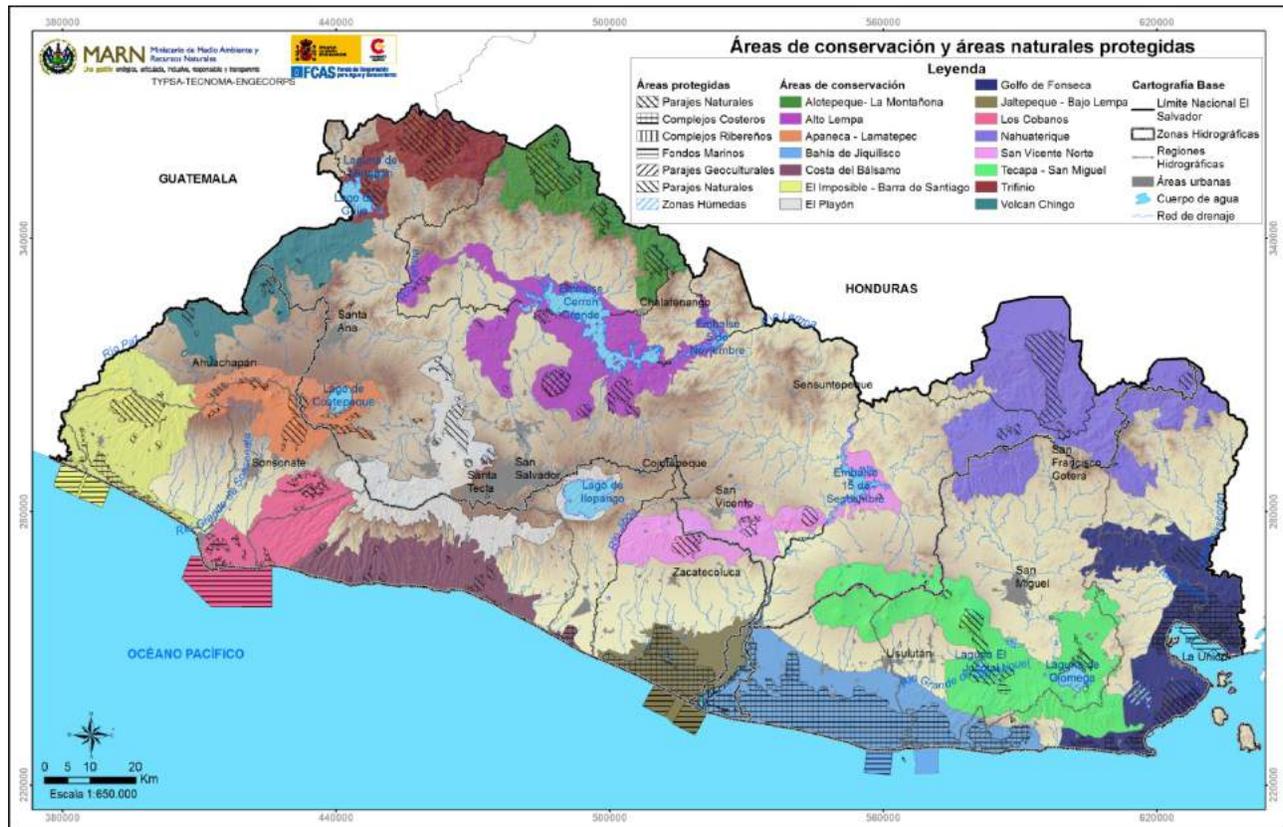


Figura 2. Áreas de Conservación y Áreas Naturales Protegidas de El Salvador. Fuente: PNGIRH-MARN.

2.1.1. Área de Conservación Alotepeque - La Montaña

Esta área se encuentra en la zona norte, perteneciente a la unidad morfoestructural de la Cordillera Fronteriza, representada por los espacios de El Pital, El Manzano y La Montaña. Se compone principalmente de formaciones de pino y asociaciones mixtas de pino-roble, pino-liquidámbar, bosque mediano perennifolio y bosque de galería. Posee una superficie de 48,359 ha, con predominancia de bosques de pino de las especies *Pinus oocarpa* y *Pinus maximoi*, con asociaciones y/o rodales puros de roble (*Quercus spp*), liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*). Es una importante zona de recarga y producción hídrica. Forma parte de la Cuenca Alta del Río Lempa y por ella discurren los ríos Sumpul y Tamulasco.

- **Río Tamulasco:** Nace de las quebradas El Jute y El Zapote en el cantón Los Naranjos, pertenece al paisaje del sistema montañoso, presenta relictos del bosque original encino-roble y coníferas con vegetación arbustiva secundaria, matorral, pastos y vegetación de galería en los márgenes del río. Se incluyen las quebradas El Zapote, El Cimarrón, El Hüisocoyol, Los Coyoles y el río Muca. Desemboca en el embalse de la presa del Cerrón Grande y tiene una longitud de 25.8 km.
- **Río Sumpul:** con una altitud de 190-1800 msnm, entre faldas montañosas, montañas intermedias y montañas elevadas, nace a 10 km de la villa de San Ignacio y desemboca en embalse de la Presa 5 de Noviembre. Recibe afluencia de seis ríos y cuatro quebradas. Es considerado uno de los ríos poco

contaminados y con un dosel arbóreo en sus márgenes. Mantiene caudal en época seca, en invierno presenta crecidas fuertes y de corta duración. Sirve de límite entre las Repúblicas de Honduras y El Salvador.

En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 70 especies de preocupación especial, siendo consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción.
- Especies de preocupación especial, consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: 1 mariposa amenazada, anfibios (5 en peligro; 2 amenazados), aves (30 en peligro; 17 amenazadas), reptiles (12 amenazadas) y mamíferos (2 amenazadas); flora (1 amenazada).
- Especies catalogadas en peligro por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN): el sapo *Incilius ibarraii*, tres especies de ranas (*Plectrohyla sagorum*, *Plectrohyla psiloderma* y *Ptychohyla salvadorensis*), la salamandra *Bolitoglossa synoria* y una especie de aves, la chisquita (*Dendroica chrysoparia*).

2.1.2. Alto Lempa

Ubicado en la zona noroccidental de El Salvador, pertenece a la unidad morfoestructural Gran Depresión Central con Volcanes Extintos. Se compone de las áreas naturales protegidas Santa Rita y Colima y Colimita. Ésta última se encuentra entre los ríos Lempa (embalse Cerrón Grande), Acelhuate y Los Limones, es por tanto una fuente de agua que alimenta estos ríos, pero también de la que se abastecen las comunidades aledañas al área natural. Existen más de 20 nacimientos de agua durante la época lluviosa, y algunos se mantienen aún durante la época seca. Ofrece un gran potencial para hacer estudios de regeneración vegetal por impactos antropogénicos, como sitio para establecer corredores biológicos a la orilla del embalse y de los ríos de afluencia (Acelhuate, Los Limones), además un alto valor escénico del embalse del Cerrón Grande y de Chalatenango, y junto con el área natural Santa Bárbara, son las únicas áreas naturales existentes en todo el embalse y por lo tanto sitios de refugio de aves, reptiles y mamíferos de la región.

En cuanto a las áreas naturales que comprende, cabe mencionar así mismo las áreas naturales de Pañanalapa, Bolívar, San Francisco dos Cerros, Embalse de Cerrón Grande (declarado Sitio RAMSAR), Santa Bárbara, Cinquera, Cerro Guazapa y el Embalse 5 de Noviembre, que es candidato para ser declarado Sitio RAMSAR.

El 15% del territorio lo constituye el ecosistema acuático formado por el embalse del Cerrón Grande, que aporta hábitat para diferentes especies, entre ellas, las mayores concentraciones de aves acuáticas residentes y migratorias (alberga el mayor número de individuos de patos migratorios). Se trata de un embalse estratégico a nivel nacional, ya que contribuye a la generación de energía hidroeléctrica y a la regulación de caudales, además de ser el humedal continental con mayor producción pesquera nacional, con posibilidades de exportación hacia Guatemala y Honduras, y generador de actividades turísticas. El Embalse 5 de Noviembre, es a su vez estratégico a escala nacional por su utilización para producción hidroeléctrica, así como por la alta producción pesquera.

