



ESTUDIOS TÉCNICOS DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA CUENCA CHANCAY-HUARAL

■ ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	15
2. CONCEPTOS.....	17
2.1. CONCEPTO Y DEFINICIONES DE CAUDAL AMBIENTAL	17
2.2. RESTRICCIÓN AMBIENTAL VERSUS DEMANDA AMBIENTAL	19
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y NORMATIVA. PROPUESTA METODOLÓGICA	20
3.1. NORMATIVA	20
3.1.1. Normativa Chilena	20
3.1.2. Normativa Ecuatoriana	23
3.1.3. Normativa Mexicana	24
3.1.4. Normativa Peruana.....	27
3.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE METODOLOGÍAS PARA ESTUDIOS DE CAUDALES ECOLÓGICOS	30
3.2.1. Métodos hidrológicos.....	30
3.2.2. Métodos hidráulicos.....	32
3.2.3. Métodos de simulación del hábitat físico	32
3.2.4. Métodos holísticos.....	32
3.3. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LOS DISTINTOS MÉTODOS	36
3.3.1. Proyecto central hidroeléctrica Los Molinos de Agua. Región de Biobío. Chile.	36
3.3.2. Conservación Ambiental de la Cuenca del río Cochamó Reservando Caudal con Fines de Interés Nacional. Chile.	37
3.3.3. Proyecto piloto para la estimación de caudales ambientales en la cuenca del río Pastaza (Ecuador), basado en un panel de expertos.	37
3.3.4. Sistema Papallacta (Ecuador). Estimación de caudales ambientales en ríos ecuatorianos de altura.	38
3.3.5. Propuesta de caudal ecológico en la cuenca Copatila-Zimatán-Huatulco, México (2009).	39
3.3.6. Estimación de los caudales ecológicos en el Río Valles (México) con el método Tennant	40
3.3.7. Generalidades y casos en Perú.....	40
3.4. PROPUESTA METODOLÓGICA	41
4. ZONAS DE INTERÉS ECOLÓGICO Y MEDIOAMBIENTAL EN LA CUENCA	43
4.1. ÁREAS PROTEGIDAS:.....	43
4.2. ÁREAS NO PROTEGIDAS.....	43
4.2.1. Lomas Costeras de Pasamayo.....	43
4.2.2. Pastos de alta montaña.....	43
4.2.3. Nevados y lagunas	44

■ ÍNDICE	
4.2.4.	Playas y costas.....44
4.2.5.	Riberas y nacientes44
4.3.	ESPECIES ACUÁTICAS44
5.	GRADO DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA DE LA CUENCA Y AFECCIONES46
5.1.	TRAMO ALTO: RÍO CHANCAY-HUARAL Y AFLUENTES HASTA LA CONFLUENCIA CON EL RÍO CARAC.46
5.1.1.	Sistema de Lagunas Reguladas46
5.1.2.	Centrales Hidroeléctricas (C.H.)50
5.1.3.	Unidades mineras.....51
5.2.	TRAMO MEDIO-ALTO51
5.2.1.	Bocatomas.....51
5.2.2.	Centrales Hidroeléctricas.....52
5.3.	TRAMO BAJO52
6.	IDENTIFICACIÓN DE TRAMOS PRIORITARIOS54
6.1.	RÍO VICHAYCOCHA55
6.2.	RÍO CHICRÍN.56
6.3.	ALTO CHANCAY-HUARAL.56
6.4.	RÍO BAÑOS – TRAMO ALTO.....56
6.5.	RÍO QUILES.....56
6.6.	RÍO BAÑOS – TRAMO BAJO.....57
6.7.	MEDIO CHANCAY-HUARAL (ENTRE BAÑOS Y CARAC).....57
6.8.	RÍO CARAC.....57
6.9.	MEDIO CHANCAY-HUARAL (ENTRE CARAC Y AÑASMAYO).....57
6.10.	RÍO AÑASMAYO.....57
6.11.	RÍO AGUASHUARCO58
6.12.	MEDIO-BAJO CHANCAY-HUARAL.58
6.13.	BAJO CHANCAY-HUARAL.58
7.	RESULTADOS: CARACTERIZACIÓN DE LAS SERIES EN RÉGIMEN NATURAL Y PROPUESTA DE CAUDALES MÍNIMOS EN TRAMOS PRIORITARIOS60
7.1.	RÍO VICHAYCOCHA62
7.2.	TRAMO 2. RÍO CHICRÍN.....66
7.3.	TRAMO ALTO RIO CHANCAY-HUARAL71
7.4.	RÍO BAÑOS – CABECERA.....75
7.5.	RÍO QUILES.....79

■ **ÍNDICE**

7.6. TRAMO 4. RÍO BAÑOS (TRAMO BAJO)	83
7.7. TRAMO MEDIO DEL RÍO CHANCAY-HUARAL-1 (ENTRE BAÑOS Y CARAC)	87
7.8. RÍO CARAC.....	91
7.9. TRAMO MEDIO DEL RÍO CHANCAY-HUARAL-2. (ENTRE CARAC Y AÑASMAYO).....	95
7.10. RÍO AÑASMAYO.....	99
7.11. RÍO AGUASHUARCO.....	103
7.12. TRAMO MEDIO-BAJO DEL RÍO CHANCAY-HUARAL.....	107
7.13. TRAMO BAJO DEL RÍO CHANCAY-HUARAL.....	111
8. PRINCIPALES AFECCIONES	115
8.1. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN CUENCA MEDIA-ALTA	115
8.2. AFECCIONES EN LAS DEMANDAS AGRÍCOLAS DEL VALLE	116
9. RECOMENDACIONES	118
10. BIBLIOGRAFÍA.....	119
ANEXO 1: ESQUEMA TOPOLOGICO MAYOR DE LA RED HIDROGRAFICA DE LA CUENCA CHANCAY-HUARAL Y TRAMOS DE ESTUDIO PROPUESTOS.....	123
ANEXO 2: METODOLOGÍA HIDROLÓGICA PROPUESTA PARA LA ESTIMACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES AMBIENTALES: RANGE VARIABILITY APPROACH (RVA).	125
ANEXO 3: GRAFICAS DE AFECCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS A LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE LA CUENCA MEDIA-ALTA CHANCAY-HUARAL.	131

■ ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Establecimiento de caudal ecológico mínimo en Chile	22
Ilustración 2. Esquema de pasos correspondiente al nivel II de Panel de Expertos.....	33
Ilustración 3. Cuadro comparativo de líneas metodológicas en estudios de los caudales ambientales. ..	35
Ilustración 4. Enfoque conceptual de evaluación del caudal mínimo ecológico, desde una perspectiva ecosistémica.....	36
Ilustración 5. Camarón nativo	45
Ilustración 6. Elemento de regulación en la Laguna Quisha. Subcuenca de Baños.....	46
Ilustración 7. Esquema de las lagunas del subsistema Vichaycocha.....	47
Ilustración 8. Esquema de las lagunas del subsistema Chicrín.....	48
Ilustración 9. Esquema de las lagunas del subsistema Baños.....	49
Ilustración 10. Deslizamiento de las escombrerías hacia el cauce en la mina de cal de Santa cruz de Andamarca.	51
Ilustración 11. Bocatoma La Esperanza. Subcuenca Baja de Chancay-Huaral (Fuente. Julio San Román).....	52
Ilustración 12. Plano de localización de centrales hidroeléctricas y bocatomas presentes en la Cuenca de Chancay-Huaral.....	53
Ilustración 13. Climas predominantes y curvas de nivel en la Cuenca Chancay-Huaral.	55
Ilustración 14. Propuesta de los puntos de estudio de caudales ecológicos.....	59
Ilustración 15. Ubicación de los tramos de estudio de caudales ecológicos en la cuenca Chancay-Huaral y resultados obtenidos	62
Ilustración 16. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo del río Vichaycocha.	62
Ilustración 17. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo del río Vichaycocha.	63
Ilustración 18. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de la serie régimen natural y circulante en el río Vichaycocha.	63
Ilustración 19. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del Río Vichaycocha.	65
Ilustración 20. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo y el rango de caudales objetivo a alcanzar propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo río Vichaycocha.....	66
Ilustración 21. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo del río Vichaycocha. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.	66
Ilustración 22. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo del río Chicrín.	67
Ilustración 23. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo del río	

Chicrín.....	67
Ilustración 24. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de las series en régimen natural y régimen circulante en el río Chicrín.....	68
Ilustración 25. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del río Chicrín.....	69
Ilustración 26. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo río Chicrín.....	70
Ilustración 27. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo del río Chicrín. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.....	70
Ilustración 28. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo alto del río Chancay-Huaral.....	71
Ilustración 29. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo alto del río Chancay-Huaral.....	71
Ilustración 30. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de las series en régimen natural y régimen circulante en el tramo alto del río Chancay-Huaral.....	72
Ilustración 31. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del tramo alto del río Chancay-Huaral.....	73
Ilustración 32. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo alto del río Chancay-Huaral.....	74
Ilustración 33. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo alto del río Chancay-Huaral. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.....	74
Ilustración 34. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo de cabecera del río Baños.....	75
Ilustración 35. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo de cabecera del río Baños.....	75
Ilustración 36. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de la serie régimen natural y circulante en la cabecera del río Baños.....	76
Ilustración 37. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del río de cabecera del río Baños.....	77
Ilustración 38. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Río Baños (Cabecera).....	78
Ilustración 39. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo de cabecera del río Baños. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.....	78
Ilustración 40. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el río Quiles.....	79
Ilustración 41. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el río Quiles.....	79

Ilustración 42. Variación mensual establecida a partir de los promedios de las series mensuales medias en régimen natural y circulante en el río Quiles.....	80
Ilustración 43. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del río Quiles.....	81
Ilustración 44. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Río Quiles.....	82
Ilustración 45. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del río Quiles. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.....	82
Ilustración 46. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en la parte baja del río Baños.....	83
Ilustración 47. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en la parte baja del río Baños.....	83
Ilustración 48. Variación mensual establecida a partir de los promedios de las series mensuales medias en régimen natural y circulante en la parte baja del río Baños.....	84
Ilustración 49. Alteración hidrológica a nivel mensual y anual en la parte baja del río Baños.....	85
Ilustración 50. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo (azul) y seco (naranja). Río Baños (Parte baja).....	86
Ilustración 51. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del río Baños. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.....	86
Ilustración 52. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo medio del río Chancay-Huaral-1.....	87
Ilustración 53. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo medio del río Chancay-Huaral-1.....	87
Ilustración 54. Variación mensual establecida a partir de los promedios de las series mensuales medias en régimen natural y circulante en el tramo medio del río Chancay-Huaral-1.....	88
Ilustración 55. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del tramo medio del río Chancay-Huaral-1.....	89
Ilustración 56. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo medio del río Chancay-Huaral-1.....	90
Ilustración 57. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo medio del río Chancay-Huaral-1. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.....	90
Ilustración 58. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en la parte baja del río Carác.....	91
Ilustración 59. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el río Carác.....	91
Ilustración 60. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de la serie	

régimen natural y circulante en el río Carác.....	92
Ilustración 61. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del río Carác.....	93
Ilustración 62. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Río Carác.....	94
Ilustración 63. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del río Carác. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.....	94
Ilustración 64. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo medio del río Chancay-Huaral-2.....	95
Ilustración 65. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo medio del río Chancay-Huaral-2.....	95
Ilustración 66. Variación mensual establecida a partir de los promedios de las series mensuales medias en régimen natural y circulante en el tramo medio del río Chancay-Huaral-2.....	96
Ilustración 67. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del tramo medio del río Chancay-Huaral-2.....	97
Ilustración 68. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo medio del río Chancay-Huaral-2.....	98
Ilustración 69. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo del medio del río Chancay-Huaral. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.....	98
Ilustración 70. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el río Añasmayo.....	99
Ilustración 71. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo del río Añasmayo.....	99
Ilustración 72. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de la serie régimen natural y circulante en el río Añasmayo.....	100
Ilustración 73. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del río Añasmayo.....	101
Ilustración 74. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Río Añasmayo.....	102
Ilustración 75. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo del río Añasmayo. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.....	102
Ilustración 76. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el río Aguashuarco.....	103
Ilustración 77. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo del río Aguashuarco.....	103
Ilustración 78. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de la serie	

régimen natural y circulante en el río Aguashuarco.	104
Ilustración 79. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del río Aguashuarco.	105
Ilustración 80. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Río Aguashuarco.	106
Ilustración 81. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del río Aguashuarco. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.	106
Ilustración 82. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral.	107
Ilustración 83. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral.	107
Ilustración 84. Variación mensual establecida a partir de los promedios de las series mensuales medias en régimen natural y circulante en el tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral.	108
Ilustración 85. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral.	109
Ilustración 86. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral.	110
Ilustración 87. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo del medio- bajo del río Chancay-Huaral. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.	110
Ilustración 88. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo bajo del río Chancay-Huaral.	111
Ilustración 89. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo bajo del río Chancay-Huaral.	111
Ilustración 90. Variación mensual establecida a partir de los promedios de las series mensuales medias en régimen natural y circulante en el tramo bajo del río Chancay-Huaral.	112
Ilustración 91. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del tramo bajo del río Chancay-Huaral.	113
Ilustración 92. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo bajo del río Chancay-Huaral.	114
Ilustración 93. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo bajo del río Chancay-Huaral, próximo a la desembocadura. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.	114
Ilustración 94. Ubicación de los tramos de estudio principales juntos con las principales afecciones a las centrales hidroeléctricas en la cuenca media-alta y a las demandas del valle bajo.	115
Ilustración 95. Déficit medio y máximo en función del caudal ecológico impuesto en el tramo medio-bajo de la cuenca Chancay-huaral.	117
Ilustración 96. Déficit medio y máximo déficit en función del caudal ecológico propuesto en el tramo	

bajo de la cuenca Chancay-Huaral.	117
--	-----

ACRÓNIMOS

AAA: Autoridad Administrativa del Agua Cañete-Fortaleza.

AIA: Áreas de Importancia Ambiental. Chile.

ALA: Autoridad Local del Agua. Chancay – Huaral

ANA: Autoridad Nacional del Agua Perú.

BBM: Building Block Methodology.

CNRH: Consejo Nacional de Recursos Hídricos. Ecuador.

CONAF: Corporación Nacional Forestal. Chile.

DGA: Dirección General de Aguas. Chile

DIA: Declaración de Impacto Ambiental.

DRIFT: Downstream Response to Imposed Flow Transformation.

EIA: Estudio de Impacto Ambiental

GIRH: Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

IFIM: Instream Flow Incremental Methodology.

IHA: Índices de Alteración Hidrológica.

JU: Junta de Usuarios. Chancay – Huaral.

LAN: Ley de Aguas Nacionales. México.

MAE: Ministerio de Ambiente de Ecuador.

MINAM: Ministerio del Ambiente. Perú.

MMA: Ministerio de Medio Ambiente. Chile.

QBM: Caudal Básico de Mantenimiento.

RCA: Resolución de Calificación Ambiental. Chile.

RVA: Range Variability Approach.

SAG: Servicio Agrícola Ganadero. Chile.

SEA: Servicio de Evaluación Ambiental. Chile.

SENAGUA: Secretaría Nacional del Agua. Ecuador.

SERNAPESCA: Servicio Nacional de Pesca. Chile.

SERNATUR: Servicio Nacional de Turismo. Chile.

SMA: Superintendencia del Medio ambiente. Chile.

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El agua es un bien escaso en ciertas áreas de Perú ya sea por ser éstas secas o relativamente secas de forma natural ya sea 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 la legislación en Perú que establece la necesidad de disponer de un volumen de agua que asegure los caudales ecológicos, los niveles mínimos de reserva o seguridad de almacenamiento y las condiciones de navegabilidad cuando corresponda y según el régimen hidrológico.

El establecimiento del régimen de caudales ecológicos se realizará mediante un proceso que se desarrollará en **tres fases** (MARM, 2008):

- a) Desarrollo de los **estudios técnicos** destinados a determinar los elementos del régimen de caudales ecológicos en todas aquellas zonas prioritarias, bien por tener un alto valor ecológico y medioambiental o bien por presentar un alto grado de intervenciones antrópicas y afecciones. Durante esta fase se definirá un régimen de caudales mínimos menos exigente para sequías prolongadas.
- b) **Proceso de concertación** en aquellos casos que condicionen significativamente las asignaciones y reservas del plan hidrológico, definido por varios niveles de acción (información, consulta pública y participación activa).
- c) **Proceso de implantación** concertado de todos los componentes del régimen de caudales ecológicos y su seguimiento adaptativo.

En el presente informe se desarrolla la normativa, la propuesta metodológica a desarrollar, selección de tramos prioritarios en la Cuenca Chancay-Huaral y determinación un rango de caudales ecológicos en cada uno de estos tramos seleccionados.

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

Para alcanzar este objetivo el régimen de caudales ecológicos deberá 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 hábitat asociados y permita mantener la integridad biológica del ecosistema. En la consecución de este objetivo tienen prioridad las áreas naturales protegidas o con un gran valor paisajístico, zonas de interés ecológico por la presencia de determinadas especies protegidas y las zonas con un alto grado de intervención antrópica dando lugar a afecciones hidromorfológicas.

La determinación e implantación del régimen de caudales en las áreas naturales protegidas no se referirá 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 específicos** que persigue el siguiente documento son:

- Revisión bibliográfica de a la normativa vigente referente a caudales ecológicos en Perú, Chile y Ecuador así como una revisión de casos de estudios de caudales ambientales aplicados en estos tres países.
- Análisis y propuesta de la metodología a utilizar en los tramos seleccionados para la implementación de los caudales ecológicos.
- Definición de las zonas de alto valor ecológico en la cuenca del Chancay-Huaral, bien por ser áreas naturales protegidas o por la presencia de determinadas especies acuáticas endémicas que sean representativas, dando prioridad a aquellas con algún tipo de protección.
- Determinación de aquellas áreas en la cuenca de Chancay-Huaral con mayor afección antrópica, ya que son las que mayor número de derivaciones presentan para el desarrollo de las distintas actividades: centrales hidroeléctricas, regadío, etc.
- Identificación de tramos prioritarios en la cuenca de Chancay-Huaral para la elaboración de estudios de caudales ecológicos.
- Establecer el caudal ecológico, tanto para la estación seca como para la húmeda, en cada uno de los tramos de estudio identificados mediante la metodología planteada.
- Establecimiento de un rango de caudales objetivo a alcanzar, tanto para la estación seca como para la húmeda, en cada uno de los tramos de estudio identificados.
- Determinación del grado de alteración hidrológica en cada uno de los tramos mediante la comparación de las series en régimen circulante y en régimen natural.
- Recomendaciones a seguir en fases posteriores.

2. CONCEPTOS

2.1. CONCEPTO Y DEFINICIONES DE CAUDAL AMBIENTAL

El concepto de caudal 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.

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 et al. 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 et al, 2003)”

Cabe señalar que en el texto que se acaba de citar la condición elegida deber 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” (UICN, 2003).”

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 and Davis (2009):** Los caudales ambientales pueden ser descrito 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.

- **Arthington and 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.
- **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.
- **Brown and 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 acabamos 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 la **legislación peruana** ha tomado ya una definición y mientras la misma no sea modificada, resulta siendo la que los organismos públicos deberán aplicar. En el caso del Perú, debemos tomar en cuenta la definición legal de caudal ecológico, la cual está contenida en el artículo 153 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos:

“Se entenderá como caudal ecológico al volumen de agua que se debe mantener en las fuentes naturales de agua para la protección o conservación de los ecosistemas involucrados, la estética del paisaje u otros aspectos de interés científico o cultural.”

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 peruana el **caudal ecológico** está referido al **conjunto de fuentes naturales**, es decir que además de los **ríos**, se debe aplicar el concepto a **lagos, lagunas y otros cuerpos de agua**.

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, 2004), 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.

2.2. RESTRICCIÓN AMBIENTAL *VERSUS* DEMANDA AMBIENTAL

Cabe diferenciar la consideración del caudal ecológico como restricción o como demanda ambiental. Considerarlo como restricción obliga a satisfacerlo en primer lugar, salvo en situaciones de sequía donde el abastecimiento tiene un carácter prioritario o en situaciones especiales que se hayan acordado previamente durante los procesos de participación pública. En este caso no se incluiría en el balance de recursos y demandas.

Establecer los caudales como demanda ambiental implica, a parte de su inclusión como una demanda más que detrae un recurso en el balance, una negociación junto con el resto de demandas de los volúmenes para los diferentes usos y la implicación de las distintas administraciones con competencias en el medioambiente para representarlo en el proceso de concertación.

La caracterización de la demanda ambiental deberá ser consensuada con la intervención de los distintos sectores implicados, desde la planificación hasta el uso del agua.

Tradicionalmente, se han considerado los sectores urbano, industrial y agrícola como los principales usos consuntivos del agua. Sin embargo, en los últimos tiempos, ha emergido con fuerza otro sector que demanda parte de los recursos; se trata del sector ambiental, que ha dejado de ser residual para pasar a tener una alta prioridad. Dicha prioridad está justificada, pues la demanda ambiental no debe entenderse sólo 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.

Una vez definida la demanda ambiental, se deberá establecer el balance entre los recursos y las demandas consolidadas, considerando como tales las representativas de unas condiciones normales de suministro en los últimos años.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y NORMATIVA. PROPUESTA METODOLÓGICA

3.1. NORMATIVA

Algunos países sudamericanos están incorporando los caudales ambientales al contexto de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos debido a

- Modificación de las leyes nacionales de aguas (Ecuador, Perú)
- Incorporación más explícita de aguas de los caudales ambientales en la política o legislación (Brasil, Colombia)

A continuación se da un breve resumen sobre la normativa referente a los caudales ecológicos en los países de Chile, Ecuador, Perú y México.

3.1.1. Normativa Chilena

El derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación está asegurado por la Constitución Política de la República de Chile (art 19, N°8), siendo el Estado quien debe velar para que este derecho no sea afectado y debe además tutelar la preservación de la naturaleza.

Históricamente, aquellos proyectos que hacían un uso productivo del recurso hídrico, ya sea mediante usos consuntivos como no consuntivos, no eran obligados a mantener un caudal mínimo que preservara la ecología del sistema fluvial. Solamente eran conminados a que la extracción o restitución del recurso hídrico se hiciese de tal forma que no perjudique los derechos de agua de terceros constituidos sobre las mismas aguas (**Art 14, DFL 1.122/81, Ministerio de Justicia, Código de Aguas**). De igual manera, la constitución de los derechos de agua por parte de la autoridad también debiese realizarse de tal forma que asegure la mantención de los derechos de agua constituidos por terceros (Art 22, DFL 1.122/81, Ministerio de Justicia, Código de Aguas).

Bajo la creación de la **Ley Sobre Bases Generales del Medio Ambiente en 1994 (Ley N°19.300/94)**, se introduce el concepto que el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables deberá ser efectuado de tal forma que asegure su capacidad de regeneración y la diversidad biológica asociada a estos (Art. 41 Ley 19.300), dando especial énfasis a las especies en peligro de extinción, raras, insuficientemente desconocidas o vulnerables estableciéndose además la presentación y cumplimiento de planes de manejo de dichos recursos naturales los cuales deben incluir entre otros la mantención de caudales (Art. 42 Ley N° 19.300).

En 1999, la Dirección General de la Calidad Ambiental (en adelante DGA) publica el *Manual de Norma y Procedimientos para la administración de Recursos Hídricos* (DGA 1999). En este documento, el primero que entrega instrucciones respecto a los caudales ecológicos, se señala la primera definición de caudal ecológico mínimo como “aquél caudal necesario para asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático preestablecido”.

Se emplean cuatro métodos hidrológicos para la determinación del caudal ecológico mínimo, basadas en legislación extranjera. Éstos son:

- 10% del caudal medio anual (10% CAM).
- 50% del caudal mínimo del estiaje del año 95% (50%Q95).
- Caudal que es excedido al menos 330 días al año (Q330).
- Caudal que es excedido al menos 347 días al año (Q347).

Este tipo de metodología entrega un caudal único, constante y continuo a lo largo del año.

Es por esta razón, que la mayoría de los estudios de caudales ecológicos realizados en el país, se llevan a cabo con este tipo de métodos (Tharme 2003, Jamett 2005). Sin embargo, existen algunos estudios, que a pesar de las recomendaciones entregadas, utilizaron otro tipo de método más adecuado al proyecto y acorde a los avances realizados a nivel internacional en la determinación del caudal ecológico.

En el año 2005, el Código de Aguas de 1981, sufre una modificación mediante la **Ley N° 20.017**. En su **Artículo 129, bis 1**, se señala que la DGA será la institución con atribuciones para preservar la naturaleza y el medio ambiente mediante el establecimiento de un caudal ecológico mínimo. Esta disposición solo afectará a los nuevos derechos otorgados sin carácter retroactivo, es decir, no se aplica para los antiguos derechos.

En dicho documento se señala que el caudal ecológico asociado al otorgamiento de derechos de agua no podrá ser superior al 20% del caudal medio anual (CMA). Este valor máximo sólo podrá ser modificado por decreto fundado del Presidente de la República con un tope máximo de un 40% del caudal medio anual.

A partir de esta modificación se establece un nuevo **Manual de Normas y Procedimientos para la Administración del Recursos Hídricos (DGA 2008)**, el cual incorpora las modificaciones del Código de Aguas referentes al establecimiento de un caudal ecológico en los otorgamientos de nuevos derechos de agua y sus valores mínimos y máximos. Además reconoce el uso histórico de la utilización de las metodologías hidrológicas.

Este documento incorpora grandes avances, tanto en la definición de caudales ecológicos, como en su determinación. Así, el caudal ecológico mínimo es definido como aquel "caudal que debe mantenerse en un curso fluvial o en específico en cada sector hidrográfico, de tal manera que los efectos abióticos (disminución del perímetro mojado, profundidad, velocidad de la corriente, incremento en la concentración de nutrientes, entre otros) producidos por la reducción de caudal no alteren las condiciones naturales del cauce, impidiendo o limitando el desarrollo de los componentes bióticos del sistema (flora y fauna), como tampoco alteren la dinámica y funciones del ecosistema".

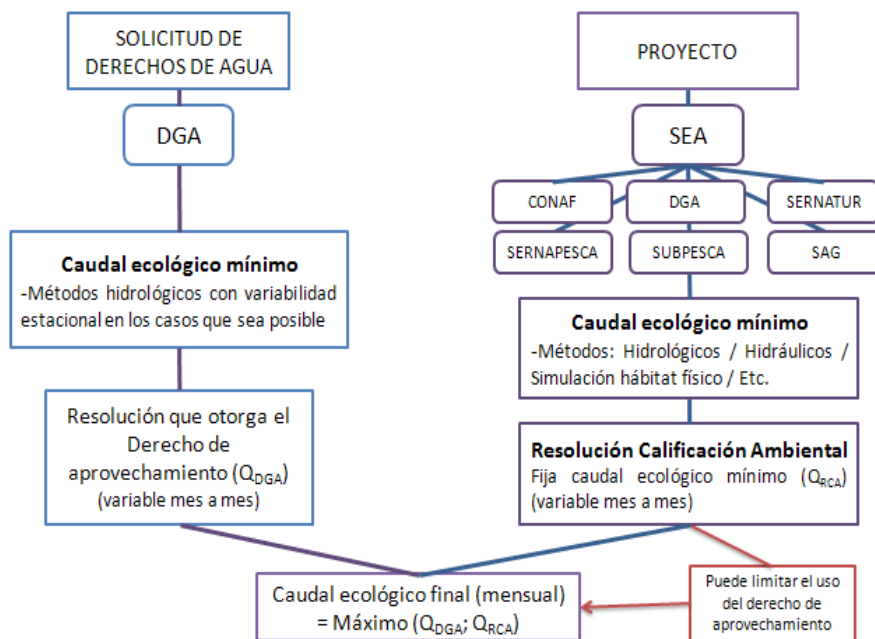
En esta nueva definición del caudal ecológico mínimo se incorpora explícitamente aspectos ecológicos del ecosistema fluvial, así como la dinámica y naturalidad del sistema. Además, el documento considera la importancia del régimen natural de caudales dentro del periodo anual, incorporando la estacionalidad que debe tener el caudal ecológico mínimo.

En 2010 se promulgó la Ley N° 20.417 que entrega una nueva institucionalidad ambiental en el país, la cual crea el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), una Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Este último tendría como misión el simplificar los permisos ambientales y proporcionar información adecuada para los proponentes y la comunidad.

La **Ley N° 20.417** otorga facultades al MMA para regular el uso o aprovechamiento de los recursos naturales, entre los que incluye la mantención de caudales de agua (Art 42, Ley N° 19.300) señalando que se generará un reglamento de determinación del caudal ecológico mínimo el cual se encuentra en preparación.

De esta forma, existen dos instituciones vinculadas directamente con la determinación del caudal ecológico. Por una parte, la DGA determina un caudal ecológico para el otorgamiento del derecho de aprovechamiento asociado a un proyecto productivo. Si dicho proyecto es sometido al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, entonces el SEA, a través de las instituciones competentes, puede limitar el uso del derecho de aprovechamiento otorgado por la DGA mediante la **Resolución de Calificación Ambiental (RCA)**. Esta restricción solo se llevará a cabo si el caudal ecológico fijado por la

RCA es mayor que aquél emitido por la DGA al momento de otorgar derechos de agua. La estructura de otorgamiento y posible restricción al uso de derechos de aprovechamiento de agua se muestra en la Ilustración 1:



Fuente: Modificado de Riestra (2007)

Ilustración 1. Establecimiento de caudal ecológico mínimo en Chile

La DGA, en vista a mejorar el nivel de conservación de los ecosistemas acuáticos desarrolló el estudio “**Determinación de caudales ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa y en estado de conservación**” (DGA-CEA 2008). En este estudio se trazaron los primeros lineamientos sobre una metodología para determinar el caudal ecológico que fuese distinto a los métodos hidrológicos y que sean más ajustadas a las particularidades del río y tramo en estudio.

Además, en este estudio, se incorporaron elementos antrópicos en la determinación del caudal ecológico, los cuales no están explícitamente incorporados en la definición de caudales ecológicos mínimo entregada por la DGA-CEA (2008), dotando a la metodología propuesta en este estudio un sentido más holístico.

Además de la DGA y el SEA, existen otras instituciones públicas que tienen atribuciones sobre el caudal ecológico, como emitir recomendaciones sobre el valor del caudal ecológico según el servicio eco sistémico de competencia. Una de estas instituciones es el Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA) que, según la ley que establece las normas sobre pesca recreativa (**Ley N° 20.256/08**), presenta atribuciones cuando se identifican en el área de estudio especies hidrobiológicas de interés deportivo o actividades turísticas relacionadas a la pesca deportiva. Además la Subsecretaría de Pesca (SUBPESCA) otorga un Permiso Ambiental Sectorial (Art. 95 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. DS N° 95/01, MINSEGPRES) para el seguimiento de condición de poblaciones hidrobiológicas.

Asimismo, existen otras instituciones gubernamentales que tienen atribuciones para emitir recomendaciones sobre el valor de caudal ecológico, como la Corporación Nacional Forestal (CONAF) que mediante la Ley de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal (Ley N° 20.283/08) aborda aspectos de la vegetación ribereña y sus delimitaciones. Otras instituciones que presentan atribuciones en esta materia son el Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR) y el Servicio Agrícola Ganadero (SAG).

Además de la creación de nuevas instituciones con competencias sobre los caudales ecológicos, una de las modificaciones de gran relevancia para la gestión del agua en Chile, es el establecimiento del marco de **participación ciudadana**. En la Ley N° 19.300 (y sus modificaciones) se establece que es deber del Estado el facilitar dicha participación permitiendo el acceso a la información ambiental y promoviendo campañas educativas destinadas a la protección del medio ambiente (Art. 4, Ley N° 19.300).

La participación ciudadana puede efectuarse en el contexto de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

En el caso del EIA, el período de participación ciudadana es de sesenta días contado desde la respectiva publicación del extracto. Si durante el procedimiento de evaluación del EIA este es objeto de aclaraciones, rectificaciones o ampliaciones que afecten sustantivamente al proyecto, el organismo competente deberá abrir una nueva etapa de participación ciudadana, esta vez por treinta días (Art. 29, Ley N° 19.300).

En el ámbito de las **DIA**, existen dos instancias de participación: Por un lado, si el proyecto se localiza en un área no regulada por instrumentos de planificación territorial y no genera cargas ambientales, se abrirá un período de participación ciudadana (no mayor a 10 días) donde se citará a una audiencia especial al menos a tres organizaciones ciudadanas con personalidad jurídica vigente, cuyo domicilio legal se encuentre en aquellas comunas en que el proyecto se emplazará. (Art. 18 quáter, Ley N° 19.300).

Por otro lado, las Direcciones Regionales o el Director Ejecutivo del SEA, podrán decretar la realización de un proceso de participación ciudadana por un plazo de 20 días, donde los ciudadanos participen de la evaluación de la DIA que tengan relación con un proyecto de impacto ambiental para su comunidad o próximo a ésta. El único requisito es que la participación sea solicitada por al menos dos organizaciones ciudadanas con personalidad jurídica, a través de sus representantes, o como mínimo, diez personas naturales directamente afectadas. La participación ciudadana comprende los derechos a acceder y conocer el expediente físico o electrónico de la evaluación, formular observaciones y obtener respuesta fundada de ellas (Art. 30 bis, Ley N° 19.300).

3.1.2. Normativa Ecuatoriana

En Ecuador, la **Constitución de la República** en el Título II, Capítulo 2, los derechos de buen vivir y la Sección está referida al Agua y Alimentación, el Capítulo 5, en el Art. 318 señala que “el agua es patrimonio nacional, el Estado es la autoridad única del agua y será responsable del consumo humano garantizando la soberanía alimentaria, riego y caudales ecológicos y actividades productivas”.

No hay regulación expresa, directa ni relevante para la determinación y evaluación de los caudales ecológicos. A partir de la Constitución se estipula que es la autoridad del agua quien regulará los caudales ecológicos, la gestión del agua, su planificación, regulación y control, cooperando y coordinando con la autoridad ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque eco sistémico, según lo determina el artículo 412 de la propia Constitución.

Mediante **Decreto Ejecutivo 1088** del mismo año 2008 se crea la **Secretaría Nacional del Agua** (en adelante SENAGUA), otorgándole las competencias que eran del ex Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) y las correspondientes a la **Ley de Aguas de 1973 y su reglamento de aplicación (codificación 2004-016)**. Atendiendo el mandato constitucional, será necesario que la SENAGUA en coordinación con el Ministerio de Ambiente (en adelante MAE) regule mediante norma expresa el tema de caudales ecológicos.

A la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) se le encarga diseñar la propuesta de una nueva Ley de Aguas (Proyecto de Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, aprobada en segundo debate del 19 de abril del 2010 y actualmente espera entrar a consulta pre-legislativa). El tema de los caudales ecológicos es tratado en varios artículos. Se establece que para toda autorización de uso o aprovechamiento productivo del agua deberá establecerse el caudal ecológico. No obstante, no hay una definición clara, qué se entiende por caudal ecológico y sus implicaciones. El texto sigue el mismo orden de prelación establecido en el artículo 318 de la Constitución considerando a los caudales ecológicos en tercer orden de prelación.

La SENAGUA como autoridad del agua cuenta actualmente con nueve demarcaciones hidrográficas creadas con el Estatuto Organizacional de esta institución (desaparecieron las agencias de agua). Las demarcaciones tienen como función, entre otras, el otorgar las autorizaciones o permisos para el uso y aprovechamiento económico. La nueva visión requiere la conformación de los consejos de cuenca que, por lo pronto, no existen. Toda vez que se conformen estos consejos, las demarcaciones hidrográficas se tendrán que coordinar con estos organismos también. Las demarcaciones, por sus funciones, son las que deberán solicitar y aprobar la solicitud en el tema de caudales ecológicos.

De acuerdo a Tobar Cabrera (2006), los únicos datos con que se cuenta, son los del Consejo Nacional de los Recursos Hídricos, pero son imprecisos y generales. Se ha estimado que el caudal ecológico debería ser no inferior al 10% del caudal medio en ríos de la vertiente del Pacífico ni al 40% en la vertiente amazónica.

En la actualidad se está llevando a cabo una propuesta de “Ley de Aguas” mediante discusión en el Congreso. Apartados que están siendo revisados:

Propuesta de Ley de Aguas (Discusión en el Congreso)

Sección Tercera: Del Caudal Ecológico y los Ecosistemas relacionados

- Artículo 17: Caudal Ecológico
- Artículo 18: Limitaciones y Responsabilidades
- Artículo 53: Prioridades

Sección Segunda: De los usos de agua

- Artículo 56: Determinación del Caudal Ecológico

Glosario: Caudal Ecológico

3.1.3. Normativa Mexicana

Las referencias más importantes en materia de agua y medioambiente en la **Constitución Política de los Estados Mexicanos** se encuentran en el Título Primero, Capítulo I, **artículo 4**. En este artículo se especifica que “*toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley*”. En relación al agua, en este mismo

artículo se dice que *“toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines”*.

También es importante el artículo 27, que indica que *“la nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación... ..establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de... ..preservar y restaurar el equilibrio ecológico;...”*

Por tanto, aunque no existe una referencia directa al caudal ecológico o uso ambiental del agua se puede concluir que sí se recoge el fundamento constitucional del mismo.

El caudal ecológico está contemplado en la **Ley de Aguas Nacionales** (LAN; artículo 3, LIV) como “Uso ambiental” o “Uso para conservación ecológica”, que queda definido como *“el caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema”*. Este concepto fue introducido en la modificación realizada en el año 2004 (DOF 29-04-2004), El concepto se encontraba previamente definido en el Reglamento de dicha Ley, de 1994. La inclusión del concepto en la LAN es un paso importante para su implementación, ya que abre la posibilidad para una regulación apropiada (cuyo origen sea la LAN y no su Reglamento).

En el artículo 15 de la LAN se indica que *“la programación hídrica respetará el uso ambiental o de conservación ecológica, la cuota natural de renovación de las aguas, la sustentabilidad hidrológica de las cuencas hidrológicas y de ecosistemas vitales y contemplará la factibilidad de explotar las aguas del subsuelo en forma temporal o controlada”*. De esta manera se indica explícitamente la importancia del uso ambiental.

En el artículo 29bis 5, III se indica que la “Autoridad del Agua” tendrá la facultad para *“negar la concesión, asignación o permiso de descarga... .. cuando afecte el caudal mínimo ecológico, que forma parte del Uso Ambiental”*, que ha sido definido previamente. Y en el artículo 41 se recoge que el “Ejecutivo Federal podrá declarar o levantar mediante decreto la reserva total o parcial de las aguas nacionales para... ..garantizar los flujos mínimos para la protección ecológica, incluyendo la conservación o restauración de ecosistemas vitales”.

El uso para la conservación ecológica o uso ambiental se encuentra contemplado en el artículo Décimo Quinto Transitorio de la LAN, que lo establece en el quinto lugar en “el orden de prelación para el otorgamiento de concesiones o asignaciones de agua”, por detrás de los usos doméstico, público urbano, pecuario y agrícola.