Una de las principales problemáticas que presenta esta AC es la contaminación a través de aguas negras e industriales provenientes de San Salvador, que amenazan la salud de los habitantes de la zona, la biodiversidad y poblaciones de peces comerciales, así como un limitante en el desarrollo de actividades productivas que emplean el agua del río Lempa en sus procesos (turismo, recreación acuática y producción agrícola y acuícola).



En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 57 especies de preocupación especial, consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: anfibios (3 amenazadas), reptiles (6 amenazadas), aves (17 en peligro; 20 amenazadas), y mamíferos (5 amenazadas); flora (6 especies).
- Especies catalogadas en peligro por la UICN: la rana *Ptychohyala salvadorensis*.
- Especies catalogadas en peligro crítico por la UICN: la rana de ojos negros (*Agalychnis moreletii*).

2.1.3. Apaneca - Ilamatepec.

Esta área se encuentra ubicada en la zona centro-occidental del país; pertenece a la Cadena Volcánica Reciente; posee un carácter emblemático por el alto valor paisajístico de los volcanes que la constituyen. La unidad se caracteriza por la continuidad de plantaciones de café bajo sombra, que le confiere un ambiente verde y que permite la conexión y conectividad entre los núcleos arbóreos. Se compone principalmente de las áreas naturales protegidas: San Blas o Las Brumas, San Francisco El Triunfo, San José Miramar, San Rafael Los Naranjos, San Isidro y Volcán de Izalco.

Otras áreas naturales a destacar: Complejo Marcelino (Las Lajas, La Presa), Complejo los Volcanes (Los Andes, Ojo de Agua del Venado, El Paraíso, La Macarena, Cerro Verde, Cráter Volcán Santa Ana, El Cipresal) y el Complejo "Laguna Las Ranas" (Lagunas "Las Ninfas Verdes", Buenos Aires y El Carmen).

La principal problemática identificada en esta AC viene asociada a la presión sobre la biodiversidad ocasionada por la explotación de los recursos naturales (entre ellos el agua) sobre los ecosistemas presentes. Es el caso de la laguna de Las Ranas, en la que dada la estacionalidad de la lámina de agua y los procesos de degradación que ha sufrido por incendios y sobrepastoreo, existen problemas con el drenaje.

En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 104 Especies de preocupación especial, siendo 92 de ellas consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: anfibios (2 amenazadas), reptiles (12 amenazadas), aves (32 en peligro; 27 amenazadas), y mamíferos (3 en peligro y 5 amenazadas); flora (11 especies amenazadas).
- Catalogaciones realizadas por la UICN a nivel mundial en algunas de estas especies:
 - Anfibios: la rana de ojos negros (*Agalychnis moreletii*) en peligro crítico y otra especie de rana (*Hypopachus barberi*) en estatus vulnerable;
 - Flora: *Lonchocarpus sanctarii* en peligro crítico, otras cinco especies en peligro: *Juglans olanchana*, las leguminosas sangre de perro (*Lonchocarpus minimiflorus*), y *Lonchocarpus retiferus*, *Parathesis vulgata*, el guacoco o *Eugenia salamensis*; ocho especies en estatus vulnerable: *Dichapetalum donnell-smithii*, *Quercus skinneri*, *Persea schiedeana*, *Dalbergia retusa*, chaperno o *Lonchocarpus santarosanus*, *Cedrella odorata*, *Pisonia donnellsmithii* y *Agonandra loranthoides*.

2.1.4. Bahía de Jiquilisco

Área de conservación ubicada en el centro-sur del país; pertenece a la Planicie Costera. Se caracteriza por presentar la mayor superficie de bosques salados del país, con asociaciones remanentes de bosques aluviales que conservan poblaciones amenazadas de mono araña (*Ateles geoffroyi*), así como la presencia de sitios de



reproducción de aves costeras y marinas. Los principales ecosistemas asociados son el bosque caducifolio, bosque aluvial, manglares, arbustos espinosos y vegetación de playa.

Comprende las siguientes áreas naturales protegidas: Isla San Sebastián, Chaguantique, Complejo Nacuchiname (La Maroma, Mata de Piña, Porción VI, Porción V). Otras áreas naturales a destacar son Normandía, El Tercio, Complejo Bahía de Jiquilisco, Laguna San Juan del Gozo, La Esperanza o Ceiba Doblada.

El AC Bahía Jiquilisco posee hábitat acuático y océano. Dada su gran extensión de bosque salado, se favorece la existencia de una rica diversidad: poblaciones de mono arañas, sitios de anidación únicas en el país para algunas aves migratorias, cocodrilos en los canales de los manglares, y delfines y ballenas mar adentro. Todo ello es base para actividades económicas como la pesca y actividades turísticas.

En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 77 Especies de preocupación especial, consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: anfibios (1 amenazada), reptiles (3 en peligro y 2 amenazadas), aves (39 en peligro y 26 amenazadas), y mamíferos (1 en peligro y 5 amenazadas).
- Catalogaciones realizadas por la UICN a nivel mundial en algunas de estas especies:
 - Anfibios: tepalcúa (*Dermophis mexicanus*), catalogada como vulnerable;
 - Reptiles: tortuga golfina o blanca (*Lepidochelys olivacea*), y el cocodrilo (*Crocodylus acutus*), catalogadas como vulnerables y la tortuga *Staurotypus salvinii* catalogada en riesgo o casi amenazada;
 - Mamíferos: el mono araña (*Ateles geoffroyi*) catalogada en peligro por la UICN y por El Salvador.

2.1.5. Costa del Bálsamo.

Área de conservación ubicada en el centro-sur del país. Pertenece a la Cadena Costera. Los ecosistemas característicos del área son bosque subcaducifolio, bosque caducifolio, vegetación de farallón, con alto nivel de paisaje.

Comprende las ANP siguientes: Chiquileca, Comaesland, Santa Clara y San Juan Buenavista. Otras áreas naturales comprendidas dentro del área de conservación son Taquillo o Franja del Litoral, Complejo Parque Deininger (Parque Walter Thilo Deininger, El Amatal, Espíritu Santo).

En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 55 especies de preocupación especial, siendo consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: reptiles (1 en peligro y 4 amenazadas), aves (22 en peligro y 26 amenazadas), y mamíferos (2 amenazadas).
- Catalogaciones realizadas por la UICN a nivel mundial en algunas de estas especies:
 - Vulnerable, el cocodrilo (*Crocodylus acutus*);
 - Casi amenazada, el cantil de agua (*Agkistrodon bilineatus*).



2.1.6. El Imposible - Barra de Santiago

Esta área se localiza en el extremo Suroeste del país; pertenece a la Planicie Costera y Cadena Costera; es uno de los sitios de mayor ocurrencia de ecosistemas acuáticos (ríos, lago, estuario y océano) que aportan hábitat para diferentes especies.

Incluye las áreas naturales protegidas Santa Rita, El Chino, Cara Sucia, El Cortijo, San Benito II, Monte Hermoso y Las Colinas. Otras áreas naturales destacables dentro del AC son:

- El Imposible: nacen al menos ocho ríos, por lo que el área se constituye en el principal abastecedor de agua de la zona. De las 40 especies de peces de agua dulce que se han registrado en El Salvador, solamente 13 han sido identificadas en los ríos que nacen en el bosque, siendo la más importante el tepemechín, porque este pez migratorio necesita de altos niveles de oxígeno para vivir, por lo que su presencia en los ríos de El Imposible garantiza la limpieza de sus aguas.
- Complejo Barra de Santiago: Garita Palmera-Bola de Monte, Barra de Santiago, laguna El Bijagual. Se han identificado 78 especies de peces, y ha sido recientemente declarado como Sitio RAMSAR.
- San Antonio y El Golondrinal, Mashtapula, Las Mercedes, El Escondido, Lote No 9 Zona 2, Zona Los Encuentros, Inmueble 7, Sagacinto, La Esperanza.