El caudal ecológico se incluye también dentro de la **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente**. En el Título Tercero, Capítulo I, del Aprovechamiento Sustentable del Agua y los Ecosistemas Acuáticos, en el artículo 8 se indica que *“para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección de suelos y áreas boscosas y selváticas y el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de agua, y la capacidad de recarga de los acuíferos...”*.

Debido a la importancia de la adecuada implementación, control y evaluación, el caudal ecológico requiere de la participación de los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal), ya que los recursos financieros y humanos de las dependencias federales resultan insuficientes para tal efecto. La LAN establece como principio básico de la política hídrica la participación de los estados y municipios en la gestión de los recursos hídricos e, incluso, establece la posibilidad de delegar la ejecución de cierto tipo de actos administrativos por parte de la Federación a los estados, por ejemplo, en materia de control y prevención de la contaminación.

Sin embargo, falta ampliar la visión de los gobiernos estatales y municipales respecto a su rol en el marco de la gestión. En materia de caudal ecológico, la intervención de estos dos niveles de gobierno es clave en cuerpos de agua ubicados en zonas urbanas y para la gestión de acuíferos, así como para la vigilancia y el monitoreo de los cuerpos de agua ubicados dentro de sus límites, por citar algunos ejemplos.

Esta falta de visión se ve reflejada en las legislaciones estatales de agua, que están enfocadas, en su mayoría, a la prestación del servicio público y a las aguas de jurisdicción estatal, lo cual resulta limitativo de los problemas y retos con relación a los recursos hídricos. A fecha de 2007 había estados, como Chihuahua o Baja California, que no contaban con Ley de Aguas; o bien, la mayoría de los estados tenían leyes que versaban únicamente sobre la prestación del servicio público urbano.

Además de la normativa citada, los trabajos experimentales en relación al caudal ecológico realizados han permitido la redacción de un procedimiento para la determinación del caudal hidrológico. Este procedimiento, conocido como **“Norma Mexicana PROY-NMX-AA-159-SCFI-2012, que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas”**, tiene como objetivo establecer el procedimiento y especificaciones técnicas para determinar el régimen de caudal ecológico en corrientes o cuerpos de agua nacionales en una cuenca hidrológica. Esta norma se debe aplicar a

“todos aquellos que realicen estudios para solicitar asignaciones, construir infraestructura, realizar trasvases entre cuencas, similares a Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Así como para todas las corrientes o cuerpos de agua, cuyos acuerdos de disponibilidad del agua publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF), no consideren un caudal para la conservación de ecosistemas acuáticos”.

En el documento se cita que *“para la determinación del régimen de caudal ecológico, cualquier metodología será válida sí:*

- *Permite entender el significado ecológico de cada componente del régimen hidrológico natural y genera propuestas para su conservación o restablecimiento total o parcial, desde el punto de vista funcional.*
- *Las propuestas consideran el intervalo natural de variabilidad hidrológica, tanto en las condiciones ordinarias como el régimen de perturbaciones*
- *Reconoce que un ecosistema acuático modifica sus atributos como respuesta al aumento de los niveles de estrés, y por lo tanto, permiten ajustar las propuestas de caudales ecológicos a los objetivos ambientales o de conservación del río.*

El resultado del caudal ecológico deberá ser congruente con los objetivos de conservación a partir de los cuales fueron identificadas como áreas prioritarias de conservación”.

El procedimiento clasifica los métodos en:

- Métodos hidrológicos.
- Métodos hidrobiológicos o de simulación de hábitat.

■ Métodos holísticos.

Y para cada uno de estos métodos desarrolla diferentes procedimientos.

Procedimientos para métodos hidrológicos:

- Procedimiento para la determinación de la alteración del régimen hidrológico natural en una corriente por la presencia de infraestructura.
- Metodología hidrológica para determinar el régimen de caudal ecológico en corrientes o cuerpos de agua de propiedad nacional a nivel de cuenca hidrológica, con base en el método propuesto por García et al. (1999). (Basado a su vez en el método de Tennant, 1976).
- Metodología hidrológica para determinar el régimen de caudal ecológico en corrientes o cuerpos de agua nacionales a nivel de cuenca hidrológica. Aproximación metodológica propuesta por la alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P.

Procedimientos para métodos hidrobiológicos o de simulación de hábitat:

- Metodología hidrobiológica para determinar el régimen de caudal ecológico en corrientes o cuerpos de agua nacionales a nivel de cuenca hidrológica. (Basado en la generación de curvas de preferencia de diferentes categorías).

Procedimientos para métodos holísticos.

- Metodología Holística para determinar el régimen de caudal ecológico en corrientes o cuerpos de agua nacionales a nivel de cuenca hidrológica con base en King et al. (2000). (Basada en la experiencia de la alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. de una adaptación al contexto Mexicano de la metodología de construcción por bloques. BBM).

3.1.4. Normativa Peruana

Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29.338, Marzo 2009), con 125 Artículos divididos en 12 Títulos. En el **artículo 53** de la Ley, ubicado en el capítulo referido a la licencia de uso de agua, es donde se encuentra la referencia más directa al tema de caudales ecológicos, al referirse a las **condiciones para el otorgamiento y modificación de la licencia de uso de agua**, se dispone que se requiera para ello:

- Que exista la disponibilidad de agua solicitada y que esta sea apropiada en calidad, cantidad y oportunidad para el uso al que se destine.
- Que la fuente de agua a la que se contrae la solicitud tenga un volumen de agua disponible que asegure los caudales ecológicos, los niveles mínimos de reserva o seguridad de almacenamiento y las condiciones de navegabilidad cuando corresponda y según el régimen hidrológico.

La Ley de Recursos Hídricos alude al concepto de “caudales ecológicos” sin definirlo, determinando que sea el Reglamento de dicha Ley (2010) la que lo haga, encargando a la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la participación de las autoridades ambientales sectoriales la determinación de los caudales ecológicos, algo que aún está pendiente.

El **Reglamento de la Ley** de Recursos Hídricos (DS 001-2010-AG) dedica todo el **Capítulo VIII** del Título V (sobre Protección del Agua) a los **Caudales Ecológicos**, el cual está compuesto por tres **artículos (153 a 155)**.

Art. 153: “Se entenderá como caudal ecológico al volumen de agua que se debe mantener en las fuentes naturales de agua para la protección o conservación de los ecosistemas involucrados, la estética del paisaje u otros aspectos de interés científico o cultura”

Aunque por su mayor amplitud, la definición de “caudal ambiental” de la **Conferencia de Brisbane del 2007** parece ser bastante más adecuada (“cantidad, régimen y calidad del caudal que se requiere para sostener los ecosistemas de agua dulce y de estuarios y los medios de subsistencia y bienestar de la población que dependen de esos ecosistemas”), no puede pasarse por alto que la legislación peruana ha tomado ya una definición y mientras la misma no sea modificada, sigue siendo la que los organismos públicos deberán aplicar.

Analizando la definición de **caudal ecológico** establecida en el Reglamento, vemos como está referido al **conjunto de fuentes naturales**, es decir que además de los ríos, se ha de aplicar el concepto a lagos, lagunas y otros cuerpos de agua. No obstante, se aprecia incisos en los artículos 153 y 154 que parecen referirse exclusivamente al agua de los ríos:

- 153.2 En cumplimiento del principio de sostenibilidad, la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente, establecerá los caudales de agua necesarios que deban circular por los diferentes cursos de agua, así como, los volúmenes necesarios.
- 153.5 Los caudales ecológicos se fijarán en los planes de gestión de los recursos hídricos en la cuenca. Para su establecimiento, se realizarán estudios específicos para cada tramo del río.
- 154 Los caudales ecológicos pueden presentar variaciones a lo largo del año, en cuanto a su cantidad, para reproducir las condiciones naturales necesarias para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos y conservación de los cauces de los ríos.

No existen aún normativas o metodologías para determinar el caudal ecológico, únicamente en el **Art. 155** del Reglamento se menciona:

Art.155: “Las metodologías para la determinación del caudal ecológico, serán establecidas por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente, con la participación de las autoridades sectoriales competentes, en función a las particularidades de cada curso o cuerpo de agua y los objetivos específicos a ser alcanzados”

Este artículo deja entrever la dificultad para la implementación de una metodología, ya que el ANA (perteneciente al Ministerio de Agricultura) y el Ministerio del Ambiente (MINAM) difieren en intereses económicos y políticos.

El artículo no señala la forma en que se dará dicha coordinación ni la forma de participación de las autoridades competentes. Ello puede dar pie a distintas formas de organizar esta tarea. Se sugiere la conformación de una Comisión liderada por la ANA y el MINAM en la que se considere la participación de todas las autoridades ambientales sectoriales, que son varias y no están suficientemente identificadas en la actualidad.

Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (aprobado por el Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM). “Ley de Recursos Hídricos, para la aprobación de los Estudios de Impacto Ambiental relacionados con el recurso hídrico se debe contar con la opinión favorable de la Autoridad Nacional del Agua, respecto de la gestión del recurso hídrico”

El mayor avance normativo en la temática de caudales ecológicos lo constituye el encargo a la ANA, para que, en coordinación con el Ministerio del Ambiente, puedan llegar a la determinación de los caudales ecológicos. Hay, sin embargo, una cantidad de complicaciones que pueden atentar contra los

esfuerzos por implementarlos en el país y uno de ellos, tiene que ver con los **derechos de aguas** reconocidos por el Estado peruano.

La Ley de Recursos Hídricos exige que para el aprovechamiento del agua se requiera de cualquiera de estos **tres tipos de derechos**:

- **licencia de uso de agua**: es el derecho más importante, ya que faculta a usar el agua en forma permanente. Para el otorgamiento de la licencia, una de las condiciones que la Ley de Recursos Hídricos exige en su Art. 53 del inciso 2 es *“que la fuente de agua a la que se contrae la solicitud tenga un volumen de agua disponible que asegure los caudales ecológicos, los niveles mínimos de reservas o seguridad de almacenamiento y las condiciones de navegabilidad, cuando corresponda y según el régimen hidrológico”*.
- **permiso de uso o de agua**
- **autorización de uso de agua**, de carácter temporal, al precisarse del recurso hídrico por un periodo determinado como es el caso de una obra. Para fines de balance únicamente se consideran los derechos de licencia y permiso.

La gran mayoría de licencias, permisos y autorizaciones de uso de agua fueron otorgados antes de la vigencia de la Ley de Recursos Hídricos y de su Reglamento, por lo que no les resultarían aplicables dichas normas. Los titulares de esas licencias, permisos y autorizaciones tienen derechos firmes, obtenidos en forma totalmente legal.

El **Reglamento de Procedimientos para el Otorgamiento de Derechos de Uso de Agua**, aprobado por Decreto Supremo N° 579-2010-ANA, se ocupa de los trámites para el otorgamiento de licencia de uso de agua superficial, para la obtención de licencia de uso de agua subterránea y para la obtención de otros derechos de uso de agua.

En este Reglamento de Otorgamiento **no hay ningún tipo de alusión a los caudales ecológicos**.

Pero una vez que se apruebe la norma que determine los caudales ecológicos en los cursos de agua del país la situación cambiará, no será posible asignar u otorgar nuevos derechos sin considerar los caudales ecológicos, cualquiera sea la fórmula o método adoptado por la ANA (siempre en coordinación con el Ministerio del Ambiente y las autoridades sectoriales competentes); no será posible obviarlos.

Otra cuestión que queda por analizar es ver si, una vez aprobada la norma, esos criterios serán exigibles a quienes han obtenido ya su derecho de uso de agua, especialmente a quienes cuentan con una licencia de uso de agua. El tema tiene relación con el principio de irretroactividad de las normas legales, consagrado constitucionalmente. En efecto, el **artículo 103 de la Constitución Política** vigente: *“la ley... no tiene fuerza ni efecto retroactivo...”*

Por otro lado, la **Ley de Recursos Hídricos, en su artículo III**, ha consagrado el principio de seguridad jurídica entendido como que *“El Estado consagra un régimen de derechos para el uso del agua. Promueve y vela por el respeto de las condiciones que otorgan seguridad jurídica a la inversión relacionada con su uso, sea pública o privada o en coparticipación”*.

La lectura de estas normas, tanto de la Constitución como de la Ley de Recursos Hídricos, nos llevaría a afirmar que **no cabría aplicar las normas que se aprueben sobre los caudales ecológicos a quienes cuenten con un derecho de uso de aguas. Hacerlo implicaría una aplicación retroactiva de la norma legal**.

Es posible que la futura determinación de los caudales ecológicos implique la adecuación de los derechos de uso de agua a las nuevas normas. Aunque podría haber cuestionamientos a esos intentos de adopción de nuevas normas a los derechos de agua, su aplicación resulta necesaria. Resultaría inútil

la determinación de caudales ecológicos en el país y al mismo tiempo atentatorio contra los principios de valoración del agua y de gestión integrada del agua, de sostenibilidad, de eficiencia y de gestión integrada participativa por cuenca hidrográfica, si se quisiera oponer los derechos otorgados por el Estado antes de la vigencia de esos estándares o caudales ecológicos, invocando el principio de seguridad jurídica.

3.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE METODOLOGÍAS PARA ESTUDIOS DE CAUDALES ECOLÓGICOS

Tal y como se justificó en la metodología plasmada en la oferta técnica, serán aplicados los métodos hidrológicos y ciertos aspectos de los métodos holísticos. Las metodologías tratadas en este informe con mayor grado de detalle se centran principalmente en estos dos métodos.

3.2.1. Métodos hidrológicos

Metodologías basadas en registros históricos de caudal (mensuales o diarios); a partir de los cuales se obtiene un caudal mínimo. Estos métodos asumen que las comunidades biológicas ribereñas se han adaptado a las variaciones estacionales propias de un régimen hídrico de una región.

- **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, que incorporan legislaciones (algunas vigentes y otras no) de países como:
 - Ley Francesa de Aguas: Q_{min} es el 10% del caudal medio interanual, calculado para un periodo mínimo de 5 años (Diez, 2000).
 - 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).
 - España, la dirección General de Obras Hidráulicas fijó como caudal mínimo permanente el 10% del caudal medio interanual.
 - Colombia: criterio similar a España en el Proyecto de Ley 365 de 2005 conocida como Ley de Aguas.
 - Alemania (30%-60%).
 - Irlanda (1%-10%), pero que posteriormente se revelaron válidas tan sólo para evaluaciones básicas de ríos con escaso valor ecológico.
- Un enfoque más comprensivo es el de Tharme (2003), que conforma un Régimen de Caudales Ambientales con caudales medios mensuales calculados como el 30% de los correspondientes flujos naturales. Tharme (2003) compendia los métodos que calculan el caudal ecológico como un porcentaje variable (5%-20%) del percentil 90 de la curva de duración (Q90): el denominado *Nothern Great*.
- **Método de Tennant (1976) o Método de Montana.** De los más usados mundialmente. Utilizado en corrientes que no tienen estructuras de regulación como represas, diques u otras modificaciones en el cauce. 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. 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.

- Establecimiento de la relación entre porcentajes del caudal medio anual y la disponibilidad de hábitat, considerando el ancho, la profundidad y la velocidad como variables relacionadas con el hábitat para peces. Este método propone dejar porcentajes fijos (10, 30 o 60%) del caudal medio anual para el mantenimiento de hábitats a corto o largo plazo, según el interés.
- **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 (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 et al., 1997), y con ellas se hacen recomendaciones del rango en el cual pueden variar sin perjudicar al ecosistema fluvial.
- **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 et al., 1992), (EFM, 2003).
- Aproximación más biológica, pero sólo representa las condiciones favorables para los ríos y especies donde fue desarrollada. La aplicación a otras corrientes puede resultar errónea.
- **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) 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 en media, durante 10 años, será igual o menor que el caudal medio en algún evento de 7 días de sequía consecutivos. Se precisan caudales medios mínimos diarios.
El método supone que a valores menores que éste puede generarse una perturbación ecológica; de este modo, es apropiado para ser aplicado en varios países de Sudamérica. 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).

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 eco hidráulicos 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

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 realiza 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.

3.2.4. Métodos holísticos

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, 1998; King et al 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 et al, 2003).

Los métodos holísticos quedan resumidos en cuatro niveles:

- **Nivel I: Análisis Hidrológico: índices ecológicamente relevantes (entre 1-5 meses)**
- **Nivel II: Panel de expertos (entre 6-12 meses):** Aplicado en el río Savannah en Georgia y Carolina del Sur y en el río Pastaza en Ecuador): 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.
- La elaboración del Panel de Expertos se basa en un proceso científico de cinco pasos. Los pasos 3-5 son repetidos de manera indefinida para permitir un refinamiento iterativo en las recomendaciones de caudales a lo largo del tiempo:
 - ✓ **Paso 1:** Convocar una reunión de orientación y analizar las necesidades y limitaciones del proyecto en particular.
 - ✓ **Paso 2:** Preparar una revisión bibliográfica y un reporte resumen sobre el conocimiento existente de los caudales como variable dependiente de la biota y de los procesos ecológicos.
 - ✓ **Paso 3:** realizar un taller para el desarrollo de los objetivos ecológicos, recomendaciones iniciales de caudales y las principales lagunas de información.
 - ✓ **Paso 4:** Implementar los caudales recomendados a modo prueba para comprobar las hipótesis y reducir incertidumbres.
 - ✓ **Paso 5:** Controlar la respuesta del sistema y realizar nuevas investigaciones como garantía.

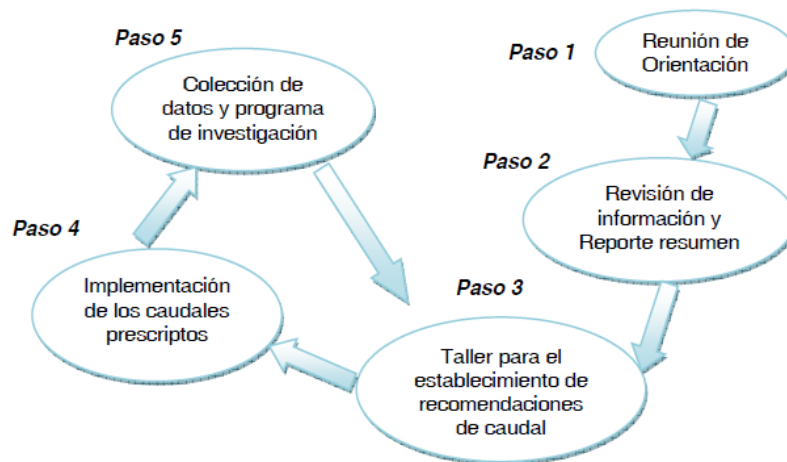


Ilustración 2. Esquema de pasos correspondiente al nivel II de Panel de Expertos.

- Para la elaboración del panel de expertos, la relación de expertos ha de ser interdisciplinaria y abarcar las siguientes temáticas:
 - ✓ Caudal de los ríos: la superficie de las aguas subterráneas y la hidrología, hidráulica, los recursos hídricos superficiales de modelado, el cambio climático.

- ✓ Canal del río: geomorfología, sedimentología, uso de la tierra.
 - ✓ Biota: vegetación, peces, invertebrados, ranas, reptiles, mamíferos dependientes del agua, las aves
 - ✓ Calidad del agua: química, microbiología
 - ✓ Los usuarios de subsistencia: la sociología, la antropología, el abastecimiento de agua, la salud pública, sanidad animal, la pesca
 - ✓ Economía: economía ecológica, economía de recursos, macroeconomía
 - ✓ Proceso: coordinador, tutor internacional
- **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.

Entre los distintos niveles que comprende el método holístico, los que mayor aplicabilidad podría presentar, dadas las limitaciones existentes en el proyecto, sería el nivel I y II. En concreto, los requerimientos de recursos para la elaboración del panel de expertos (nivel II) son entre bajo y moderado, la duración de la evaluación podría oscilar entre 1 y 2 meses, permitiendo además un grado de confiabilidad medio.

A continuación se resumen brevemente las dos principales metodologías holísticas:

- **BBM (*Building Block Methodology*) (King, 2008):** la metodología se basa en 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, tiempo, y la frecuencia. Estos caudales combinados constituyen el régimen de caudales ambientales. Un conjunto de especialistas utiliza el caudal base de los datos hidrológicos y de las inundaciones, varios índices hidrológicos, la sección transversal de datos hidráulico, 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 et al., 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 ecológicamente relevantes. Con estos indicadores son caracterizados biofísicamente cauces escogidos dentro de una corriente como *benchmark* o de referencia. En estas corrientes 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 Ilustración 3. se muestra una comparación resumida entre los diferentes grupos de métodos.

TIPO	COMPONENTES CONSIDERADOS	NECESIDAD DE DATOS	NIVEL DE EXPERIENCIA	COMPLEJIDAD	INTENSIDAD RECURSOS	RESOLUCION RESULTADOS	FLEXIBILIDAD	COSTE
Hidrológico	Todo el ecosistema- no específico	B-M (principalmente de gabinete) Registros históricos de caudales vírgenes 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 canal, transporte sedimentos, calidad del agua, vegetación de ribera, fauna silvestre	M-A (gabinete y campo) Registros históricos de caudales Numerosas secciones transversales con múltiples variables hidráulicas Datos de idoneidad del hábitat para las 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 de caudales Numerosas secciones transversales con múltiples 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. Especialistas 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. Fuente: King et al, 2000

Ilustración 3. Cuadro comparativo de líneas metodológicas en estudios de los caudales ambientales.

3.3. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LOS DISTINTOS MÉTODOS

3.3.1. Proyecto central hidroeléctrica Los Molinos de Agua. Región de Biobío. Chile.

Proyecto en el río Cholguán. Extracción 11,85Km. Aplicación de diversas metodologías y determinación de un caudal mínimo mediante comparación de las mismas:

Hidrológicas:

- Legislación Asturiana, Francesa, Norte de España (Q347): El Q347 se corresponde con el caudal superado por 347 días al año y se calcula a partir de la matriz de caudales medios.
- DGA: 10% caudal medio anual, 50% Q95%

Hidráulicas: Perímetro Mojado mediante HEC-RAS. 5 tramos con 7cross section / tramo.

Simulación del Hábitat Físico: PHABSIM. Curvas de preferencia basadas en EULA (2000) y modificadas por los consultores. Especies: D. nahuelbutaensis y B. maldonadoi.

Determinación de caudales ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa (DGA, 2008)

Se propone una metodología para evaluar el caudal mínimo ecológico desde una perspectiva eco sistémica, incorporando un enfoque multiescalado y jerárquico.

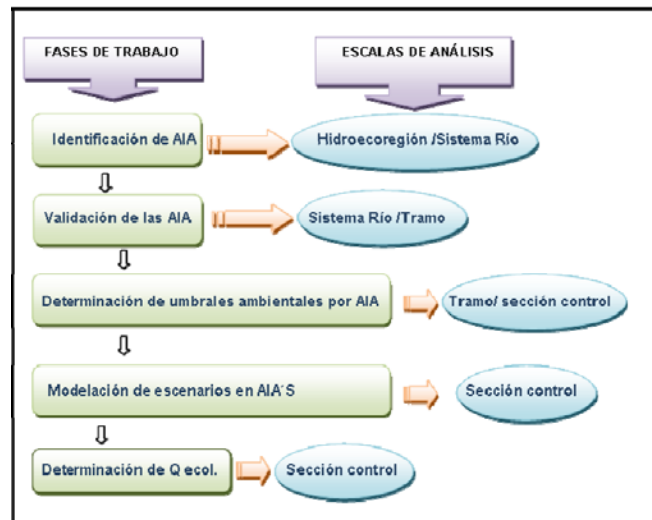


Ilustración 4. Enfoque conceptual de evaluación del caudal mínimo ecológico, desde una perspectiva ecosistémica.

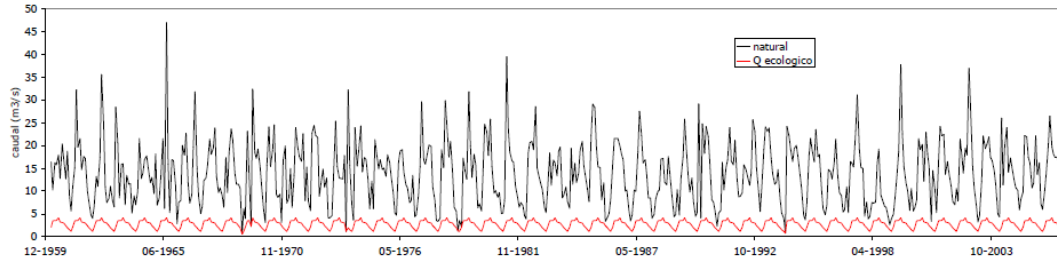
A continuación se describe la metodología para determinar el caudal mínimo ecológico mediante el enfoque presentado. Este procedimiento tiene las siguientes etapas:

- i. identificación de Áreas de Importancia Ambiental (AIA), que implica la obtención y revisión de información de carácter secundaria.
- ii. validación de las AIA, que implica obtención de información primaria específica y actualizada.
- iii. determinación de umbrales ambientales por AIA.
- iv. modelación de escenarios de caudal mínimo ecológico para mantención AIA's.
- v. determinación de la regla de operación del caudal mínimo ecológico.
- vi. monitoreo de AIA, que implica el diseño de un plan de seguimiento para verificar el comportamiento de las AIA frente a modificaciones en el caudal.

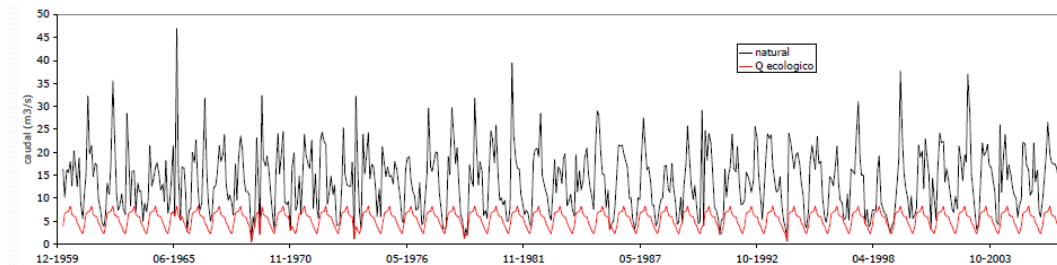
3.3.2. Conservación Ambiental de la Cuenca del río Cochamó Reservando Caudal con Fines de Interés Nacional. Chile.

Caudales de rango habitual entre 7 y 15 m³/seg.

- El caudal ecológico del 20% el QM sólo se da un 1% del tiempo en condiciones naturales en Cochamó. Cambia significativamente el río.



- Si el caudal ecológico fuera del 40% el QM, la situación no cambia mucho. Sólo se da un 4% del tiempo en condiciones naturales en Cochamó.



PROPUESTA: Realizar una conservación ambiental importante en el río Cochamó considerando todos los elementos mencionados, de manera que el río se conserve en sus condiciones actuales al menos en un 80% del tiempo.

3.3.3. Proyecto piloto para la estimación de caudales ambientales en la cuenca del río Pastaza (Ecuador), basado en un panel de expertos.

Esta investigación está orientada a determinar caudales ambientales en ríos de la cuenca del río Pastaza, una de las más grandes del Ecuador y con una fuerte presión hídrica, mediante la metodología conocida como panel de expertos. Esta es poco exigente en cuanto a información, tiempo y recursos económicos, y parte de la experiencia de un grupo multidisciplinario y de herramientas de cálculo útiles.

La metodología consistió en recopilar información existente de la cuenca, para posteriormente ser presentada a un panel de expertos (ecólogo, ictiólogo, sociólogo, hidrólogo-hidráulico, turístico, y gestores del agua); el cual en base a la presencia de obras hidráulicas de envergadura, estado ambiental de los ríos de la cuenca, e información disponible determinó los sitios de estudio en los ríos de Cutuchi, Ambato, Cebadas, Chambo, Pastaza y Palora, para obtener información de campo sobre macro invertebrados, peces, afloras, secciones transversales, entorno socioeconómico y usos recreativos. Posteriormente, cada experto debía determinar el requerimiento de caudal, o en su defecto calado o velocidad medios, entradas solicitadas para estimar caudales con el software FLOWMASTER.

Después de un consenso entre los requerimientos de caudal de cada componente del panel, se propondría el caudal ambiental. Sin embargo no fue posible estimar valores de caudal ambiental por la

inexistencia de estudios sobre fenología de grupos acuáticos identificados. Los valores de caudales ambientales vienen de los resultados del programa Indicators of Hydrologic Alteration -IHA-, y una evaluación de las categorías de estado y manejo ambiental de cada sitio.

Los resultados muestran que:

- En los sitios de estudio de los ríos Ambato y Pastaza, principalmente, las modificaciones hidrológicas severas y la reducción de la riqueza de grupos de macro invertebrados presumiblemente atribuida a la reducción de caudal, categorizan su estado ambiental como mayormente modificado "D" y crítico "F", respectivamente, y priorizan la estimación de caudales ambientales.
- Los sitios de los ríos Cebadas y Palora presentan estados ambientales: escasamente modificado "B" y prístino "A", respectivamente, constituyendo ríos de referencia.
- El sitio de estudio del río Chambo mantiene un estado ambiental moderadamente modificado "C", y del río Cutuchi seriamente modificado "E" por una mala calidad de agua.
- La categoría de manejo ambiental "C" se propone para los sitios de estudio de los ríos Pastaza, Ambato y Cutuchi, "B" para el sitio del río Chambo y la misma para los sitios de referencia.

3.3.4. Sistema Papallacta (Ecuador). Estimación de caudales ambientales en ríos ecuatorianos de altura.

Para definir caudales ecológicos se necesita conocer los caudales de los ríos y la ecología de las comunidades de seres vivos.

Para la **parte hidrológica**, es necesario tener crónicas diarias de los caudales en los ríos. Eso se puede hacer de dos maneras: con uso de regletas y lecturas diarias o con grabadores. Una primera aproximación se puede hacer con la interpretación de los datos que ya existen en la EMAAP-Q o el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología y de Hidrología) y un año de observación en sitios bien definidos.

Respecto a la **ecología**, no se puede hacer la interpretación únicamente con la ictiofauna. Se encuentran pocos peces nativos en las partes altas de la zona andina. En Ecuador, únicamente el género *Astroblepus* (peñadilla) llega a los 2 800 - 3 100 m de altura (*R. Barriga*, EPN, com. pers.). La trucha llega a alturas mayores, pero al ser un pez introducido, su distribución es más difícil de interpretación. No puede servir de bioindicador para proponer caudales ecológicos.

La propuesta de caudales ecológicos para los ríos de altura de Ecuador tiene que respaldarse en las **comunidades de macroinvertebrados bentónicos** que son considerados como buenos indicadores de la calidad de ambientes acuáticos estancados o corrientes (Fossati et al, 2005). Así se hizo recientemente para los ríos Pita y San Pedro (Rosero López, 2006).

Proponen dos rangos de tiempo para estudiar caudales ecológicos:

- Durante los años 2007-2008, se propone una reflexión metodológica, el estudio de un ciclo anual completo y el estudio de los datos existentes. Esta fase tiene en cuenta únicamente una caracterización general de los sitios incluyendo la vegetación ribereña, la calidad del agua, las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y las macrófitas. Estas actividades permiten una primera aproximación basándose en índices desarrollados en otras zonas y tomando en cuenta principalmente el río mismo.
- Durante los años 2009-2012, se proponen estudios más completos, integrando la interpretación de varios tipos de perturbaciones y crónicas hidrológicas más largas para llegar a un método específico para los ríos de altura ecuatorianos y sus comunidades. En esta parte podrían entrar

otros componentes de los ecosistemas, como la vegetación, los invertebrados y los vertebrados terrestres (anfibios, reptiles, aves, mamíferos).

3.3.5. Propuesta de caudal ecológico en la cuenca Copatila-Zimatán-Huatulco, México (2009).

En 2004, la Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P (FGRA) y el Fondo Mundial para la Naturaleza, (WWF por sus siglas en inglés), establecieron una Alianza con el objetivo de desarrollar nuevos modelos de manejo del agua en el país. Para ello se seleccionaron tres cuencas en las ecorregiones de trabajo de WWF:

- El río Conchos en el programa Desierto Chihuahuense.
- Los ríos Copalita-Zimatán-Huatulco en la Sierra Costera de Oaxaca, dentro del Programa Bosques Mexicanos.
- El río San Pedro-Mezquitil, en el programa Golfo de California.

El objetivo final de la Alianza era instrumentar modelos de gestión racional e integral del agua, y se planteó que sólo se alcanzaría en la medida que se garantizara el funcionamiento de los ecosistemas y la conservación del régimen hidrológico en sus diversos componentes. En términos de manejo del agua, estos objetivos se traducen en establecer límites de extracción que respeten la renovación anual del recurso, para lo cual se adoptó el concepto de caudal ecológico como herramienta de gestión (WWF-MEX, 2006).

Para determinar las estrategias que permitan implementar este caudal ecológico, se realizó un análisis de las causas directas e indirectas que afectan el estado de conservación de las cuencas en el país, considerando como objetos de conservación los bosques, los ecosistemas dulceacuícolas y los ecosistemas costeros (WWF-MEX 2006). Del modelo conceptual analizado se identificaron cinco grandes estrategias o líneas de trabajo que abordan las principales causas de deterioro del agua y las cuencas del país:

- La falta de criterios ecosistémicos en el manejo del agua y del territorio.
- El incipiente desarrollo de la gobernanza del agua en la cuenca.
- La nula o limitada valoración de los servicios ambientales del bosque.
- La debilidad de los municipios para proporcionar servicios sustentables de agua.
- La falta de conciencia de la sociedad sobre su pertenencia a una cuenca y la importancia de los ecosistemas como proveedores de servicios.

La metodología empleada para la determinación del caudal ecológico fue la BBM (Building Block Methodology). Esta metodología apunta en una dirección totalmente nueva ya que se orienta a la salud de todos los componentes del sistema ribereño, considerando su estructura y funcionalidad. Consta de tres fases:

1. Compilación, organización y evaluación de la información disponible, así como para generar aquella imprescindible para la propuesta de caudales.
2. Reunión de discusión de los especialistas para que, mediante juicio experto, propongan los caudales ecológicos desde la perspectiva de sus áreas de conocimiento.
3. Socializar la propuesta, involucrar a los tomadores de decisiones y ampliar la evaluación bajo otros enfoques, como el de gestión del agua. De esta tercera fase debe salir una propuesta consensuada y las líneas de acción para su implementación.

3.3.6. Estimación de los caudales ecológicos en el Río Valles (México) con el método Tennant

Se fijaron dos puntos (Micos y Santa Rosa) sobre el cauce principal del Río Valles, San Luis Potosí. A la información hidrométrica registrada en esos puntos se le aplicó el método Tennant para estimar los caudales ecológicos. Los resultados mostraron que en los últimos treinta años, dichos flujos han disminuido entre 10% y 11%. Se concluyó que, en términos de flujo de agua, las condiciones más adversas para la vida acuática se presentan de marzo a mayo en el tramo Micos–Santa Rosa (Santacruz de León *et al.*, 2009)

3.3.7. Generalidades y casos en Perú.

En Perú los métodos más utilizados para hallar el Caudal Ecológico es el Hidrológico (porcentajes) por la información disponible, seguidos de los Eco hidráulicos (RHABSIM) pero con datos poco fiables y de periodos cortos.

RHABSIM (método eco hidráulico) fue propuesto para pisos altitudinales de los Estados Unidos (Cuenca del Colorado) latitud Norte, con caudales elevados y con especies piscícolas muy diferentes a las existentes en Perú (como salmónidos, por ejemplo) y a los pisos altitudinales de los Andes Peruanos (latitud Sur)

La metodología planteada para hallar el “Caudal ecológico” es la siguiente:

- Elección de una Cuenca Hidrográfica.
- Criterios para la Selección de Tramos.
- Estudio de la hidrología de los tramos.
- Condiciones Bióticas de los Tramos de río.
- Valoración Ecológica de los Tramos de río.

Río Molloco, Arequipa.

Para la cuenca del río Molloco Provincia Castilla y Caylloma Región Arequipa, se ha utilizado las series históricas de los caudales mensuales del río Molloco para hallar el caudal ecológico de la empresa Lahmeyer Agua y Energía S.A. utilizó métodos hidrológicos aplicado del 10% y el de Rafael Heras (porcentajes).

Río Santa - Central Hidroeléctrica del Cañón del Pato.

La Central Hidroeléctrica Cañón del Pato se localiza en la parte media de la cuenca del río Santa, en el sector conocido como Cañón del Pato, distrito de Huallanca, provincia de Huaylas, departamento de Ancash.

WALSH realizó el estudio de estimación del caudal ecológico utilizando el software RHABSIM, “Riverine Habitat Simulation Software”. El método Instream Flow Incremental Methodology (IFIM) es definido como un método hidrobiológico que, considera diferentes aspectos del hábitat fluvial tales como la hidrología, hidráulica e hidrobiología.

Centrales Hidroeléctricas Yanacoto y Platanal en Lima. Central Hidroeléctrica Chimay y Curibamba en Junín.

CESEL S.A. realizó el estudio de estimación del caudal ecológico utilizando el software RHABSIM, “Riverine Habitat Simulation Software”.

Cabe mencionar que estos caudales ecológicos se basaron en estimaciones hidrológicas, hidráulicas y bióticas sin un análisis fundamentado ni validado.

3.4. PROPUESTA METODOLÓGICA

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 caudal ambiental. Ahora bien, no hay una respuesta simple a cuál es el método más apropiado para un caso específico y el proceso para desarrollar un conjunto de métodos en un país donde hasta la fecha no hay ningún método. Así como no existe una elección simple de qué método es el mejor o más apropiado. (Dyson et al. 2003).

La aplicación de los caudales ecológicos en Perú, 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 en general para todas las fuentes de agua, como lagos y lagunas, pero también para las aguas subterráneas, pues ellas hacen parte de la cuenca. Ello sin embargo, se enfrenta a la urgente necesidad de contar con la información suficiente y confiable para avanzar en su definición.

La determinación de los caudales ecológicos es un tema directamente vinculado a la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), por lo que no es un tema estrictamente técnico. No obstante, se debe reconocer también que en la tarea de determinar caudales ecológicos o ambientales intervienen una serie de conceptos técnicos, relacionados a 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.

Como se ha probado en otras latitudes, su definición y aplicación supone la participación de los distintos actores vinculados al uso y gestión del agua. El establecimiento de los caudales ecológicos es un asunto complejo que involucra los usos actuales y futuros del agua.

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 los planes de implementación no están cuidadosamente alineados con las capacidades existentes (fondos, tecnología, recursos humanos) y el contexto socio-económico de un país. (Bustamante, M.L. 2011).