En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 160 especies de preocupación especial, siendo 140 consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: anfibios (1 en peligro y 3 amenazadas), reptiles (6 en peligro y 13 amenazadas), aves (76 en peligro y 44 amenazadas) y mamíferos (4 en peligro y 1 amenazadas).
- Catalogaciones realizadas por la UICN a nivel mundial en algunas de estas especies:
 - Anfibios: la rana de ojos negros (*Agalychnis moreletii*) en peligro crítico; el tepelcúa (*Dermophis mexicanus*) como vulnerable y el sapo (*Incilius vallicep*) y la salamandra (*Oedipina taylori*) en categoría de menor preocupación.
 - Reptiles: la tortuga prieta o negra (*Chelonia mydas*) catalogada en peligro; la tortuga golfina o blanca (*Lepidochelys olivácea*) y el cocodrilo (*Crocodylus acutus*), catalogadas en estatus vulnerable y el cantil de agua (*Agkistrodon bilineatus*), la tortuga charro o cabezona (*Staurotyphlops salweeni*) y el caimán (*Caiman crocodilus*) catalogadas como casi amenazadas.
 - Mamíferos: una especie nueva para el país, la especie de murciélago *Bauerus dubiaquercus*.

2.1.7. El Playón

El área de conservación El Playón se encuentra en el centro del país y pertenece a la Cadena Volcánica Reciente, con el eje central en el Volcán de San Salvador y una serie de cráteres y conos adventicios. Presenta vegetación sobre lava volcánica y plantaciones de café de sombra como agroecosistema. Los principales ecosistemas son el bosque de pino, bosque mediano perennifolio, bosque subcaducifolio, bosque caducifolio, vegetación primaria sobre lava volcánica.

Está constituido por las siguientes ANP: Complejo El Playón, Complejo El Volcán, Complejo El Espino.

- El **Complejo El Playón** es una zona de recarga hídrica de importancia nacional. Está ubicado en el departamento de La Libertad, entre los municipios de Quezaltepeque y San Juan Opico. Tiene una extensión de 1592.85 hectáreas, con una altitud que va de 450 a 1,330 msnm su principal función es la



captación y recarga hídrica. El Complejo está conformado por 8 áreas naturales protegidas: Los Abriles, La Catorce, Colombia, La Argentina, La Isla, Chanmico, San Lorenzo y San Andrés. La Laguna de Chanmico es un sitio de anidamiento y desarrollo de fauna y aves acuáticas, lo que permite desarrollar actividades de pesca artesanal. Se han reportado especies de peces nativas como burra, el chimbolo común, machorra, falsa anguila y chimbolo blanco. Presenta sucesiones de vegetación sobre lavas de diferentes edades. La unidad de paisaje es en realidad una colada volcánica procedente del volcán de Quezaltepeque. El área se ubica en una zona arqueológica de gran actividad volcánica.

- **Complejo El Volcán:** El Picacho, El Jabalí, Las Granadillas, Santa María, El Mirador y Las Mercedes.
- **Complejo El Espino:** Bosque Los Pericos.

En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 61 especies de preocupación especial, consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: anfibios (2 amenazadas), reptiles (7 amenazadas), aves (23 en peligro y 26 amenazadas) y mamíferos (1 en peligro y 2 amenazadas).
- Especies catalogadas en peligro por la UICN: la rana *Ptychohyala salvadorensis*, y en peligro crítico, la rana de ojos negros (*Agalychnis moreletii*).

2.1.8. Golfo de Fonseca

Esta área de conservación pertenece a la Cadena Volcánica Reciente, Planicie Costera e Islas del Golfo de Fonseca. Es una de las regiones de mayor diversidad de ambientes en un pequeño territorio, de alto valor paisajístico y con una elevada riqueza en el número de especies. Los principales ecosistemas son el bosque de pino, bosque subcaducifolio, bosque caducifolio, bosque de galería, morrales, arbustos espinosos, manglares, vegetación ecotonal, vegetación de playa y carrizales pantanosos.

Está constituido por las áreas naturales protegidas El Faro Yologual, Maquigüe III y Suravaya. Otras áreas naturales comprendidas en este AC son:

- El Complejo Conchagua: Maquigüe I, Humedales de San Felipe, Las Tunas y San Francisco Gualpirque.
- El Complejo de la Bahía de la Unión: Manglares de la Bahía de La Unión, El Once y La Paz o El Güisquil, Sirama Lourdes, Isla Conejo, Isla Martín Pérez.

Se trata de una zona de recarga hídrica de importancia regional. Asentamientos humanos y trabajos agropecuarios, incluyendo la pesca y marisqueo dentro de las ANP y en zonas protectoras, son impactos que incluyen cambio del uso de suelo, contaminación y reducción de la capacidad de amortiguamiento de las áreas y aumento de riesgos sociales, ambientales y económicos para las poblaciones.

La economía local está basada en actividades productivas en detrimento a los recursos naturales como agricultura de subsistencia y ganadería en tierras no adecuadas y explotación de recursos costero marino. La dependencia en estas actividades causa la sobreexplotación de los recursos, la cual afecta la cantidad, calidad y por ende precio de mercado de los productos cosechados, obligando a la población productiva a incrementar/expandir sus actividades a nuevas áreas incluyendo las áreas naturales protegidas.

En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:



- 50 especies de preocupación especial, consideradas algunas de ellas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: reptiles (6 en peligro y 13 amenazadas), aves (13 en peligro y 13 amenazadas) y mamíferos (5 amenazadas).
- Catalogaciones realizadas por la UICN a nivel mundial en algunas de estas especies:
 - Flora: la leguminosa *Lonchocarpus phaseolifolius* en peligro crítico; la leguminosa *Lonchocarpus minimiflorus* y el guacoco (*Eugenia salamensis*) en peligro, y el cedro (*Cedrella odorata*) catalogado como vulnerable.
 - Mamíferos: una nueva especie de murciélago en el país, *Peropteryx kappleri*.

2.1.9. Jaltepeque - Bajo Lempa

Área de conservación ubicada en el centro-sur del país; pertenece a la Planicie Costera. Consiste en una masa boscosa densa y semidensa en la cuenca baja del río Lempa, con especies arbóreas adaptadas a la inundación estacional, con altos niveles de riqueza de especies acuáticas y semiacuáticas de ambientes salobres y de agua dulce. Los principales ecosistemas asociados son el bosque aluvial, bosque subcaducifolio, bosque de galería, carrizales pantanosos, manglares, arbustos espinosos y vegetación de playa.

La única área natural protegida que comprende es la de El Astillero. Cabe destacar también el área natural de Escuintilla, ambas pertenecientes al Complejo Jaltepeque.

Prácticamente el 50% de la superficie del AC es ocupada por vegetación, principalmente bosque de manglar del Pacífico, así como bosque tropical. Posee hábitats acuáticos y oceánico que incrementan su diversidad y son base para actividades económicas como la pesca y actividades turísticas.

En cuanto a las principales presiones que sufre este AC cabe mencionar:

- La introducción de salineras, camarónicas, cultivos e infraestructura turística, que causan pérdida de bosque dulce y manglares. La extracción de lodos del manglar para la construcción de camarónicas inhibe la regeneración de los manglares.
- La explotación de recursos costero-marinos, con prácticas inadecuadas de pesca y marisqueo, algunas particularmente dañinas para la biodiversidad acuática, como la detonación de bombas en el agua y el uso de redes de arrastre. Se desconoce la capacidad de carga de pesca en la zona.
- La contaminación recibida del río Lempa, trayendo desechos sólidos, agroquímicos, vertidos industriales y aguas negras de todo el país a la zona.

Por último, con respecto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 45 especies de preocupación especial, siendo 43 de ellas consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: reptiles (2 en peligro y 2 amenazadas), aves (21 en peligro y 17 amenazadas) y mamíferos (1 amenazada).
- Catalogaciones realizadas por la UICN: la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) en peligro crítico, la especie de tortuga *Staurotypus salvinii* en riesgo o casi vulnerable, y la zumbadora de pestañas (*Drymarchon melanurus*) catalogada como vulnerable.

2.1.10. Los Cóbanos

Ubicada en el Sur del país, pertenece a la Planicie Costera. Es de carácter costero y tiene particular relevancia por contener la única formación arrecifal entre México y Costa Rica, así como bosques secos y vegetación de farallón.

Comprende las siguientes áreas naturales protegidas:

- **Complejo Los Cóbanos:** Parque Marino Los Cóbanos, Santa Águeda o El Zope, Salinitas, Comunidad Los Cóbanos.
- **Complejo Los Farallones:** Los Lagartos, Las Vicotrias, Las Trincheras, Plan de Amayo.