Adicionalmente, en el caso peruano destacan algunos hechos que deben **tomarse en cuenta para la determinación de los caudales ecológicos**:

- **Variaciones grandes de caudales** debido al periodo de estiaje, llegando incluso a haber periodos sin agua. Puede ser importante determinar el "flujo de base" como un componente básico del hidrograma (esto es, la relación caudal - tiempo). Adicionalmente, quizá sea necesario fijar distintos valores para los caudales ambientales atendiendo a distintos tramos de los ríos.
- A lo anterior cabe añadir la **ausencia de información** consistente que permita aplicar métodos o fórmulas para la determinación de los caudales ecológicos (en el supuesto que esta fuera una tarea centralmente técnica). Pero para llegar a una determinación realmente útil, se requerirá la participación de los distintos actores relevantes, lo que complica aún más la tarea, debido a que dichos datos y cifras (en caso de tenerse) pueden ser cuestionadas por cualquiera de las partes intervinientes en el proceso.
- Casi la totalidad de los ríos, se encuentran **intervenidos por actividades antrópicas** que degradan los ecosistemas fluviales desde hace siglos. Se sugiere realizar 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 para su aprovechamiento sostenible. Por tanto, es necesario contar con una clasificación de los distintos

ríos en el país, a efectos de determinar las condiciones en que se encuentran. Esa clasificación puede permitir luego determinar algunas prioridades de actuación, estableciendo experiencias piloto que pudieran irse ampliando a otras cuencas

- Gran **cantidad de derechos de aprovechamiento de agua** que han sido otorgados en las últimas décadas, sin tomar en cuenta consideraciones ambientales.

La valoración ecológica de los sistemas hídricos de Perú es de una significativa importancia. Se deberán tomar en cuenta las necesidades de agua para el sostenimiento de los ecosistemas y de los valores paisajísticos y turísticos asociados. En los trabajos realizados, se ha considerado el estudio y la cuantificación de la demanda ambiental hídrica relacionada con la estimación de caudales ecológicos.

La **metodología que se propone** para la determinación de los caudales ambientales en la Cuenca Chancay-Huaral es la que comprendería los dos primeros niveles de los métodos holísticos (por tiempo y dinero):

- Nivel I: Estudios hidrológicos mediante la metodología Range Variability approach cuyo primer objetivo, como ya se ha comentado previamente es la preservación de los ecosistemas.
- Nivel II: Panel de Expertos.

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

- Series hidrológicas en régimen natural y/o modificado. Datos disponibles de todas las estaciones de aforo de las tres cuencas (imprescindible para la aplicación de cualquier método hidrológico).
- Biota: vegetación, peces, invertebrados, ranas, 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.
- Calidad del agua: química, microbiología.
- Capas de zonas protegidas, regiones hidroclimáticas, ecotipos, estaciones de aforo.
- Áreas de Importancia Ambiental: biológico (trenzados, con vegetación acuática, con desarrollo de playas...), pesquero (áreas con concesión pesca deportiva), antrópico (navegación), turismo y paisaje (camping, cascadas, perímetro mojado), dilución (residuos industriales líquidos).

En periodos extremos de sequía, con la finalidad de alargar al máximo tiempo posible los recursos disponibles, puede ser necesario incorporar restricciones a los usos menos prioritarios, e incluso generalizar las restricciones en fases avanzadas, con el fin de minimizar el deterioro de las masas de agua.

Las restricciones de suministro a los diferentes usos y de cobertura de los requerimientos hídricos ambientales y los parámetros para configurar diferencias en esta variable son los siguientes:

- Prioridades a la hora de aplicar restricciones de suministro a los diferentes usos y a la atención de requerimientos ambientales.
- Fase de sequía en la que se aplican esas restricciones.
- Cuantía de dichas restricciones.

4. ZONAS DE INTERÉS ECOLÓGICO Y MEDIOAMBIENTAL EN LA CUENCA

4.1. ÁREAS PROTEGIDAS:

La única área protegida de la cuenca son los **Humedales de Santa Rosa**, aunque estos se encuentran muy amenazados por las actividades humanas y el proyecto de construcción del Megapuerto de Chancay denominado “Chancayports”.

El humedal de Santa Rosa de Chancay es un humedal de pequeño tamaño con apenas 40 ha, las cuales se encuentran prácticamente rodeadas de parcelas de cultivo e industrias, así como infraestructuras de transporte.

Las especies de flora son muy numerosas en este humedal e incluyen muchas especies entre las que hay jacintos de agua, lentejas de agua, totora, junco, y la grama salada entre muchas otras. En cuanto a la fauna, hay 38 especies de aves registradas al menos, algunas de ellas son permanentes, pero el humedal sirve como área de paso importante para especies migratorias. Algunas de estas especies son el zambullidor pico grueso, zambullidor grande, pato rana, pato alabando, pato colorado, garza azul, garza marina, gaviota peruana, tortupilín, golondrina azul, tórtola de ala blanca y muchas otras.

Los paisajes y zonas ecosistémicas son la playa, el litoral marino, la zona de transición y esteros y sistema acuícola principalmente.

Este humedal favorece el intercambio de energía entre ecosistemas, la limpieza y purificación de las aguas y las relaciones entre otros ecosistemas. Sin embargo se encuentra amenazado por muchas actividades como la presencia de residuos sólidos mal manejados que llegan hasta el humedal, el turismo descontrolado y presencia de personas que dañan los ecosistemas, la contaminación de aguas superficiales sin tratar, presencia de aguas negras y residuos en el agua y la amenaza de la construcción del Megapuerto de Chancay.

Además no hay guías de turismo ni censos completos de flora y fauna con lo que el área, pese a su importancia, no está bien estudiada.

4.2. ÁREAS NO PROTEGIDAS

En toda la cuenca existen diversas zonas que no están protegidas, ni siquiera reguladas, pero que tienen un valor ambiental importante y que deberían ser protegidas u ordenadas de alguna manera. Entre estas, destacan las siguientes (Güemes, 2009):

4.2.1. Lomas Costeras de Pasamayo

Son zonas de dunas que estacionalmente florecen con especies de plantas temporales que dotan de gran atractivo y riqueza a estas áreas. No están estudiadas y se encuentran amenazadas por el tráfico rodado, las infraestructuras y proyectos de forestación con especies exóticas.

4.2.2. Pastos de alta montaña

Se trata de las zonas productoras y captadoras de agua, indispensables para la recarga de acuíferos y para contar con flujos más constantes. No están reguladas ni protegidas y están amenazadas por actividades como el sobrepastoreo, las quemadas, la erosión, la construcción de embalses y otras.

Cabe destacar la importancia de los bofedales, zonas húmedas habitadas por vegetales hidrofíticos que se forman en las mesetas andinas por encima de los 3800 m de altitud, en donde las planicies

almacenan aguas provenientes de precipitaciones pluviales, deshielo de glaciares y principalmente afloramientos superficiales de aguas subterráneas.

Algunas de las especies de bofedal y del tipo de césped de puna se repite en el herbazal de tundra, pero con menor desarrollo, así por ejemplo, es dominante la especie *Oreobolus obtusangulatus*, *Distichia muscoides*, *Alchemilla diplophylla*, *Calamagrostis sp*, *Lisipomiaa montioides* y *Ourisia muscosa*.

4.2.3. Nevados y lagunas

Algunas de estas zonas de alta montaña junto con los páramos o pastos de alta montaña podrían estar protegidos reconociendo su importante aporte a la Cuenca Hidrográfica como zonas de producción de recursos hídricos que además están amenazadas por el cambio climático.

4.2.4. Playas y costas

Están en muy mal estado, con restos de embarcaciones, vertederos, áreas contaminadas por pescadores, residuos de granjas, con escasez de planificación y limpieza.

4.2.5. Riberas y nacientes

Es importante proteger las riberas, sobre todo los bosques naturales que aún quedan en pie, y reforestar las zonas que se encuentran degradadas para prevenir riesgos naturales, dar consistencia a estos ecosistemas y permitir la continuidad y los corredores biológicos naturales. Así mismo, las zonas de puquiales o nacientes que tradicionalmente tuvieron vegetación que se ha degradado, deben ser recuperadas.

4.3. ESPECIES ACUÁTICAS

Con respecto a las **especies piscícolas** a considerar en la Cuenca Chancay-Huaral hay truchas y otros peces, aunque debido a la baja calidad de las aguas, cada vez se observan menos, al igual que cada vez hay menos camarones de río y otras especies que anteriormente existían. El principal problema actual asociado a la fauna es la carencia de estudios y conocimientos concretos al respecto y la inexistencia de guías fiables (Güemes, 2009).

La única información de partida es la "**lista Anotada de los Peces de Aguas Continentales del Perú**" del Ministerio del Ambiente (Ortega *et. al*, 2011), donde se listan todas las especies encontradas en Perú pero únicamente las clasifica en cuencas del Pacífico, Andes, Cuenca del Lago Titicaca y la Cuenca Amazónica, sin llegar a hacer un desglose de todas las especies encontradas en cada una de las unidades hidrológicas.

Por otro lado, cabe resaltar la importancia del **camarón nativo** (*Cryphiops caementarius*) (Molina, 1762), cuyas poblaciones se han visto mermadas en la cuenca durante los últimos años. Es un artrópodo que vive en aguas dulces; ya sean éstas: ríos, riachuelos, lagunas y crenótopos occidentales de los Andes Peruanos. Su hábitat principal se encuentra en los reótopos de agua dulce, donde durante el día se halla en las partes profundas entre las piedras. Altitudinalmente se encuentra hasta los 2.000 msnm, la cual supone una barrera ecológica que no puede sobrepasar.

Este crustáceo en su etapa larvaria vive tanto en el estuario como en el mar, continuando su vida juvenil y adulta en los ríos; normalmente se refugia entre piedras, huecos y hierbas durante el día migrando por las noches.



Fuente: <http://maxescultura.blogspot.com.es/2008/02/fichas-tnicas-de-especies-en-cultivo.html>

Ilustración 5. Camarón nativo

Se desconoce con exactitud las especies piscícolas presentes en la cuenca Chancay-Huaral y por tanto, no se puede concretar las especies objeto de estudio.

5. GRADO DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA DE LA CUENCA Y AFECCIONES

A la hora de hablar del grado de intervención antrópica en la Cuenca Chancay-Huaral, se distinguen claramente tres tramos (Anexo 1):

5.1. TRAMO ALTO: RÍO CHANCAY-HUARAL Y AFLUENTES HASTA LA CONFLUENCIA CON EL RÍO CARAC.

Los aspectos de regulación más relevantes a ser considerados por su posible afección a la hidromorfología del cauce son:

5.1.1. Sistema de Lagunas Reguladas

Presentes en la parte alta de la Cuenca, tanto en la subcuenca de Vichaycocha como en la de Baños. Dicha regulación consiste en acumular agua en la época húmeda y soltar en la época seca. En la actualidad, para conocer la fluctuación de la capacidad de almacenamiento con el nivel de llenado de las lagunas, se intuye una operación empírica de la misma, fruto del conocimiento y experiencia de los usuarios. Es necesario el conocimiento real de estas fluctuaciones para una correcta regulación. Cabe destacar que algunos de los elementos de regulación de estas lagunas presentan algún grado de deficiencia con necesidad de ser remodelado.

Las lagunas represadas que se utilizan en la cuenca son: Chalhuacocha Baja, Chancán, Rahuite, Yuncán, Cacray, Chungar, Yanahuín, Puajanca Alta y Baja, Vilcacocha, Aguashuman, Uchumachay, Yanauyac y Quisha.



Ilustración 6. Elemento de regulación en la Laguna Quisha. Subcuenca de Baños.

- **Sistema Río Vichaycocha:** su funcionamiento hidráulico consiste en la derivación de las aguas represadas en el reservorio de Chancán y de las lagunas de Chalhuacocha alta y Chalhuacocha baja al reservorio Rahuite y de este, al río Vichaycocha.

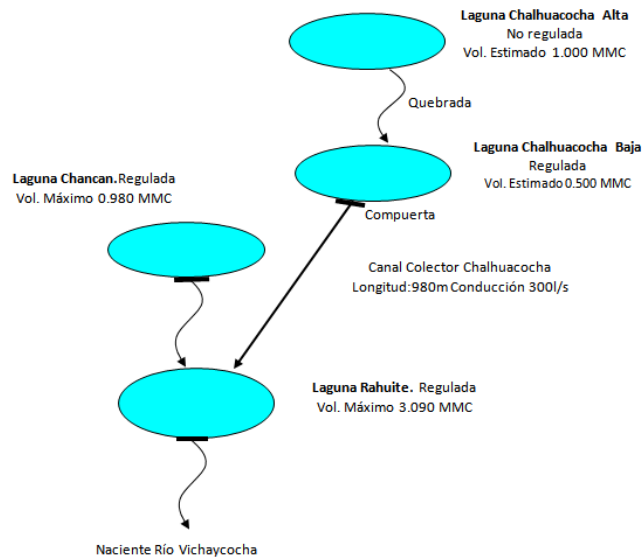


Ilustración 7. Esquema de las lagunas del subsistema Vichaycocha.

El reservorio Rahuite presenta una capacidad no mayor de 3MMC (debido a las pérdidas por los estribos) y una altura de vaso lleno hasta 10 m; la presa es de gravedad de concreto de 12,4 m de alto, 2,5 m de ancho de corona y 59 m de longitud. Recibe los aportes de la laguna Chancán por drenaje directo y los de 2,8 km² de la cuenca de la laguna Chalhuacocha mediante un canal colector.

El reservorio Chancán presenta una capacidad de almacenamiento de 0,98 MMC. La presa es de gravedad, de albañilería de piedra de 9 m de altura, 50 m de longitud y 2 metros de ancho. El cuerpo de la presa presenta vestigios de filtración debido al asentamiento de la misma. La permeabilidad del vaso no se encuentra garantizada, existiendo filtraciones aguas abajo de la presa que discurren hacia la laguna Rahuite. Esto se debe probablemente a que la laguna Chancán se encuentra colgada dentro del valle glaciar, a 70 metros sobre el nivel medio de la anterior y separado una distancia de 0,4 km.

Las lagunas Chalhuacocha Alta y Baja desaguan al reservorio Rahuite mediante un canal de albañilería de piedra cuya longitud es aproximadamente 0,70 km. Estas lagunas tienen un área de espejo de agua de 75.000 m² con 2,4 km² de área de recepción de cuenca.

El proyecto de la presa Purapa (en estudio) consiste en una presa de 50 m de altura, con una capacidad de almacenamiento de 8 MMC. La ubicación de la presa está prevista en el nacimiento del río Vichaycocha, regulando así las aguas del río y los excedentes de los embalses Rahuite y Chancán. La zona estudiada para el embalse Purapa, presenta condiciones favorables de topografía y geomecánicas.

- **Sistema Río Chicrín:** Constituido por las lagunas Yuncán, Cacray, Chungar y Yanahuín. Estas lagunas está represada con presas de gravedad y de más de 50 años de antigüedad. Su estado de conservación presenta serios problemas a excepción de la laguna Chungar, que se halla en regulares condiciones de funcionamiento.

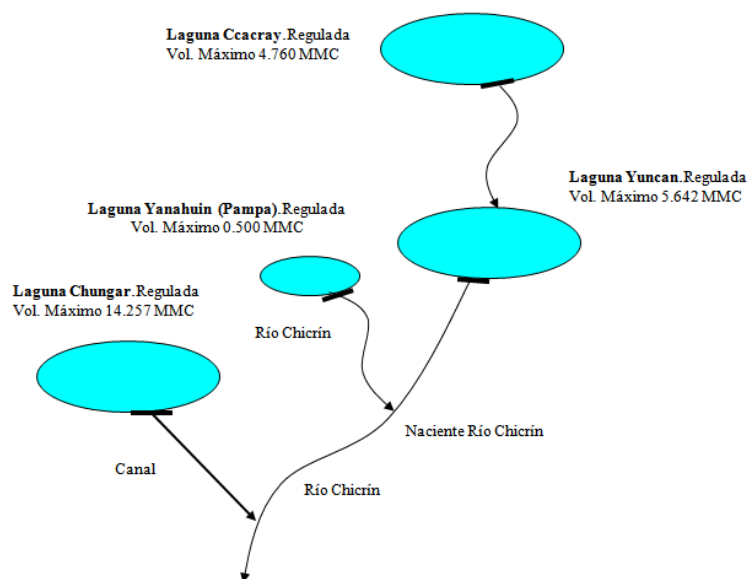


Ilustración 8. Esquema de las lagunas del subsistema Chicrín.

El reservorio Chungar, ubicado en la parte alta del río Chicrín, tiene una capacidad máxima de 14 MMC, aunque actualmente su capacidad es sólo de 11 MMC. La presa es de gravedad y de concreto con 15 m de altura, 97 m de longitud y 1,60 m de ancho en la corona. La presa tiene dos compuertas ubicadas a 15 y 11 m de desnivel cada una. El reservorio se alimenta del deshielo y del agua de lluvia. Pocas veces ha rebosado la capacidad del mismo, tanto por la pequeña filtración que presenta como por los propios recursos hídricos de la cuenca que no permiten el embalse.

El reservorio Yuncán se ubica en la parte alta del río Chicrín, tiene una capacidad estimada de 5,6 MMC. La presa, en regular estado de conservación, es de gravedad y mampostería, con una longitud de 160 m, altura de 12 m y ancho de 2m. Posee un aliviadero en buenas condiciones. Por la base de la estructura existen filtraciones.

El reservorio Cacray se sitúa 4 km aguas abajo de la presa de Yuncán. Su presa es de gravedad y de concreto de 7 m de altura, 86 m de longitud, ancho irregular con un promedio de 4 m. La capacidad de almacenamiento es de 4,7 MMC, aunque en la actualidad sólo almacena 1,5 MMC debido a problemas encontrados con la estabilidad de la presa, la cual se encuentra fisurada y con los estribos mal cimentados.

- **Sistema Río Baños:** el sistema comprende parte de la Cuenca Chancay-Huaral y parte de la cuenca alta del río Mantaro. Además de los aportes de las lagunas reguladas, mediante el Sistema de Lagunas Puajanca (Puajanca Alta, Puajanca Baja, Barrosococha, Minaschacán y Verdecocha). Las aguas de estas lagunas son derivadas, en época de estiaje, a la laguna de Vilcacocha en la Cuenca Chancay-Huaral, a través de un túnel de 1,2 km de longitud. Mediante un canal las aguas son conducidas al reservorio laguna Aguashuman, de donde se descarga al río Baños, que es afluente del río Chancay –Huaral.

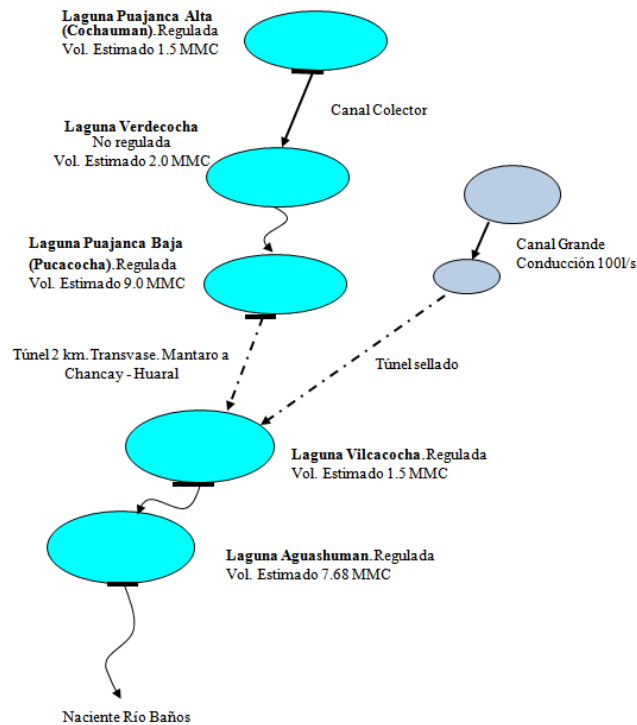


Ilustración 9. Esquema de las lagunas del subsistema Baños.

El reservorio Aguashuman tiene una capacidad de 7,7 MMC y se encuentra en buenas condiciones, teniendo un aliviadero pequeño de 2,60 m de ancho y 0,5 m de alto. La presa tiene 15 m de altura, 70m de longitud y es de tipo gravedad en concreto. Tiene una buena recepción de aguas puesto que considera el trasvase de la cuenca del río Mantaro, lo que permite llenar su capacidad de diseño sin dificultad. En época de lluvias es cuando se produce la descarga de grandes masas de agua excedentes debido a la pequeña capacidad del reservorio.

El reservorio Vilcacocha está ubicado aguas arriba de la laguna Aguashuman y se alimenta por los deshielos permanentes y el aporte de las lluvias así como por el trasvase con aportes provenientes de la laguna Puajanca Baja a través de un túnel. El reservorio presenta un canal de derivación hacia la laguna Aguashuman y lo controla mediante la compuerta ubicada sobre una pequeña presa de concreto. El volumen aprovechable se estima en 1,5 MMC.

El reservorio Puajanca Baja se encuentra en la parte limítrofe de la cuenca del río Mantaro con la del río Baños, y es alimentado por los deshielos permanentes y los aportes de lluvias. Tiene una capacidad aproximada de 9 MMC. Esta laguna se encuentra conectada con la laguna Vilcacocha a través de un túnel. A 30 m de profundidad se encuentra la válvula de control, conservándose en un estado regular.

El reservorio Puajanca Alta se encuentra a 4 km del anterior. Posee una presa por gravedad de concreto de 30 m de longitud, 6 m de alto y 1,5 m de ancho de coronación. El aliviadero tiene una longitud de 15,70 m y 0,6 m de altura. La capacidad de almacenamiento es de 1,5 MMC. Existe un canal de derivación de 1,4 km en tierra (90%) el cual deriva las aguas a la laguna Verdecocha y de este a Puajanca Baja.

Las lagunas Barrosococha y Minaschacán se encuentran ubicadas entre la laguna Puajanca Baja y Alta. Barrosococha presenta un dique de cierre en la parte de desagüe hacia la cuenca del Mantaro y de Champa de 30 m de longitud y 2,0 m de alto. Esta laguna presenta filtraciones. Existe una toma construida hacia el lado de la laguna Minaschacán con los respectivos mecanismos de control y un túnel de 0,2 km aproximadamente, la cual se encuentra en mal estado e inoperativa. En cuanto a la laguna Minaschacán es una laguna de paso, la cual recibe las aguas de Barrosococha y deriva hacia la laguna Puajanca Baja a través de un túnel de unos 0,7 km en mal estado de conservación. El volumen aprovechable se estima en 3,5 MMC.

La laguna Verdecocha está ubicada aproximadamente a 0,20 km de la laguna de Puajanca Baja. No presenta estructura de regulación, es una laguna de paso que deriva sus aguas hacia la laguna de Puajanca Bajo.

- **Sistema Río Quilles:** la laguna Quisha es la más importante de este sistema, a la cual se suman los excedentes de la laguna Yanauyac, descargando luego al río Quiles que es afluente del río Baños.

El reservorio Quisha está ubicado en la cuenca del río Ragrampi. Tiene una cuenca colectora de 14,5 km² que incluye la de Iscocochoa, Pucacocha y Yanauyac. Se encuentra en plena capacidad para ser utilizada. La presa de gravedad es de concreto de 16 m de altura y 50 m de longitud en la coronación. El volumen de almacenamiento es de 13,7 MMC.

El reservorio Yanauyac se encuentra 1 km aguas arriba de la laguna Quisha. La presa tiene una altura máxima de 10 m contando con su conducto de descarga debajo de la presa. El volumen de almacenamiento es de 3,6 MMC.

5.1.2. Centrales Hidroeléctricas (C.H.).

En este tramo existe una afección clara e importante debido a las 14 C.H. existentes más la C.H. de Baños 5, actualmente en funcionamiento y otras tantas en estudio. Si bien estas centrales son fluyentes en derivación y sin ninguna capacidad de regulación. Salvo por las centrales existentes se tratan de tramos muy poco alterados entrópicamente y con un gran valor paisajístico (en especial el río Baños y el Chicrín).

En la Ilustración 12 no están representadas todas las centrales hidroeléctricas debido a que la capa no está actualizada; es por ello que lo comentado en el texto no coincide con la imagen. Conviene revisar el esquema topológico mayor recogido en el Anexo 1.

- **Río Baños:** se encuentra explotada por las siguientes centrales hidroeléctricas:
 - Central Hidroeléctrica Baños I
 - Central Hidroeléctrica Baños II
 - Central Hidroeléctrica Baños III
 - Central Hidroeléctrica Baños IV
 - Central Hidroeléctrica Baños IV ampliación
 - Central Hidroeléctrica Baños V – En funcionamiento. Entre la C.H. de Baños IV y ampliación la C.H. de Baños IV se dispone de una caída de 325 m de altura que se propone utilizar en la C.H. de Baños V que con un caudal de 2.5m³/s, generando 7.0 MW de potencia.
- **Río Chicrín:**
 - Central Hidroeléctrica Cacray
 - Central Hidroeléctrica Yanahuín
 - Central Hidroeléctrica Huanchay I y II

- Central Hidroeléctrica Shagua
- Central Hidroeléctrica Santa Catalina
- **Río Vichaycocha:**
 - Central Hidroeléctrica Vichaycocha
- **Río Chancay-Huaral:**
 - Central Hidroeléctrica Pacaraos – En estudio. Con una potencia de 5 MW.
 - Central Hidroeléctrica Totorá de Pacaraos (Edelnor)
 - Central Hidroeléctrica Tingo: de propiedad de la CIA Minera Santander, esta central viene generando 1,1 MW de potencia con una caída de 445 m utilizando un caudal de 0,9 m³/seg., sin embargo esta central puede ser repotenciada utilizando el caudal disponible aguas abajo de la descarga de la CH de Baños IV que es de 2,5 m³ /seg. con lo cual su potencia se incrementa a 9,5.

Las únicas centrales hidroeléctricas con caudal ecológico establecido según estudio de aprovechamiento hídrico, es la ampliación de la C.H Baños IV y C.H Baños V. En el resto de centrales no están especificados los caudales ecológicos. El agua que dejan como escorrentía a nivel de cause de río son propias de las filtraciones en captación y afloramientos aguas abajo.

5.1.3. Unidades mineras

En las zonas más altas de la subcuenca Vichaycocha operan varias minas artesanales como minas de cal y carbón; y en las zonas bajas arcillas, gravas y áridos. Este tipo de minería tiene problemas muy serios, ya que en ocasiones producen vertidos de escombros que se van acumulando en la ribera y que posteriormente son arrastrados en periodos de avenidas.



Ilustración 10. Deslizamiento de las escombrerías hacia el cauce en la mina de cal de Santa cruz de Andamarca.

5.2. TRAMO MEDIO-ALTO

Río Chancay-Huaral y afluentes hasta la confluencia con la estación de aforo de Santo Domingo. Los aspectos de regulación más relevantes a ser considerados por su posible afección a la hidromorfología del cauce son:

5.2.1. Bocatomas

Numerosas bocatomas, sobre todo en las subcuencas de Huataya y Añasmayo perteneciente a la cuenca Media de Chancay-Huaral. En el río Chancay-Huaral comienza a haber presencia de bocatomas,

tanto rústicas como permanentes, a partir de la confluencia del río Añasmayo. En el río Chancay-Huaral el número de bocatomas permanentes es considerablemente más elevado que el de bocatomas rústicas. Todas estas bocatomas son utilizadas para la captación de agua necesaria para el riego de los cultivos próximos a las riveras, cuya área total es de 500-600 hectáreas.

5.2.2. Centrales Hidroeléctricas

En este tramo de la cuenca, hay una central hidroeléctrica y además están en estudio la construcción de varias centrales hidroeléctricas en la parte más alta.

- Central Hidroeléctrica Hoyos – Acos
- Central Hidroeléctrica Sinersa – En estudio
- Central Hidroeléctrica Rucuy – En estudio
- Central Hidroeléctrica Chancay 2 – En estudio. Con un potencial de 105 MW. Se encuentra a nivel de Estudio de Factibilidad.

5.3. TRAMO BAJO

Desde la confluencia de la subcuenca Huataya hasta su desembocadura en el mar.

En la cuenca baja de Chancay-Huaral, las regulaciones existentes son producidas por las bocatomas de riego. El área dedicada a la agricultura es aproximadamente de 22.000 hectáreas.

Las principales derivaciones para regadío se producen en las tomas de Cuyo, Palpa, La Esperanza, Huando, Chancay-Huaral, Boza Alta y Boza Baja, citadas desde aguas arriba.



Ilustración 11. Bocatoma La Esperanza. Subcuenca Baja de Chancay-Huaral (Fuente. Julio San Román)

Debido a la presencia de este gran número de bocatomas, la junta de usuarios se ve obligada a realizar importante mantenimiento de la sección del cauce, pues el importante acarreo en inundaciones de materiales (cantos y bolos) obtura las bocatomas y produce estrangulamientos de la sección que favorece los desbordamientos.

Por otro lado cabe destacar el reservorio que se encuentra en estudio aguas arriba de la estación de aforo de Santo Domingo.

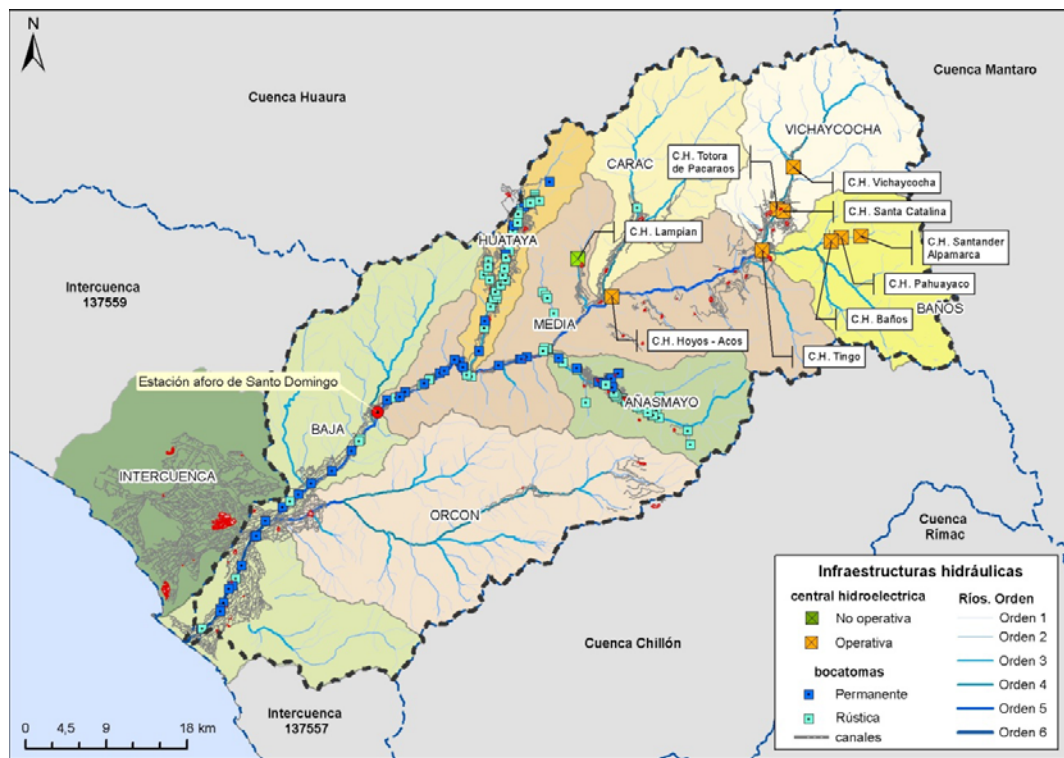


Ilustración 12. Plano de localización de centrales hidroeléctricas y bocatomas presentes en la Cuenca de Chancay-Huaral.

6. IDENTIFICACIÓN DE TRAMOS PRIORITARIOS

El Río Chancay–Huaral debe mantener un caudal mínimo 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 de su curso natural. El caudal ecológico es considerado de uso no consuntivo, por sus servicios ambientales el caudal ecológico se considera intangible, en consecuencia no puede ser usado para otros fines.

El caudal ecológico está asociado no solo con la cantidad de agua, también con su calidad en consecuencia su cuantificación y juzgamiento requiere de actividades que involucren ambos aspectos.

En el valle Chancay-Huaral no existen estudios de su valoración, sin embargo el año 2010, el SINDICATO ENERGETICO SA-SINERSA, al estudiar los requerimientos hídricos para la central hidroeléctrica CH.CHANCAY estima el valor del caudal ecológico, en base a criterios meramente hidrológicos, en este caso corresponde a un valor de Q95%. Su valoración se realiza bajo condiciones de flujo naturalizado sin considerar el aporte del sistema de lagunas reguladas de cabecera de cuenca.

La serie de caudales, descargados desde el sistema de lagunas reguladas, queda definido por las decisiones de ALA Chancay–Huaral y de la Junta de Usuarios (JU), como una función de la demanda diaria de agua para riego, y es específico de cada año hidrológico. Otros parámetros que no son siempre posibles de definirlos también intervienen en las decisiones del ALA y de la JU, aunque sus decisiones siempre tienen un correlato con las características del año hidrológico, por ejemplo para el mes de septiembre, el mes más seco del año, los valores de las descargas promedio diarias son del orden de 1,98 m³/s con caudales máximos de hasta 4,08 m³/s.

El caudal al 95% de persistencia estimado en Tingo es de 3,0 m³/s, incluida el caudal descargado desde el sistema de lagunas reguladas. Si se tiene en cuenta que las descargas máximas en septiembre, en Tingo, llegan a 4,08 m³/s, significa que el río Chancay-Huaral, en la sección de Tingo, tiene un caudal natural Q95% mínimo, que inclusive puede ser de 0.0 m³/s. Se puede concluir que la demanda total del valle se cubre, en el estío, íntegramente con los aportes de lagunas de cabecera reguladas.

Sin embargo, para garantizar óptimas condiciones ambientales en el tramo al servicio, indican que debe de mantenerse un caudal permanente, como caudal ecológico de 0,20 m³/s, se estima que este caudal se mantendrá en circulación un tiempo menor al 0,5% del tiempo de duración del estiaje, el 99,5% del tiempo el caudal siempre será mayor que 0,2 m³/s. Indican además que el caudal que realmente circulará aguas abajo de la bocatoma de captación de la CH Chancay, con una probabilidad de ocurrencia de 95%, será siempre mayor de 1,2 m³/s.

En la **selección de los tramos** de estudio, se ha dado prioridad a las zonas con mayor importancia ambiental o a aquellas que estén situadas aguas abajo de grandes presas o derivaciones importantes y que puedan condicionar las asignaciones y reservas de recursos del plan hidrológico.

Por tanto, para la identificación de los tramos prioritarios, es aconsejable analizar la topología de la cuenca con la finalidad de localizar los siguientes elementos:

- Elementos de regulación.
- Elementos de derivación
- Manantiales y sumideros.
- Elementos medioambientales que por su relación directa con el sistema hídrico merecen de una consideración especial, en particular cabe destacar la Áreas Naturales Protegidas, zonas de reserva y reservas fluviales o los tramos que acogen a especies protegidas o en peligro de extinción.

Una vez realizado este análisis, se procede a la identificación de tramos significativos, a partir de criterios de interconexión entre los elementos antes indicados y de significación de los mismos en el flujo dentro del funcionamiento global del sistema.

Para la elaboración de la siguiente propuesta se han considerado:

- Las zonas de interés ecológico, bien por ser áreas con algún tipo de protección o por presentar alguna especie piscícola endémica característica. La extensión de zona de área protegida que queda incluida dentro de la cuenca es muy pequeña y no coincide con ninguno de los ríos más representativos de la cuenca. Sin embargo se decide considerar las zonas de los ríos Chicrín y Baños por el gran valor paisajístico. En cuanto a las especies piscícolas no se dispone de la información necesaria para hacer una selección de las especie objetivo de estudio.
- Las afecciones hidromorfológicas, bien por centrales hidroeléctricas o bien por bocatomas.
- Los distintos climas y altitudes de la cuenca.

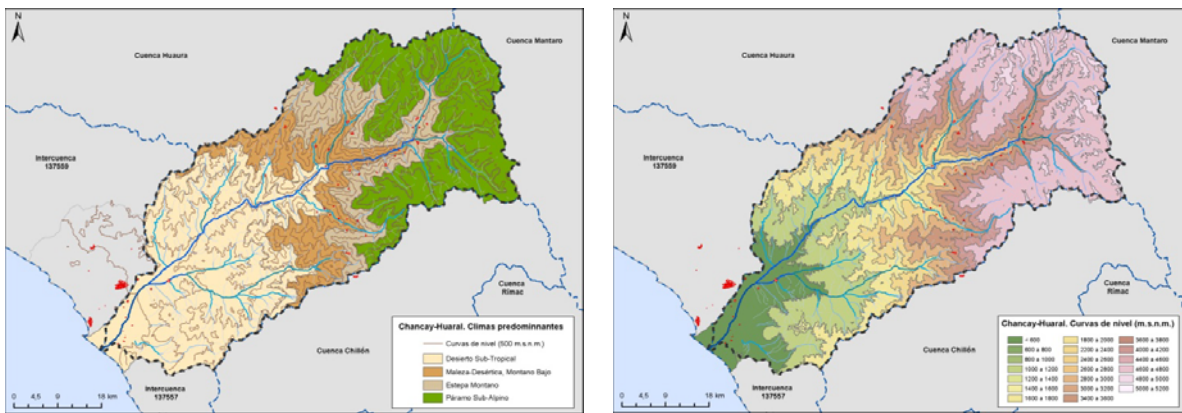


Ilustración 13. Climas predominantes y curvas de nivel en la Cuenca Chancay-Huaral.

La propuesta de los posibles tramos de estudio de caudales ecológicos se detalla a continuación y se recoge en la Ilustración 14:

6.1. RÍO VICHAYCOCHA

Tramo de estudio localizado en la cuenca alta, en la subcuenca Vichaycocha, antes de la confluencia del río Vichaycocha con el río Chicrín. El funcionamiento hidráulico de esta microcuenca como se ha mencionado previamente, consiste en la derivación de las aguas represadas en el reservorio de Chancán y las lagunas de Chalhuacocho Alta y Chalhuacocho Baja, al reservorio Rahuite y de este al río Vichaycocha. En la parte alta de la subcuenca Vichaycocha predomina el clima páramo sub-alpino llegando a alcanzar altitudes de 4,800 msnm, mientras que en su parte baja predomina el clima estepa montano con altitudes en torno a los 3,600 msnm. Las inmediaciones de la subcuenca están caracterizadas por suelos de pastos naturales. Los usos del agua son exclusivamente eléctricos asociados a la minería artesanal existentes en la parte alta. Este tramo se ha seleccionado por su alto valor ecológico y paisajístico a preservar, pese a la presencia de la central hidroeléctrica de Vichaycocha previo a la confluencia por el margen izquierdo del río Chicrín.

6.2. RÍO CHICRÍN.

Tramo de estudio localizado en la cuenca alta, en la subcuenca Vichaycocha. Esta subcuenca está constituida por la laguna Yuncán, Cacray y la laguna Chungar. Cada una de estas lagunas están represadas con presas de gravedad de más de 50 años de antigüedad, cuyo estado de conservación presenta serios problemas a excepción de la laguna Chungar, que se halla en regulares condiciones de funcionamiento. En la parte alta de la subcuenca Chicrín predomina el clima Páramo Sub-Alpino llegando a alcanzar altitudes de 4.700 msnm, mientras que en su parte baja predomina el clima Estepa Montano con altitudes en torno a 3.700 msnm. Las inmediaciones del sistema están caracterizadas por suelos de pastos naturales. Los usos del agua son exclusivamente eléctricos asociados a la minería existente en la parte alta. Este tramo, afluente del Vichaycocha, se ha seleccionado por su alto valor ecológico y paisajístico a preservar, pese a la presencia de las 5 centrales hidroeléctricas Cacray, Yanahuín, Huanchay, Shagua y Santa Catalina.