Las principales presiones a las que se encuentra sometida consisten en la sobre-explotación de las poblaciones de peces y otra fauna costero-marina, especialmente especies comerciales, sin respetar períodos de reproducción y tallas mínimas, además de utilizarse métodos inadecuados e ilícitos de captura; por otro lado, los hábitats naturales se encuentran fragmentados y dispersos, limitando su capacidad de conservar la biodiversidad y mantener otras funciones ecológicas.

En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 74 especies de preocupación especial, siendo 66 de ellas consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: anfibios (2 amenazadas), reptiles (2 en peligro y 5 amenazadas), aves (19 en peligro y 34 amenazadas) y mamíferos (1 en peligro y 3 amenazadas).
- Catalogaciones realizadas por la UICN a nivel mundial en algunas de estas especies:
 - o Anfibios: tepalcúa (*Dermophis mexicanus*) catalogada como vulnerable y la salamandra lombriz (*Oedipina taylori*) como de menor preocupación.
 - o Reptiles: la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) bajo estatus de en peligro crítico y el coralillo cola larga (*Pliocercus elapoides*) como de menor preocupación.

2.1.11. Nahuaterique

Área de conservación localizada en el Noreste del país. Incluye las unidades morfoestructurales de la Cordillera Fronteriza y Gran Depresión Central con Volcanes Extintos. Los principales ecosistemas asociados al área son bosques de pino, bosques medianos perennifolios, bosques de galería y bosques subcaducifolios, de alto valor paisajístico y un marcado valor cultural por la presencia de poblaciones indígenas, petrograbados, sitios paleontológicos y del pasado conflicto bélico.

No contiene áreas naturales protegidas, aunque destacan las siguientes áreas naturales: Cerro Cacahuatique, Cerro El Ocotál, Cerro Ocotepeque, Corinto, Cerro Las Peñas, Río Goascorán, Río Sapó, Río Torola y Unama.

La principal presión a la que está sometida consiste en la deforestación en diferentes zonas, incluyendo la parte alta de las cuencas. Los planes de manejo forestal aprobados por el MAG no tienen en cuenta el impacto sobre las cuencas.

En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 49 especies de preocupación especial, siendo 48 de ellas consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: mariposas (1 especie amenazada), anfibios (1 en peligro y 2



amenazadas), reptiles (1 en peligro y 4 amenazadas), aves (22 en peligro y 15 amenazadas) y mamíferos (2 en peligro).

- Catalogaciones realizadas por la UICN a nivel mundial en algunas de estas especies:
 - Anfibio, la especie de rana *Ptychohyala salvadorensis*.
 - Reptiles: el garrobo espinoso (*Ctenosaura flavidorsalis*) y el coralillo cola larga (*Pliocercus elapoides*) catalogada como reptil en categoría de menor preocupación.
 - Mamíferos: una especie nueva, el pequeño mucíelago cara de perro (*Peropteryx macrotis*).

2.1.12. San Vicente Norte

Área de conservación ubicada en el centro del país y perteneciente a la Cadena Volcánica Reciente. Los principales ecosistemas asociados son el bosque nebuloso, bosque mediano perennifolio, bosque subcaducifolio, bosque caducifolio, bosque de galería, morrales, bosque aluvial y carrizales pantanosos. Y sus rasgos más relevantes son el bosque nebuloso del Volcán Chinchontepic y la presencia del sitio paleontológico en Barranca de Sisimico (Pleistoceno temprano, sedimentos expuestos a diferentes niveles sedimentarios de la formación Cuscatlán.

Contiene el área natural protegida de Tehuacán, donde se conoce de la existencia de determinadas especies piscícolas como chimbolos, guavina, pargo, tepemechín y crustáceos de río como el camarón y el cangrejo de río. Otras áreas naturales diferenciadas son La Joya, Parras Lempa, El Tecomatal y El Tamarindo.

Tiene el potencial de ser altamente productivo. El valle del Río Lempa con el distrito de riego vía canaletas, el valle de Jiboa y la zona sur del AC reúnen las condiciones óptimas para producción.

Posee una alta riqueza de especies documentada, incluyendo vertebrados, invertebrados acuáticos y terrestres, 42 géneros de plantas vasculares y 21 variedades de diatomeas.

En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 32 especies de preocupación especial, siendo algunas de ellas consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: incluyen anfibios (3 especies amenazadas), reptiles (4 amenazadas) y aves (12 en peligro y 13 amenazadas).
- Catalogaciones realizadas por la UICN a nivel mundial en algunas de estas especies:
 - Anfibios: la especie de rana *Hypopachus barberi* catalogada bajo estatus de vulnerable y la salamandra lombriz (*Oedipina taylori*) en categoría de menor preocupación
 - Aves: el chipé de mejillas amarillas (*Dendroica chrysoparia*), clasificado en peligro.

2.1.13. Tecapa-San Miguel

Está ubicada en la zona oriental del país, en la Cadena Volcánica Reciente. Se caracteriza por el cultivo de café de sombra y por una marcada presencia de humedales de planicie costera y cráteres volcánicos. Los ecosistemas más característicos del área son el páramo, bosque mediano perennifolio, bosque subcaducifolio, bosque caducifolio, bosque de galería, bosques aluviales inundables, carrizales pantanosos.

Incluye las ANP de la Laguna de El Jocotal, Laguna de Olomega, Hacienda El Triunfo y Paso de Las Iguanas, así como otras áreas naturales destacables como la Laguna de Alegría, el Complejo El Socorro, laguna seca El

Pacayal, laguna San Juan, laguna de Aramuaca, pantanos de La Chiricana, volcán de San Miguel, ausoles de Chinameca, Chilanguera, El Socorro II y Tierra Blanca.

Las lagunas de El Jocotal y Olomega están catalogadas como Sitios RAMSAR y los estudios sobre la conservación de pichiches ala blanca con nidos artificiales ha ganado reconocimiento internacional para la Laguna El Jocotal. Las lagunas de esta AC son refugios para mucha flora y fauna amenazada de extinción. Su importancia ecológica puede atraer apoyo financiero, político y técnico para la conservación de los sitios y el desarrollo de las comunidades aledañas.

Las principales presiones identificadas son:

- La deforestación, de alto impacto en las partes altas de las microcuencas, que provoca el azolvamiento de las lagunas. La cobertura boscosa ha disminuido en los terrenos colindantes al Río Grande de San Miguel causando erosión y sedimentación y cambiando el uso del suelo.
- La contaminación por aguas negras y desechos sólidos de las poblaciones del AC se acumulan en las lagunas y es una amenaza para la salud de los habitantes de la zona y la biodiversidad. La calidad del agua es importante en la realización de actividades productivas que usan agua limpia en sus procesos: turismo, recreación acuática y producción agrícola y acuícola.

En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 86 especies de preocupación especial, siendo 78 de ellas consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: anfibios (3 amenazadas), reptiles (1 en peligro y 4 amenazadas), aves (37 en peligro y 32 amenazadas) y mamíferos (1 amenazada).
- Catalogaciones realizadas por la UICN a nivel mundial en algunas de estas especies:
 - Anfibios: tepalcúa (*Dermophis mexicanus*) como especie vulnerable.
 - Reptiles: el cocodrilo (*Crocodylus acutus*) como especie vulnerable.
 - Flora: la especie de leguminosa *Lonchocarpus sanctuarii* en peligro crítico de extinción y el cedro (*Cedrella odorata*) y una especie perteneciente a la familia Lamiaceae (*Aegiphila panamensis*) como vulnerables.
 - Mamíferos: el murciélago fantasma (*Diclydurus albus*) como especie nueva en el país.

2.1.14. El Trifinio

Esta área se localiza en el Noroeste del país, ubicada completamente en la Subregión Metapán - La Palma, en la parte alta de la cuenca del Lempa. Incluye:

- Las unidades morfoestructurales de la Cordillera Fronteriza y Cadena Volcánica Reciente.
- El sitio de mayor interés para la conservación de flora y fauna es el Parque Nacional Montecristo, con el mejor remanente de bosque seco tropical.
- Uno de los biomas más amenazados, como es San Diego-La Barra.
- Rocas sedimentarias como las calizas de Metapán.
- Complejo de humedales muy importante para la conservación y aprovechamiento de recursos hidrobiológicos como son el río Angue, río Lempa, lago de Güija, laguna de Metapán, lagunetas Clara, Verde y Teconalá.

Posee una superficie de 44,489 ha, con predominancia de granos básicos y pastizales (33.66%) y bosques de pino (26%). La Unidad marca las fronteras de Honduras, Guatemala y El Salvador (punto Trifinio), que es además el punto más alto del país (2418 msnm). El 40% del rango de alturas oscila entre 500 y 1199 msnm; 50% entre 1200 y 1799 msnm y 10% entre 1800 y 2099 msnm. El 20% de las pendientes son llanas; 75% son fuertes a muy fuertes y 5% escarpadas.

Esta Área de Conservación constituye una importante zona de recarga y producción hídrica. Las aguas de sus ríos drenan directamente al Río Lempa y se utilizan para uso humano en comunidades locales y San Salvador, generación de energía eléctrica, dilución de contaminantes, belleza paisajística, regulación del clima, etc.

Comprende las áreas naturales protegidas de La Montañita y San Diego-La Barra dentro del Complejo del Lago Güija. Sustenta especies animales amenazadas y en peligro de extinción local o internacional, además de especies CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres), reptiles, mamíferos y aves migratorias o residentes. Mantiene una comunidad ecológica amenazada como es el Bosque Seco Tropical. Presenta especies con importancia regional como el caimán (*Caiman crocodilus*), cocodrilo (*Crocodylus acutus*) y la garza agamí (*Agamia agami*).

En cuanto a las áreas naturales, dentro de este mismo complejo se encuentra:

- Lago de Güija y Laguna de Metapán. Enclave en la conservación de biodiversidad nacional y regional. Importante sitio para la migración de aves y producción pesquera. Existen altos niveles de contaminación en la laguna de Metapán ya que las aguas negras del municipio son lanzadas al río San José y de este a la laguna. El agua ha sido catalogada como no apta para el consumo humano.
- Río Angue: Su curso hacia el Oeste sirve de línea divisoria entre Guatemala y El Salvador, forma parte de la cuenca del río Lempa. Es uno de los ríos que mantiene el régimen hidrológico del lago de Güija. Es una importante fuente de abastecimiento de agua en las comunidades de El Salvador y Guatemala. Genera hábitat para una gran gama de especies faunísticas y florísticas de la zona norponiente. Las lagunas son núcleos altamente interesantes para el desarrollo de especies de la avifauna acuática (anátidas, láridos, ardeidos, limícolas, etc.), pero es necesario que exista soporte vegetal en sus perímetros.
- Río Ostúa.

En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 123 especies de preocupación especial, siendo 109 de ellas consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: anfibios (4 en peligro y 2 amenazadas), reptiles (4 en peligro y 2 amenazadas), aves (50 en peligro y 34 amenazadas) y mamíferos (4 en peligro y 9 amenazadas).
- Catalogaciones realizadas por la UICN a nivel mundial en algunas de estas especies:
 - Anfibios: una especie de rana (*Plectrohyla guatemalensis*) catalogada en peligro crítico, una especie de sapo (*Incilius ibarra*), una especie de salamandra (*Bolitoglossa heiroreias*) y una especie de rana (*Ptychohyla salvadorensis*) catalogadas en peligro, y otra especie de rana (*Ptychohyla euthysanota*) como casi amenazada y *Dermophis mexicanus* como vulnerable.
 - Reptiles: la chocoya montana (*Leptophis modestus*) catalogada como vulnerable.
 - Flora: el cocobolo (*Dalbergia retusa*), el chaperno (*Lonchocarpus santarosanus*), la mojugua (*Hampea reynae*) y la especie perteneciente a la familia Lamiaceae (*Aegiphila panamensis*) catalogadas como vulnerables.

2.1.15. Volcán Chingo

Ubicada en el extremo Oeste del país, pertenece a la unidad morfoestructural Gran Depresión Central con Volcanes Extintos y Cadena Volcánica Reciente. Esta Unidad presenta los más bajos niveles de conocimiento respecto a los recursos de biodiversidad existentes. Los principales ecosistemas del área son bosque mediano perennifolio (robles), bosque subcaducifolio, bosque caducifolio, bosque de galería, carrizales pantanosos; remanente de bosque caducifolio en río Paz. Es una zona productora de fuentes de agua.

La única área natural que presenta hasta el 2011 es el Paraje Galán. Otras áreas naturales presentes en el AC son:

- Paraje Galán.
- San Jerónimo: zona productora de fuentes de agua. Remanente de bosque caducifolio en río Paz. Contiene especies de fauna y flora consideradas en peligro de extinción.
- La Magdalena: zona productora de fuentes de agua. Remanente de bosque caducifolio en río Paz. Contiene especies de fauna y flora consideradas en peligro de extinción.
- Volcán Chingo.
- Las Tablas: zona productora de fuentes de agua. Remanente de bosque caducifolio en río Paz. Contiene especies de fauna y flora consideradas en peligro de extinción.
- San José los Amates: ubicado en el Valle del río Paz (Sector Oriental). Zona productora de fuentes de agua. Remanente de bosque caducifolio en río Paz. Contiene especies de fauna y flora consideradas en peligro de extinción.
- Rancho Grande (El Junquillo) y Tahuapa: dentro de la unidad de paisaje Valle del río Paz. En la cuenca del río Paz y subcuenca del río Frío. Zona productora de fuentes de agua. Remanente de bosque caducifolio en río Paz. Contiene especies de fauna y flora consideradas en peligro de extinción.
- Laguna de Morán: ubicado en el Valle del río Paz (Sector Oriental). Las lagunas son núcleos altamente interesantes para el desarrollo de especies de la avifauna acuática, pero es necesario que exista soporte vegetal en sus perímetros.
- El Chaparrón / San Cayetano: zona productora de fuentes de agua. Remanente de bosque caducifolio en la cuenca alta del Río Lempa. Contiene especies de fauna y flora consideradas en peligro de extinción.
- La Labor: dentro de la unidad de paisaje Valle del río Paz. Hidrogeología con acuíferos.

En cuanto a las especies amenazadas o en peligro en este AC, cabe señalar:

- 15 especies de preocupación especial, siendo consideradas a nivel nacional como amenazadas o en peligro de extinción: mariposas (1 amenazada), anfibios (2 amenazadas), reptiles (5 amenazadas), aves (2 amenazadas) y flora (1 en peligro, 2 vulnerables y 2 amenazadas).
- Catalogaciones realizadas por la UICN a nivel mundial en algunas de estas especies:
 - En peligro: el guacoco (flora) (*Eugenia salamensis*).
 - Vulnerables: anfibio tepalcúa (*Dermophis mexicanus*) y una especie de planta con flores perteneciente a la familia Lamiaceae (*Aegiphila panamensis*).
 - En categoría de menor preocupación, la salamandra lombriz (*Oedipina taylori*).

2.2. HUMEDALES RAMSAR

Estos ecosistemas incluyen manglares, pantanos dulces y salados, arrecifes de poca profundidad, embalses, lagunas, lagos, sistemas acuáticos subterráneos, entre otros. La “Convención sobre los Humedales” (conformada en Ramsar, Irán, 1971) o “Convención Ramsar” es un tratado intergubernamental en el cual los países parte contraen compromisos para conservar las características ecológicas y procurar el desarrollo sostenible de sus Humedales de Importancia Internacional. El 22 de mayo de 1999, El Salvador se convierte en país integrante y a partir de esa fecha, de un total de 59 humedales relevantes identificados en el país, se han declarado 7 sitios Ramsar (MARN, 2012d):

- Área Natural Protegida Laguna de El Jocotal.
- Complejo de Bahía Jiquilisco.
- Embalse de Cerrón Grande.
- laguna de Olomega.
- Complejo de Güija.
- Complejo Jaltepeque.
- Complejo Barra de Santiago.



Figura 3. Sitios Ramsar de El Salvador. Fuente: PNGIRH-MARN.