6.3. ALTO CHANCAY-HUARAL.

Tramo de estudio localizado en la cuenca alta, entre la confluencia de los ríos Chicrín y Baños con el río Chancay-Huaral. En esta zona predomina un clima de tipo Estepa Montano con altitudes entorno a los 3.500 msnm, con predominancia en suelos agrícolas. Este tramo resulta relevante para el estudio de caudales ecológicos debido a la presencia de las centrales hidroeléctricas de Totorá de Pacaraos y Tingo, siendo esta última de uso minero. Además, en la zona está en estudio la central hidroeléctrica de Pacaraos con una potencia de 5MW. También resulta relevante por las tomas de derivación para los cultivos.

6.4. RÍO BAÑOS – TRAMO ALTO.

Tramo de estudio localizado en la cuenca alta, aguas arriba de la confluencia en el Baños del río Quiles, el cual entra por su margen izquierda. La altitud del tramo oscila entre los 3,600 y 3,800 msnm, presentando un clima predominante de tipo páramo sub-alpino.

La subcuenca Baños comprende parte de la cuenca Chancay-Huaral y parte del río Mantaro. Las aguas de las lagunas que forman parte de la cuenca del río Mantaro son derivadas a la cuenca del río Chancay-Huaral. Para tal efecto, en la laguna Puajanca Baja se embalsan las aguas excedentes de las lagunas Puajanca Alta, Barrosococha; Minaschacán y Verdecocha, interconectadas entre sí mediante canales y túneles de derivación. El trasvase de las aguas del sistema Puajanca al río Chancay-Huaral se hace a través de un túnel de 1,2 km de longitud, partiendo de la laguna Puajanca Baja al reservorio Vilcacochoa; mediante un canal las aguas se conducen al reservorio laguna Aguashuman, de donde se descarga al río Baños.

Los usos del agua son exclusivamente hidroeléctricos. Es un tramo con un gran valor paisajístico a preservar. El tramo es propuesto dada la necesidad de preservar la zona ante la posible afección en los tramos de derivación de las centrales hidroeléctricas de Baños 1, Baños 2, Baños 3 y Baños 4, todas ellas sin capacidad de regulación.

6.5. RÍO QUILES.

El tramo de estudio está ubicado en el río Quiles, antes de su confluencia en el río Baños. En la zona seleccionada predomina el clima páramo sub-alpino llegando a alcanzar altitudes de 4.800 msnm, mientras que en su parte baja predomina el clima estepa montano con altitudes en torno a los 3.600 msnm.

Los usos del agua son exclusivamente hidroeléctricos asociados. Este tramo se ha seleccionado por su alto valor ecológico y paisajístico a preservar, pese a la presencia de la central hidroeléctrica ampliación de Baños 4, previa a la confluencia con el río Baños.

6.6. RÍO BAÑOS – TRAMO BAJO.

Tramo de estudio está ubicado en la cuenca alta, concretamente en la parte baja del río Baños, tras la confluencia del río Quiles. El río Baños es el primer afluente a considerar por la margen izquierda del río Chancay-Huaral. La subcuenca comprende parte de la cuenca Chancay-Huaral y parte del río Mantaro como se ha comentado previamente. El clima predominante en esta zona propuesta es estepa montana con altitudes en torno a 3.500 msnm. Los usos del agua son exclusivamente para centrales hidroeléctricas. Al igual que los tramos anteriores, se trata de un tramo con un gran valor paisajístico a preservar, pese a la presencia de la centrales hidroeléctrica de Baños V.

6.7. MEDIO CHANCAY-HUARAL (ENTRE BAÑOS Y CARAC).

En el río Chancay-Huaral, el tramo comprendido entre las centrales hidroeléctricas Tingo (cercano a la confluencia del río Baños) y Hoyos-Acos (próximo la confluencia del río Carac), se encuentra en la actualidad en estudio la posibilidad de construir 3 centrales hidroeléctricas. Se considera un tramo relevante de estudio debido a las posibles afecciones futuras que pueda acarrear la presencia de estas nuevas centrales hidroeléctricas y sus posibles derivaciones. En dicho tramo el clima predominante es tipo Maleza-Desértica, Montano Bajo, con altitudes que varían entre 1.800 y 2.600 msnm. Hay predominio de los pastos naturales y zonas de regadío en las inmediaciones del valle.

6.8. RÍO CARAC

En el río Carac, el tramo ubicado en la parte baja de la subcuenca Carac, aguas arriba de la localidad de Huaral. En dicha parte de la subcuenca predomina un clima tipo Maleza Desértica Montano Bajo, con altitudes entorno a los 2.400msnm. Dicho tramo es seleccionado para el estudio de caudales ecológicos por su grado de alteración hidrológica al que se encuentra sometido.

6.9. MEDIO CHANCAY-HUARAL (ENTRE CARAC Y AÑASMAYO).

Este tramo se localiza en el río Chancay-Huaral aguas abajo de la central hidroeléctrica Hoyos-Acos, entre las confluencias al Chancay-Huaral de los ríos Carac y Añasmayo. El estudio de esta zona se justifica por el hecho de que es una zona de transición hacia el clima de desierto subtropical propio de la cuenca baja. Aguas abajo de este punto, la cuenca se ve fuertemente antropizada con multitud de bocatomas y de canales de derivación para satisfacer la demanda agrícola que pueden afectar a la modelización del régimen hídrico.

6.10. RÍO AÑASMAYO.

Es un afluente del río Chancay-Huaral, caracterizado por un clima que va desde Estepa Montano en las zonas de cabecera a Desierto Sub-tropical en la zona de confluencia con el Chancay-Huaral. Presenta gran cantidad de caudal durante los meses de lluvia (de enero a abril) y luego va disminuyendo paulatinamente, en tal medida que a partir del mes de Agosto la zona baja del valle, tiene poca agua. La actividad principal en el valle es la agricultura de frutales predominando el conocido blanquillo, las manzanas de diversas variedades y chirimoyos y paltos mejorados, sobresaliendo como uno de los principales productores de frutas de la Provincia Huaralina. En la zona alta del valle cabe destacar la presencia de la minería, generándose conflictos por el uso del agua. El agua de estos ríos es de una excelente calidad, por lo que su uso inclusive para el consumo poblacional no requiere tratamiento previo

y es para la agricultura y actividad pecuaria un recurso vital. Debido al marcado carácter agrícola de la zona, al conflicto entre usos agrícolas y mineros y a los ocasionales problemas de sequía que se dan en la actualidad, se considera necesaria la elaboración de un estudio de caudales en esta subcuenca.

6.11. RÍO AGUASHUARCO

El tramo de estudio está ubicado en la cuenca media, concretamente en la parte baja de la subcuenca Huataya, justo antes de su confluencia con el Chancay-Huaral medio. En dicha parte de la subcuenca predomina un clima tipo desierto subtropical, con altitudes entorno a los 1,600 msnm. Dicho tramo es seleccionado para el estudio de caudales ecológicos por su grado de alteración hidrológica al que se encuentra sometido debido a las tomas destinadas piscigranjas de trucha.

6.12. MEDIO-BAJO CHANCAY-HUARAL.

A partir de la confluencia con la subcuenca Huataya, la pendiente general decrece considerablemente, dando lugar a la deposición de materiales y elementos en suspensión y arrastre que llevaba el río, formando una llanura aluvial o valle del río Chancay-Huaral que se extiende hasta el litoral. El tramo comprendido entre la confluencia del río Huataya y la estación de aforo de Santo Domingo, presenta un clima de tipo Desierto Sub-tropical, con una altura media aproximada de 1.000 msnm. Predominan los pastos naturales y a su vez se localizan cultivos de regadío en el valle principal y quebradas que lo atraviesan, además de algunas zonas diseminadas de cultivos agrícolas de secano. Dicho tramo abarca un área de riego donde está prevista la construcción del reservorio de Huerequeque. Se considera un tramo relevante de estudio dada las posibles afecciones futuras que pueda acarrear la presencia de dicho reservorio.

6.13. BAJO CHANCAY-HUARAL.

En la cuenca baja del río Chancay-Huaral, el valle se ensancha notablemente extendiéndose hasta los cerros Hatillo y Pasamayo, que vienen a constituir sus límites Norte y Sur respectivamente. El clima predominante en toda esta parte del valle es desértico subtropical. Abundan las áreas agrícolas de regadío, lo que implica que sean numerosos los canales construidos y las bocatomas. En el tramo final del río Chancay-Huaral se asientan varias industrias así como diversos usos pecuarios. En esta zona se plantea otro tramo para contemplar de este modo la problemática de los cultivos de la zona y todas las derivaciones asociadas a los mismos.

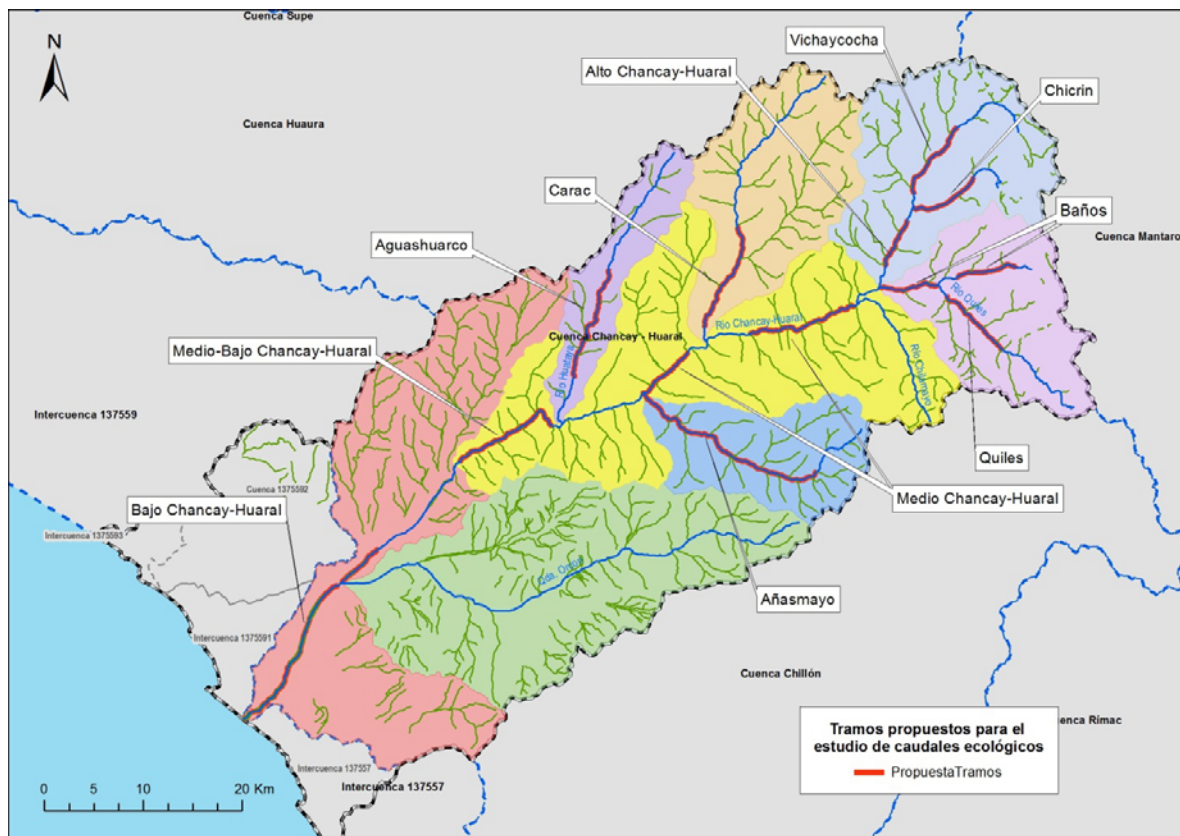


Ilustración 14. Propuesta de los puntos de estudio de caudales ecológicos.

7. RESULTADOS: CARACTERIZACIÓN DE LAS SERIES EN RÉGIMEN NATURAL Y PROPUESTA DE CAUDALES MÍNIMOS EN TRAMOS PRIORITARIOS

Como se ha comentado previamente, para la determinación de los caudales ecológicos como primera propuesta en los tramos prioritarios de la Cuenca Chancay-Huaral, se ha utilizado el método hidrológico RVA (*Range of Variability Approach*, Ritchee *et al.*, 1997). Dicho método lleva a cabo una búsqueda de la proporcionalidad del régimen natural.

Como datos de partida se cuenta con las series completas de caudales medios mensuales en régimen natural correspondientes a los años 1970-2009. Dichas series se han obtenido a través del WEAP (*Water Evaluation and Planning System*).

El método RVA precisa como datos de partida de series de caudales medios diarios. Dado que los datos de partida que se dispone son caudales medios mensuales, el número de parámetros para la caracterización de las series naturales y el número de indicadores de alteración hidrológica se verán simplificados.

Con el objetivo de evitar que la variabilidad interanual quede enmascarada al trabajar con valores medios calculados sobre la globalidad de los años disponibles, se realiza una discriminación previa de los años en base a su aportación anual para la obtención de aquellos años considerados como SECOS hidrológicamente. Un año es considerado seco cuando su aportación anual en régimen natural es inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%.

Una vez definidos los años secos, se estimaron los percentiles 5 (Q95% de excedencia) y 10 (Q90% excedencia) tanto con los datos de todos los años de la serie hidrológica, como con los datos de la serie hidrológica de los años secos. Todo ello se realizó para cada uno de los dos periodos claramente diferenciados en la cuenca: la estación húmeda, entre los meses de noviembre y abril, y la estación seca, comprendida entre los meses de mayo y octubre.

De acuerdo con la metodología propuesta, una de las categorías para la determinación de caudal mínimo ambiental es un determinado percentil de excedencia de la curva de duración sin llegar a definirlo. En este sentido se establecieron los percentiles 5 y 10 como una primera propuesta en el establecimiento de caudales ecológicos, con la idea de ser más exigentes a media que se vaya avanzando en esta temática.

Por tanto, como propuesta de partida, a partir de las dos series de temporales de caudal (la de los años secos y la de todos los años) se estimó el **percentil 5** y se estableció, para cada época, un **rango de caudales mínimo** como primera aproximación. Del mismo modo, se estimó el **percentil 10** en ambas series temporales y se estableció para cada época, un **rango de caudales objetivo** a alcanzar. En aquellos casos en que dicho rango resultaba similar al rango de caudales mínimos, se aplicó el percentil 15 como rango objetivo a alcanzar.

Para el estudio de la caracterización de la serie en régimen natural y de la alteración hidrológica en cada uno de los tramos prioritarios, se estimaron aquellos parámetros adecuados para evaluar magnitud, variabilidad y estacionalidad. Como ya se ha comentado previamente, el número de parámetros se ve simplificado al trabajar con datos medios mensuales. Posteriormente se compararon las series en régimen natural y en régimen circulante para estimar el grado de alteración, tanto a nivel mensual como anual.

En la Tabla 1 se recogen de manera resumida los resultados obtenidos, tanto el rango de caudales mínimo como el rango objetivo a alcanzar. También se recoge el grado de alteración hidrológica

TRAMOS ESTUDIO	PERIODO	RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m ³ /s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m ³ /s)		GRADO ALTERACIÓN
RÍO VICHAYCOCHA	Est. seca	0.00	0.00	0.00	0.00	Alterado
	Est. Húmeda	0.01	0.01	0.01	0.01	
RÍO CHICRÍN	Est. seca	0.66	0.80	0.73	0.86	No alterado
	Est. Húmeda	0.90	1.10	1.09	1.32	
ALTO CHANCAY-HUARAL	Est. seca	1.90	2.30	2.20	2.50	No alterado
	Est. Húmeda	2.50	2.90	2.90	3.50	
RÍO BAÑOS - CABECERA	Est. seca	0.42	0.50	0.46	0.54	Alterado
	Est. Húmeda	0.48	0.58	0.54	0.76	
BAJO BAÑOS - TRAMO BAJO	Est. seca	0.99	1.23	1.13	1.37	No alterado
	Est. Húmeda	1.33	1.60	1.54	2.10	
RÍO QUILES	Est. seca	0.28	0.32	0.29	0.36	Alterado
	Est. Húmeda	0.57	0.65	0.65	0.84	
MEDIO CHANCAY-HUARAL (entre Baños y Carac)	Est. seca	3.37	3.89	3.50	4.15	No alterado
	Est. Húmeda	4.25	5.29	5.57	6.65	
RÍO CARAC	Est. seca	0.28	0.31	0.29	0.37	Alterado
	Est. Húmeda	0.51	0.62	0.61	0.92	
MEDIO CHANCAY-HUARAL (entre Carac y Añasmayo)	Est. seca	3.73	4.30	3.81	4.59	No alterado
	Est. Húmeda	4.86	5.99	6.23	7.75	
RÍO AÑASMAYO	Est. seca	0.13	0.18	0.17	0.23	Alterado
	Est. Húmeda	0.18	0.22	0.20	0.33	
RÍO AGUASHUARCO	Est. seca	0.12	0.14	0.13	0.17	Alterado
	Est. Húmeda	0.15	0.20	0.20	0.26	
MEDIO-BAJO CHANCAY-HUARAL	Est. seca	4.02	4.75	4.26	5.08	No alterado
	Est. Húmeda	5.37	6.74	6.62	8.58	
BAJO CHANCAY-HUARAL	Est. seca	4.06	4.80	4.30	5.13	Alterado
	Est. Húmeda	5.42	6.79	6.67	8.64	

Tabla 1. Rango de caudales mínimos (m³/s), caudales objetivo (m³/s) y grado de alteración hidrológica en cada uno de los tramos prioritarios estudiados.

En la figura siguiente se representa la ubicación de cada uno de estos tramos de estudio propuestos junto con el rango de caudal obtenido para la estación seca y estación húmeda:

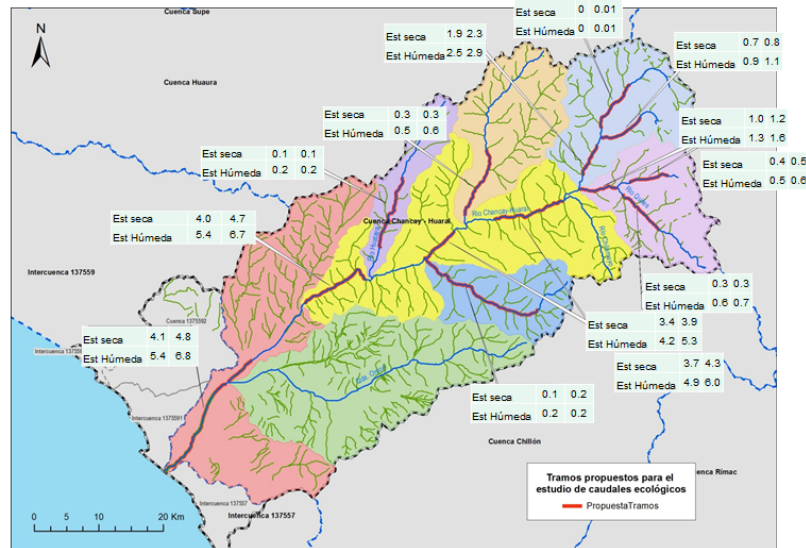


Ilustración 15. Ubicación de los tramos de estudio de caudales ecológicos en la cuenca Chancay-Huaral y resultados obtenidos

A continuación se realiza una descripción detallada de los principales parámetros hidrológicos analizados y los resultados que se han obtenido por cada uno de los tramos prioritarios estudiados.