2.2.1. Área Natural Protegida Laguna de Jocotal

Declarado Sitio Ramsar en 1999 con N° 970 en la lista de Importancia Internacional, abarca una superficie de 1,571 ha. Está constituido por una laguna permanente con una profundidad promedio de tres metros, a unos 30 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) durante la época seca. Gran parte de la superficie se encuentra cubierta por vegetación acuática compuesta de especies nativas y de la especie invasora jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*). La parte norte se ubica en la base del volcán Chaparrastique en San Miguel. El agua en esta zona es rica en sales (conductividad alta), la cual se mezcla con un brazo del río Grande de San Miguel, que reduce los niveles de sales. Las inundaciones durante la época lluviosa, inciden en el azolvamiento del área, bajos niveles de oxígeno en el agua, arrastre de desechos sólidos y manejo hidráulico complejo.

Todo el humedal experimenta marcados cambios en el nivel del agua de acuerdo a la época lluviosa o seca o a las crecidas del río Grande de San Miguel. La laguna se expande y contrae invadiendo los pantanos herbáceos, pastizales inundables y carrizales que la rodean.

2.2.2. Complejo de Bahía Jiquilisco

Declarado Sitio Ramsar el 31 de octubre de 2005 con N°1586 en la lista de Importancia Internacional, abarca una extensión de 63,500 ha, donde existe la mayor extensión de manglares del país, así como otros ecosistemas: dunas y playas de arena y bosques terrestres saturados. Habita una gran cantidad de aves acuáticas y constituye un sitio de anidación importante para tortugas marinas, incluyendo la ya escasa tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) en esta zona del Pacífico. Carece de invasión importante del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*). Este humedal desarrolla una importante función en la prevención de catástrofes de origen natural al amortiguar las inundaciones asociadas a lluvia intensa. En cuanto a las principales presiones cabe destacar la práctica de pesca con bombas, la tala de manglar, expansión de actividades agropecuarias y de acuicultura y elevados niveles de aguas residuales no tratadas en los ríos que confluyen.

2.2.3. Embalse de Cerrón Grande

Declarado Sitio Ramsar el 22 de noviembre de 2005, con N°1592 en la lista de Importancia Internacional. Es el cuerpo de agua dulce más grande del país, constituido por un reservorio artificial con fines de generación de energía hidroeléctrica, con una extensión de 60,698 ha, incluyendo la superficie acuática y algunas microcuencas asociadas. Es un sitio con una alta riqueza y abundancia de aves migratorias y residentes. El humedal funciona como controlador de inundaciones y depurador natural de la elevada carga orgánica que recibe. El bosque tropical seco se encuentra representado en las orillas de este humedal y en las islas. Las principales presiones están relacionadas con la acumulación de desechos sólidos y las aguas residuales domiciliarias, industriales y agrícolas que descargan en sus aguas a través del río Acelhuate, el cual recorre el área metropolitana de San Salvador. También existen problemas de especies invasoras como el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y el pato chancho (*Phalacrocorax brasilianus*), el cual limita la pesca en la zona. La población asociada a este humedal supera los 100,000 habitantes, quienes realizan actividades agropecuarias, pesca y escasas actividades de turismo.

2.2.4. Laguna de Olomega

Declarado Sitio Ramsar el 2 de febrero de 2010 con N° 1899 en la lista de Importancia Internacional. Cubre una extensión estimada de 7,556.8 ha, donde existe una laguna principal, pantanos herbáceos, bosque tropical seco saturado y zonas de actividades agropecuarias. Este cuerpo de agua se asocia a la cuenca del río Grande de



San Miguel. Existen muchas especies amenazadas y en peligro de extinción en el ámbito nacional y regional. La laguna se ubica aproximadamente a 60 msnm y la parte más alta de la cuenca se localiza a 765 msnm. La laguna se encuentra invadida por el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) que limita la pesca, navegación y genera condiciones adversas para los ciclos biológicos de la biodiversidad acuática. Por otro lado, las colonias permanentes de "pato chancho" pueden estar causando reducción en los rendimientos pesqueros. La tala ilegal genera erosión y pérdida de biodiversidad.

2.2.5. Complejo Güija

Declarado Sitio Ramsar el 16 de diciembre de 2010 con N°1924 en la lista de Importancia Internacional, el humedal que cubre una extensión de 10,180 ha. Abarca el Área Natural Protegida San Diego y San Felipe Las Barras, que incluye una buena representación del bosque tropical seco, el Lago de Güija y la Laguna de Metapán. La delimitación fronteriza con la República de Guatemala se basa en el Tratado Fronterizo Salazar-Morales de 1938. Las áreas terrestres y acuáticas albergan una gran riqueza de especies, muchas de ellas amenazadas o en peligro de extinción en lo nacional o regional. Se encuentra aproximadamente a 340 msnm. Pérdida de cobertura boscosa y biodiversidad debido a incendios provocados. La Laguna de Metapán recibe aguas residuales del Municipio cercano, lo que sumado a la invasión del jacinto de agua, crea condiciones sanitarias complejas para las comunidades, eleva los esfuerzos de pesca, dificulta la navegación y altera los ciclos biológicos de la biodiversidad acuática.

2.2.6. Complejo Jaltepeque

Declarado Sitio Ramsar el 2 de febrero de 2011 con N°1935 en la lista de Importancia Internacional, con una extensión de 49,454 ha, incluyendo manglares, pantanos de agua dulce y salobre, diversas variantes del bosque tropical seco, cultivos agrícolas, sistemas riparios-lagunares permanentes y estacionales, dunas y playas arenosas. Abarca territorios incluidos dentro del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas. En el humedal costero se realizan actividades de pesca, acuicultura, agricultura, pastoreo de ganado, turismo, marisqueo. Funciona como regulador de inundaciones, erosión y otras amenazas naturales. Las principales presiones son la tala de manglar de difícil control, las aguas residuales y desechos sólidos de los núcleos urbanos importantes y la falta de ordenación en las actividades turísticas.

Debido a su dinámica entre agua dulce y salada alberga una rica diversidad de especies de fauna y flora, incluyendo especies en peligro de extinción en el ámbito mundial como las tortugas marinas. Entre éstas se cuentan: 34 especies de reptiles, 98 de peces y 206 especies de aves lo que representa el 38% de las 543 especies de aves de las que se tiene registro en el país.

2.2.7. Complejo Barra de Santiago

Recientemente declarado Sitio RAMSAR, el 24 de julio de 2014 con N°2207 en la lista de Importancia Internacional, con una extensión de 11,519 ha, ubicadas en la parte occidental de El Salvador. Incluye formaciones naturales costeras, una franja marino-costera de mar abierto de 26 km de frente de costa, hasta una profundidad de 5.5 m, ecosistemas de manglar representativo del Pacífico Norte seco, sucesiones de vegetación pantanosa, bosques inundados, arroyos estacionales y permanentes y lagunas de inundación. Incluye dos áreas naturales protegidas, Barra de Santiago y Santa Rita-Zanjón del Chino. Las principales presiones son el



parcelamiento y la urbanización no regulada de lotes de playa; el cultivo masivo de caña de azúcar y el pastoreo de ganado vacuno; la tala de mangle y de árboles de bosque ubicado tras los manglares.

Alberga una rica diversidad de especies de fauna y flora. Entre éstas se cuentan: 43 especies de flora; 45 especies de invertebrados; 78 especies de peces; 16 especies de anfibios; 36 especies de reptiles; 163 especies de aves; 46 especies de mamíferos.

Entre las especies amenazadas se encuentran: Flora: ecosistemas de manglares (*Rhizophora mangle*, *Rizophora racemosa*) y palmares, con predominancia de *Brabea salvadorensis*, y el helecho de manglar (*Acrostichum aureum*); Peces en peligro de extinción a nivel nacional: el pez lagarto o machorra (*Atractosteus tropicus*), el mero (*Epinephelus quinquefasciatus*) el cual se encuentra también en peligro crítico según la Lista Roja del UICN, junto con la especie gavián (*Aetobatus narinari*); considerado vulnerable según la Lista Roja del UICN, el caballito de mar (*Hippocampus ingens*). Anfibios: la tepalcúa (*Dermophis mexicanus*) clasificada como vulnerable en la Lista Roja del UICN y amenazada a nivel nacional; el sapo enano (*Incilius coccifer*), el sapo amarillo (*Incilius luetkenii*) y el sapo marino (*Rhinella marina*) clasificados como de preocupación menor. Reptiles: el caimán (*Caiman crocodilus*) en peligro a nivel nacional y en el Apéndice I de CITES; el cocodrilo (*Crocodylus acutus*) considerado, además de lo anterior, vulnerable en la Lista Roja UICN, la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) que se encuentra en peligro crítico en la Lista Roja UICN, la tortuga prieta y la tortuga negra (*Chelonia mydas*) en peligro en la Lista Roja UICN; la iguana verde (*Iguana iguana*) y la masacuata (*Boa constrictor imperator*), incluidas en el Apéndice II de CITES. Aves en peligro a nivel nacional por su comercialización: la lora nuca amarilla (*Amazona auropalliata*) considerada también vulnerable según la Lista Roja UICN y consta en el Apéndice I del CITES; el pericón garganta roja (*Aratinga holochlora*) que consta también en el Apéndice II de CITES; el perico (*Aratinga canicularis*) y la catalnica (*Brotogeris jugularis*) en el Apéndice II de CITES. Aves en peligro de extinción: el gavián cangrejero (*Buteogallus urubitinga*), el gavián caracolero (*Rostrhamus sociabilis*), el carpintero café y carpintero enano (*Veniliornis fumigatus*), la golondrina marina (*Chlidonias niger*), el playerito o chorlito niveo (*Charadrius nivosus*), el Martín pescador collajero (*Megaceryle torquata*), entre otras. Mamíferos en peligro a nivel nacional: el murciélago alado blanco (*Diademus youngi*) y el murciélago de Underwood con gorra (*Eumops underwoodi*); la nutria (*Lontra longicaudis*) mencionada en el Apéndice I de CITES.

2.3. ÁREAS CERTIFICADAS POR UNESCO COMO RESERVAS DE LA BIOSFERA.

Las Reservas de Biosfera son zonas de ecosistemas terrestres o costeros/marinos, o una combinación de los mismos, reconocidas en el plano internacional como tales en el marco del Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB) de la UNESCO. Las Reservas de Biosfera son designadas para promover y demostrar una relación equilibrada entre las poblaciones y la naturaleza (UNESCO, 2009).

En el caso de El Salvador, la UNESCO ha certificado tres áreas como Reservas de la Biosfera: Apaneca-Ilamatepec, Xiriualtique-Jiquilisco y Trifinio-Fraternidad.



3. ÁREAS NO PROTEGIDAS

En El Salvador, además existen áreas no protegidas ni reguladas pero con un importante valor ambiental y que deberían ser protegidas u ordenadas de alguna manera. Un ejemplo de estas áreas sería la **laguna Verde de Apaneca**, ubicado en un cráter volcánico de la cordillera Apaneca-Ilamatepec, rodeada por un bosque nebuloso alterado para establecimiento de monocultivos de altura y bosques de ciprés. Su área es de 10 hectáreas y está ubicado a una altura de 1,600 msnm. Sin embargo, el agua presenta bajos niveles de sales y refleja la poca influencia de escorrentías y degradación de suelos y rocas. La mayor presión en esta zona está relacionada con la extracción de agua con fines de consumo humano y agrícola durante la época seca. No se ha detectado presencia de especies invasoras ni actividades relacionadas con la quema y tala.

4. ESPECIES RELEVANTES A CONSERVAR

La mayoría de ecosistemas acuáticos como ríos, lagos y lagunas de El Salvador están contaminados al punto que algunos están perdiendo la capacidad de sostener la vida acuática. Estos desequilibrios provocan que especies invasoras vegetales y animales se propaguen sin control.

La mala calidad de las aguas continentales y la falta del establecimiento del régimen de caudal ecológico en las principales cuencas hidrográficas del país, afectan a la vida de muchas de las especies presentes en los ecosistemas costero-marinos como los manglares, esteros, bahías y playas.

A continuación se realiza un pequeño listado de las principales especies dulceacuícolas o de aguas continentales (ríos, lagos, lagunas y embalses) a preservar en El Salvador.

Para ellos se han tenido en cuenta información de distintas fuentes:

- Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. (MARN, MOP, VMVDU, 2004)
- Plan Regional de Pesca y Acuicultura Continental – PREPAC. (OSPESCA; TAIWAN; OIRSA; MAG, 2005)
- Diagnóstico de las especies invasoras de fauna vertebrada y sus efectos sobre ecosistemas en El Salvador (Vázquez, 2002)
- Listado oficial de especies de vida silvestre amenazada o en peligro de extinción. (MARN, 2009).
- Listado de peces continentales en El Salvador. (McMahan, y otros, 2013).
- Inventario Nacional y Diagnóstico de los Humedales de El Salvador (Jiménez, Sánchez-Marmol, & Herrera, 2004).

Aquellas especies a preservar en las zonas de manglares y lagunas costeras quedan especificadas en el apartado anterior de áreas protegidas, al hablar de las áreas de conservación de Bahía Jiquilisco y Estero Jaltepeque.

4.1. VEGETACIÓN DE RIBERA

La vegetación riparia juega un papel fundamental, ya que la eliminación o disminución del régimen natural puede producir importantes daños sobre sus comunidades, afectando muy especialmente al regenerado y al arbolado de más edad. En ocasiones, los impactos se producen como consecuencia de la modificación conjunta de la magnitud y frecuencia de las avenidas y del nivel de las aguas subterráneas, que da lugar a cambios en el equilibrio salino del suelo y a un considerable estrés hídrico motivado por procesos osmóticos. En todo caso, suele ser difícil separar los efectos producidos por los cambios en el régimen de caudales de otros factores, tales como los cambios en la calidad de las aguas o en los niveles freáticos (Magdaleno, 2005).

Los ríos salvadoreños sirven de hogar para diferentes especies de plantas sumergidas especialmente adaptadas a las aguas corrientes como *Marathrum schiedeanum* (Podostemaceae). Además de estas plantas, en las orillas de los ríos del país es típico encontrar diferentes especies de árboles nativos especialmente adaptadas a la cercanía del agua o a las inundaciones periódicas como son pepeto de río (*Inga vera*), amate de río (*Ficus insipida*), almendro de río (*Andira inermis*), sauce (*Salix humboldtiana*) entre otros (Jiménez, Sánchez-Marmol, & Herrera, 2004).

4.2. MACROINVERTEBRADOS

Los limpios ríos de montaña albergan también a varios grupos de invertebrados propios de aguas de bajo caudal, movidas y oxigenadas como son los efemerópteros y ciertos géneros de odonatos (*Libellula herculea*, *Argia oenea*).



4.3. MOLUSCOS

Las principales especies de moluscos presentes en algunos de los ríos y lagunas del país son:

- Caracol jute (*Pachychilus spp*), en fondos lodosos de ríos, lagunas y embalses como el del 15 de Septiembre.
- Almeja gigante de río (*Mycetopoda subsinuata*).

4.4. CRUSTÁCEOS

Entre las especies de camarones dulceacuícolas se incluyen:

- Camarón negro (*Macrobrachium americanum*, *Macrobrachium digueti*)
- Camarón de río (*Macrobrachium tenellum*), más común; presente en lagos y corrientes costeras con conexión directa al mar y en esteros. Importancia comercial.

Destacar también la presencia del cangrejo de río (*Pseudotelphusa magna*), el cual se reproduce indistintamente en lagos y ríos de montañas y planicie costera, aunque sus poblaciones son aparentemente mayores en lagos, como en Coatepeque.

4.5. ANFIBIOS

Los Anfibios son un grupo importante de los humedales y las tierras colindantes a estos, en algunos ecosistemas constituyen la mayor biomasa de vertebrados y de acuerdo a esto pueden ser utilizados como indicadores ambientales. Las especies más comunes y/o frecuentemente encontradas en los humedales del país, son *Bufo marinus*, *B. coccifer*, *B. luetkenii*, *Smilisca baudinii*, *Eleutherodactylus rupinus* y *Leptodactylus melanonotus*.

Las principales especies de anfibios a preservar y su ubicación son:

Tabla 2. Especies de anfibios de considerable importancia de conservación.

ESPECIES	MARN 2009	DISTRIBUCIÓN EN EL SALVADOR
<i>Bolitoglossa salvinii</i>	En peligro	PN Montecristo
<i>Bolitoglossa synoria</i>	En peligro	Cerro El Pital
<i>Oedipina taylori</i>	Amenazada	San Marcelino, Walter Deininger, Cinquera, PN El Imposible, Volcán San Miguel
<i>Plectrohyla guatemalensis</i>	En peligro	PN Montecristo
<i>Plectrohyla psiloderma</i>	En peligro	Cerro El Pital
<i>Plectrohyla sagorum</i>	En peligro	Cerro El Pital
<i>Ptychohyla euthysanota</i>	En peligro	PN Montecristo
<i>Ptychohyla salvadorensis</i>	Amenazada	Cacahuatique, PN Montecristo, Perquín, El Zope
<i>Hypopachus barberi</i>	Amenazada	Cerro El Pital, Laguna Las Ninfas, El Zope, Volcán San Vicente

Los sitios de mayor interés por diversidad de anfibios son, de mayor a menor: PN Montecristo, Perquín, la hacienda Cuyan-Cuya (Izalco), El Parque Nacional El Imposible, El Zope, Colima, la Bahía de Jiquilisco, el volcán San Miguel y San Juan Buenavista, El Pital, cerro Cacahuatique y Club Atami.

El *Bufus marinus* es considerado una especie invasora en el país.

4.6. PECES

La ictiofauna de agua dulce de El Salvador está formada por 101 especies, en 64 géneros, 29 familias y 14 órdenes. Según su tolerancia a la salinidad, 73% de las especies son periféricas, 23 por ciento son secundarias, y solo un cuatro por ciento se encontró como primarios de agua dulce. Una especie endémica del país es, *Amatitlania coatepeque*. El bajo número de especies primarias de agua dulce así como de especies endémicas es comparable con otras áreas del Pacífico centroamericano en particular, así como al norte de Centroamérica en general (McMahan, y otros, 2013).

Generalmente, para los estudios de caudales ecológicos, se analizan peces por su relación de su estado de conservación con la disponibilidad y alteración de régimen de caudales y la calidad del agua. Algunas de las **especies piscícolas** nativas de El Salvador que han sufrido en los últimos años disminución en el número de poblaciones en lugares donde eran abundantes (González, 1995), son: la ulumina o alma seca (*Romboides salvadoris*), la plateada o sardina (*Astyanax fasciatus aeneus*), el quisque o boquita (*Arius taylori*), el ejote o sabaleta (*Thyrina guija*). Destacar también el tepemechín (*Agonostomus monticola*), que como pez migratorio necesita de altos niveles de oxígeno para vivir, por lo que su presencia en los ríos de El Imposible garantiza la limpieza de sus aguas. Por otro lado, alguno peces propios de ríos y arroyos pequeños de El Salvador son la plateada (*Astyanax fasciatus*) y la burrita (*Cichlasoma nigrofasciatum*).

En el presente documento se hará hincapié en las especies piscícolas presentes actual o históricamente en cada tramo de estudio, ya que son las que tienen una respuesta más rápida y directa ante las variaciones hidráulicas. De hecho, tradicionalmente mediante la metodología IFIM, el régimen de caudales ambientales se ha venido calculando bajo la obligación de que un caudal determinado maximizará la cantidad de microhábitat para una etapa vital concreta de una especie piscícola de especial interés en unos pocos puntos específicos del río. La metodología permite reproducir diversas intensidades de regulación sobre el sistema, y estudiar los efectos sobre los hábitats piscícolas (Magdaleno, 2005).

La única especie listada en el artículo *Checklist of the Inland Fishes of El Salvador* (McMahan, y otros, 2013) que está contenida dentro del listado oficial de especies de vida silvestre amenazada o en peligro de extinción (MARN, 2009) es la machorra o pez lagarto (*Atractosteus tropicus*), catalogada como especie “en peligro” y distribuida por las regiones hidrográficas del río Paz y Cara Sucia San Pedro. Las otras cinco especies piscícolas de este listado oficial son de tipo marino.

En la actualidad no se dispone de información específica de aquellas especies piscícolas indicadoras o a preservar en cada uno de los tramos de estudio. Únicamente se disponen de información de las especies piscícolas continentales presentes por cuenca y departamento (McMahan, y otros, 2013).

4.7. REPTILES

Las principales especies de reptiles relacionados con ecosistemas de aguas continentales de El Salvador son:



- Tortugas: *Kiosternon scorpiodes*, *Rhinoclemmys pulcherrima*. Distribuidas en las cuencas del río Jalponga y del río Grande de San Miguel.
- Tenguereches: *Basiliscus vittatus*. Son comunes en las orillas de ríos.
- Caimanes: *Caiman crocodilus* y *Crocodylus acutus*. Ambos se caracterizan por ser reptiles carnívoros que habitan diferentes tipos de cursos de agua dulce, ciénagas y pantanos de El Salvador. Ambas están catalogadas como especies en peligro (MARN, 2009), ya que las poblaciones en el país son limitadas. Se tiene constancia de la presencia de ambas especies en la laguna El Jocotal. Además, el *Crocodylus acutus* puede encontrarse principalmente en Barra de Santiago y Bahía de Jiquilisco.

4.8. MAMÍFEROS

El único mamífero relacionado con las aguas continentales de El Salvador es la nutria o perro de agua (*Lontra longicaudis*). Dicha especie es característica de tramos de río saludables que pasan por bosques secos y bosques húmedos. En la actualidad se encuentra catalogada como especie en peligro (MARN, 2009). Presencia de individuos en los ríos Torola, Sapo, Sumpul, San Francisco, Lempa y laguna El Jocotal.

4.9. AVES

Varias especies de aves utilizan ríos y arroyos como hábitats principales: martines pescadores (*Chloroceryle americana*, *Ch. amazona*, *Ceryle torquata*), mosqueros (*Sayornis nigricans*, *Pitangus sulphuratus*, *Myiodinastes luteiventris*) y el alzacolita (*Seiurus noveboracensis*) (Jiménez, Sánchez-Marmol, & Herrera, 2004).



5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- González, R. (1995). *Los peces nativos en vías de extinción en las aguas continentales de El Salvador*. Unión Europea - Oldesa: PRADEPESCA. .
- Jiménez, I., Sánchez-Marmol, L., & Herrera, N. (2004). *Inventario Nacional y Diagnóstico de los Humedales de El Salvador*. San Salvador: MARN/AECI.
- Magdaleno, F. (2005). *Caudales ecológicos: conceptos, métodos e interpretaciones*. Monografías CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas), M-82. Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento.
- MARN. (2005a). *Plan Especial de Protección del Medio Físico y Natural y Catálogo de Espacios Naturales*. San Salvador.
- MARN. (2005b). *Estrategia Nacional de Gestión de Áreas Protegidas y Corredor Biológico*. San Salvador.
- MARN. (2009). *Acuerdo N° 36. Listado Oficial de Especies de Vida Silvestre Amenazada o en Peligro de Extinción*. . Diario Oficial N° 103, Tomo N° 383.
- MARN. (2010a). *III Informe de Áreas Naturales Protegidas. III Congreso Mesoamericano de Áreas Protegidas*.
- MARN. (2011k). *Fichas de las Áreas de Conservación de El Salvador*. San Salvador.
- MARN. (2012d). *Catálogo de Zonas Críticas Prioritarias en Humedales Ramsar. El Salvador*. San Salvador.
- MARN, MOP, VMVDU. (2004). *Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial*. El Salvador - Centroamérica.
- McMahan, C. D., Matamoros, W. A., Álvarez-Calderón, F. S., Yamileth-Enríquez, W., Recinos, H. M., Chakrabarty, P., y otros. (2013). Checklist of the Inland Fishes of El Salvador. *Zootaxa*, 3608 (6): 440-456.
- OSPESCA; TAIWAN; OIRSA; MAG. (2005). *Plan Nacional de Pesca y Acuicultura Continental - PREPAC*. El Salvador.
- UNESCO. (2009). *Biosphere Reserves. World Network. The MAB Programme*. MAB Secretariat. Division of Ecological and Earth Sciences.
- Vázquez, J. (2002). Diagnóstico de las especies invasoras de fauna vertebrada y sus efectos sobre ecosistemas en El Salvador.