7.1. RÍO VICHAYCOCHA

Como datos de partida se han utilizado las series en régimen natural y en régimen circulante correspondientes a datos de caudal medios mensuales en el río Vichaycocha, aguas abajo de las lagunas.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural (Ilustración 22) se construye la curva de caudales clasificados (Ilustración 17), que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río. Se aprecia una clara diferencia entre la serie en régimen natural y la serie circulante, ya que como se ha comentado previamente, la demanda total del valle en el periodo seco se cubre íntegramente con los aportes de estas lagunas de cabecera reguladas.

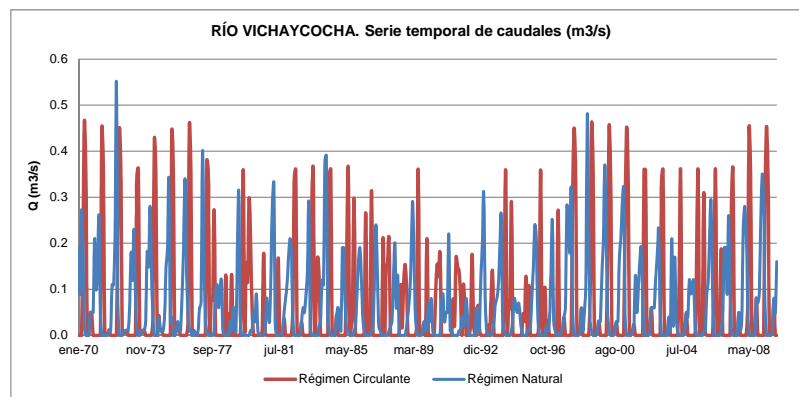


Ilustración 16. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo del río Vichaycocha.

Para el establecimiento de un caudal ecológico en cada uno de los periodos estacionales (época húmeda y época seca), se identificaron en la serie en régimen natural, los años secos, es decir, aquellos cuya aportación resulta inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%. Dichos años fueron: 1978, 1979, 1980, 1987, 1990, 1991, 1992, 1995, 2004 y 2005.

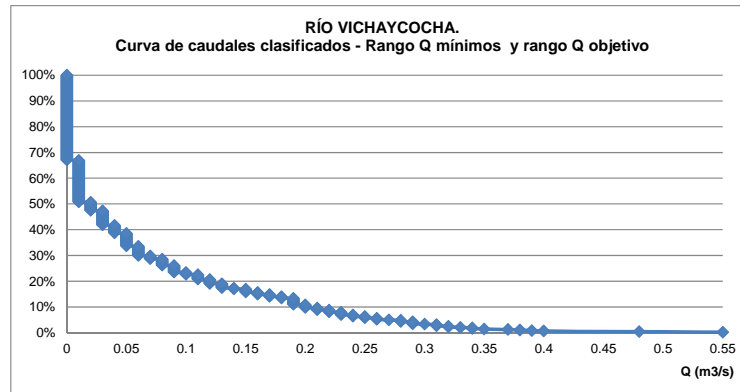


Ilustración 17. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo del río Vichaycocha.

En cuanto a la variación estacional (Ilustración 24) se han comparado los promedios mensuales de los caudales en régimen natural y régimen circulante del río Vichaycocha. Se aprecia claramente como el régimen circulante está invertido respecto al régimen natural, identificándose los mayores valores de caudal durante los meses de mayo y junio correspondientes al periodo seco. Sin embargo, durante los meses húmedos el caudal circulante es prácticamente inexistente. Esto es debido a que durante el periodo húmedo las lagunas almacenan agua que es utilizada posteriormente en los meses secos para abastecer las diversas demandas.

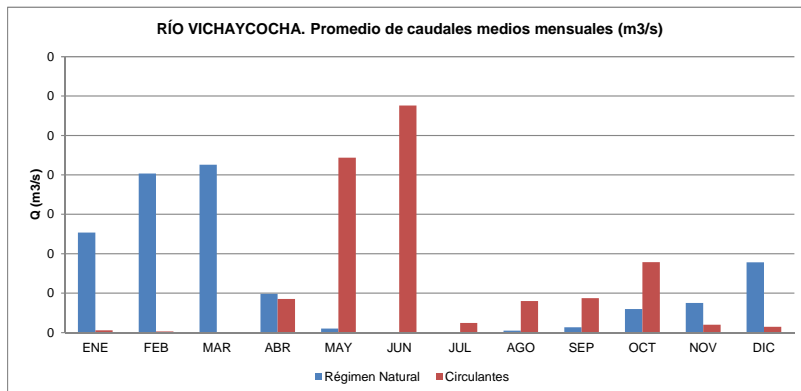


Ilustración 18. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de la serie régimen natural y circulante en el río Vichaycocha.

Para el estudio del grado de alteración hidrológica del tramo de estudio, se han comparado las series en régimen natural y circulante se han estimado aquellos parámetros relacionados con la magnitud, variabilidad y estacionalidad a nivel mensual y anual. En la Tabla 2 se recogen todos estos parámetros y se comprueba que en el tramo hay una clara alteración mensual.

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m ³ /s)	Nº Meses que cumple	Nº Total Meses	% Cumplen	Clasificación
Enero	0.02	0.12	0.21	0.11	1	40	3%	
Febrero	0.05	0.19	0.35	0.06	1	40	3%	
Marzo	0.06	0.22	0.32	0.00	0	40	0%	
Abril	0.01	0.04	0.09	0.15	5	40	13%	
Mayo	0.00	0.00	0.01	0.32	12	40	30%	
Junio	0.00	0.00	0.00	0.30	0	40	0%	
Julio	0.00	0.00	0.00	0.01	0	40	0%	
Agosto	0.00	0.00	0.01	0.04	22	40	55%	
Septiembre	0.00	0.00	0.01	0.05	20	40	50%	
Octubre	0.01	0.02	0.06	0.10	19	40	48%	
Noviembre	0.01	0.03	0.07	0.08	2	40	5%	
Diciembre	0.02	0.08	0.18	0.10	1	40	3%	
Total Mensual					83	480	17%	Alterado

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m ³ /s)	Nº Años que cumple	Nº Total Años	% Cumplen	Clasificación
Anual	0.03	0.06	0.09	0.11	27	40	68%	No Alterado

Tabla 2. Parámetros indicadores de alteración hidrológica. Tramo río Vichaycocha

En la Ilustración 19, puede apreciarse como el promedio mensual de caudales circulantes durante prácticamente todos los meses a excepción de diciembre, enero y febrero, quedan fuera del rango comprendido entre los percentiles 90 y 10 de la serie en régimen natural. Pese a presentar un régimen circulante invertido, a nivel anual el tramo es no alterado. En cuanto al grado de alteración hidrológica a nivel anual puede apreciarse como no resulta relevante, ya que el 68% de los años, el caudal circulante queda comprendido entre el percentil 10 y 90 de los caudales medios anuales en régimen natural.

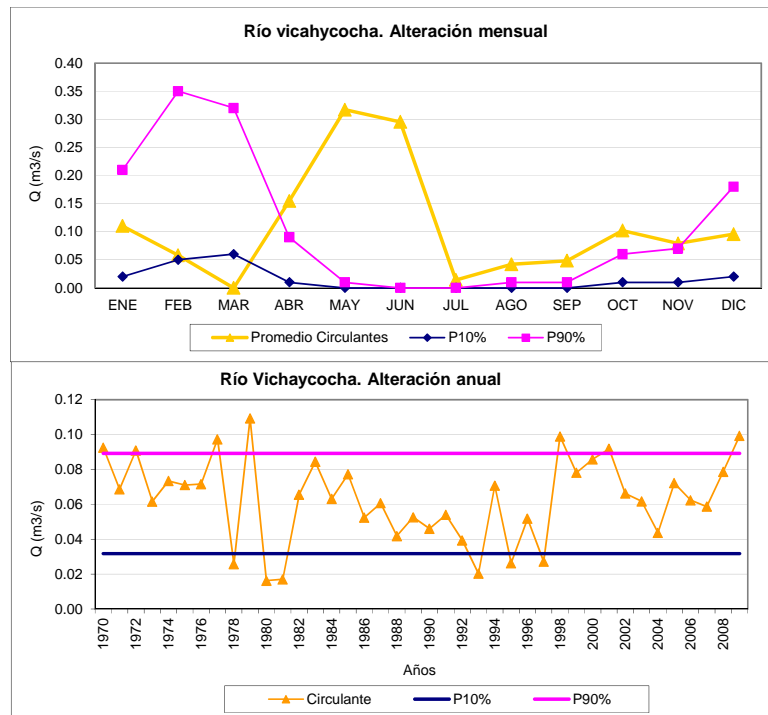


Ilustración 19. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del Río Vichaycocha.

En base a los datos de caudales mensuales medios, se ha calculado el rango de caudales mínimo propuesto y el rango de caudales objetivo, mediante la metodología RVA. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

RÍO VICHAYCOCHA	RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m³/s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m³/s)		GRADO ALTERACIÓN
	Est. seca	0.00	0.00	0.00	
Est. Húmeda	0.01	0.01	0.01	0.01	Alterado

Tabla 3. Rangos de caudales mínimo propuesto y rango de caudales objetivo en el tramo del río Vichaycocha.

En este caso el rango de caudal mínimo y el rango de caudal objetivo resulta el mismo para ambos periodos. En la Ilustración 26 se puede apreciar donde queda comprendido este rango en la curva de caudales clasificados.

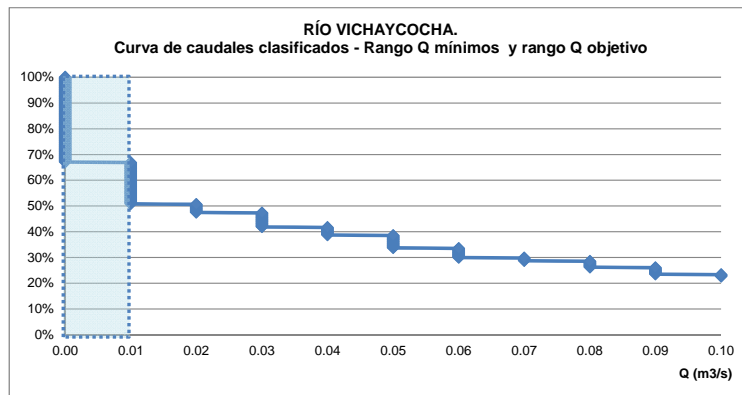


Ilustración 20. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo y el rango de caudales objetivo a alcanzar propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo río Vichaycocha.

En la Ilustración 46 se recoge una ampliación de la serie de caudales, donde a su vez se ha representado el rango de caudales mínimos obtenido (rectángulo) y los mínimos circulantes (línea roja). En este caso se aprecia como los mínimos caudales circulantes quedan comprendidos dentro del rango establecido.

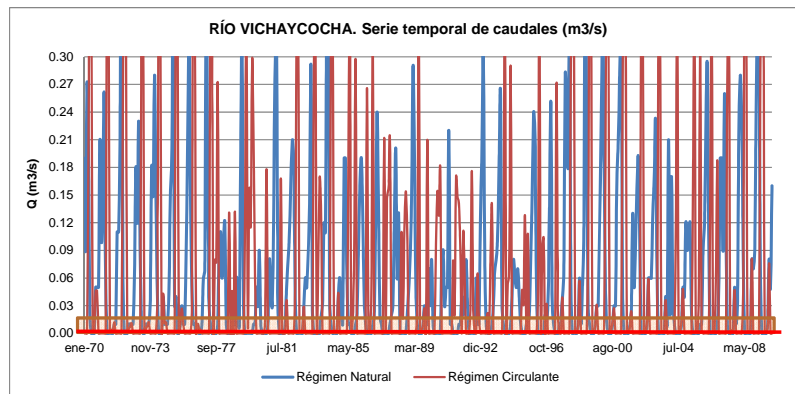


Ilustración 21. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo del río Vichaycocha. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.

7.2. TRAMO 2. RÍO CHICRÍN.

Como datos de partida se han utilizado las series en régimen natural y en régimen circulante correspondientes a datos de caudal medios mensuales en el río Chicrín.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural (Ilustración 22) se construye la curva de caudales clasificados (Ilustración 23), que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río. A simple vista no se aprecian diferencias significativas entre los caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante (Ilustración 22).

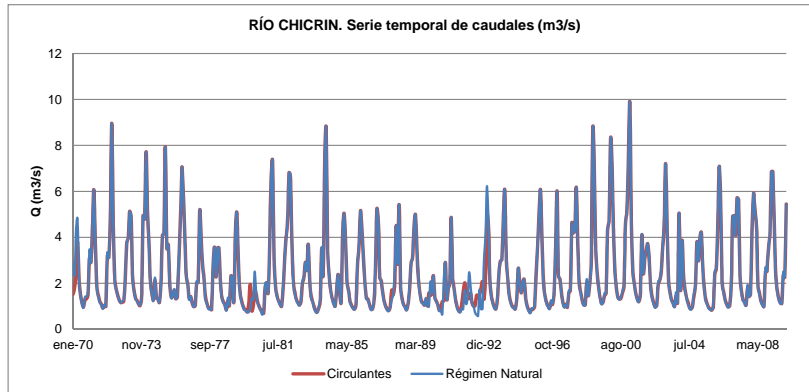


Ilustración 22. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo del río Chicrín.

Los años secos, aquellos cuya aportación resulta inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%, se discriminaron de la serie en régimen natural. Dichos años fueron: 1978, 1979, 1980, 1983, 1987, 1990, 1991, 1992, 1995 y 2004.

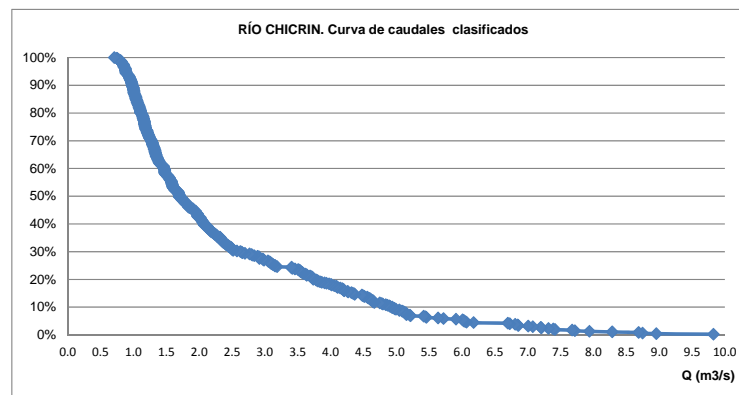


Ilustración 23. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo del río Chicrín.

En cuanto a la variación estacional (Ilustración 24) se han comparado los promedios mensuales de los caudales en régimen natural y régimen circulante del río Chicrín. En ambos casos se aprecia como los meses más secos se dan entre julio y septiembre y los más húmedos corresponden a los meses de enero, febrero y marzo.

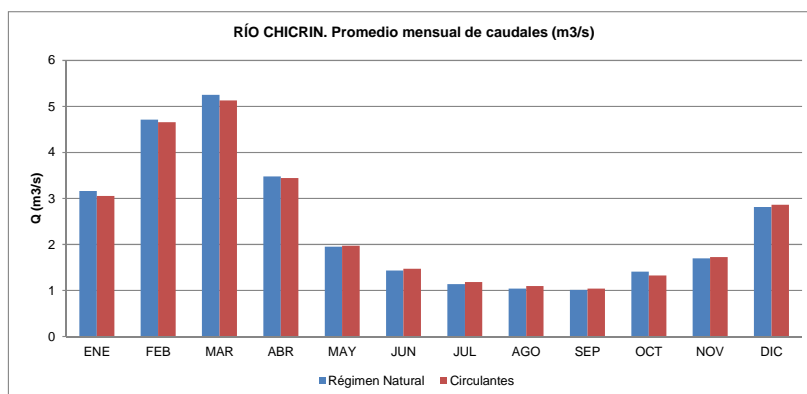


Ilustración 24. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de las series en régimen natural y régimen circulante en el río Chicrín.

Para el estudio de la alteración hidrológica del tramo de estudio, se compararon las series en régimen natural y circulante. Se estimaron aquellos parámetros relacionados con la magnitud, variabilidad y estacionalidad a nivel mensual. En la Tabla 4 se recogen todos estos parámetros y se comprueba que en el tramo no hay alteración mensual ni anual.

Parámetro	P10%	Mediana	P90%	Promedio Q-Circulante (m ³ /s)	Nº Meses que cumple	Nº Total Meses	% Cumplen	Clasificación
Enero	1.36	3.09	4.75	3.06	31	40	78%	No Alterado
Febrero	1.59	4.51	7.42	4.66	32	40	80%	
Marzo	2.35	5.13	7.39	5.13	30	40	75%	
Abril	1.87	3.52	4.80	3.45	32	40	80%	
Mayo	1.34	1.94	2.36	1.97	32	40	80%	
Junio	1.06	1.43	1.71	1.47	30	40	75%	
Julio	0.82	1.17	1.32	1.19	30	40	75%	
Agosto	0.75	1.04	1.28	1.10	33	40	83%	
Septiembre	0.75	0.98	1.38	1.04	37	40	93%	
Octubre	0.87	1.32	2.02	1.33	34	40	85%	
Noviembre	1.01	1.46	2.52	1.72	32	40	80%	
Diciembre	1.32	2.52	4.65	2.86	35	40	88%	
Total Mensual					388	480	81%	

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m ³ /s)	Nº Años que cumple	Nº Total Años	% Cumplen	Clasificación
Anual	1.51	2.40	3.00	2.41	31	40	78%	No Alterado

Tabla 4. Parámetros indicadores de alteración hidrológica. Tramo río Chicrín

En la Ilustración 25, puede apreciarse como el promedio mensual de caudales circulantes durante todos los meses, queda comprendido entre los percentiles 90 y 10 de la serie en régimen natural. Además cabe destacar que la forma de la curva de los promedios mensuales circulantes se corresponde con la que sigue el régimen natural. En cuanto al grado de alteración hidrológica a nivel anual puede apreciarse

como no es relevante, ya que el 78% de los años, el caudal circulante queda comprendido entre el percentil 10 y 90 de los caudales medios anuales en régimen natural.

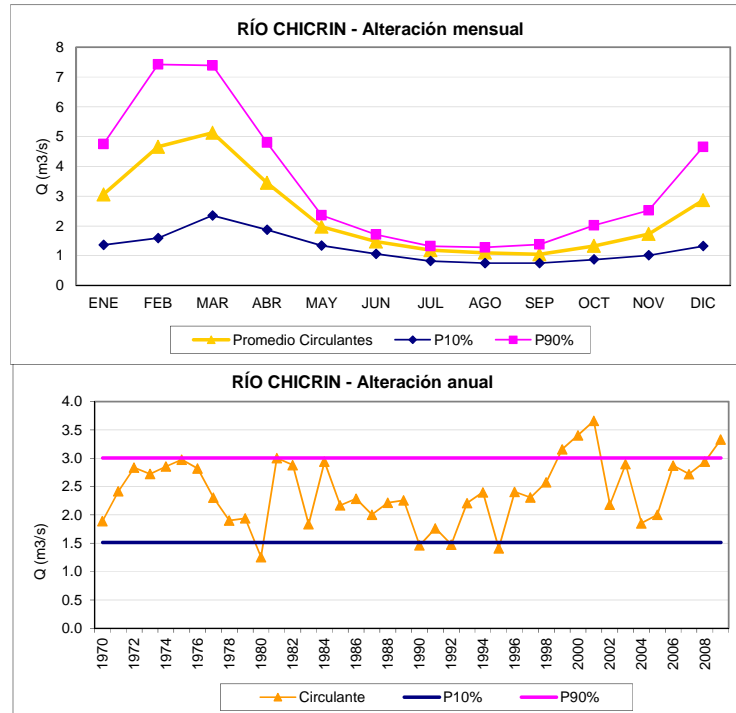


Ilustración 25. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del río Chicrín.

En base a los datos de caudales mensuales medios, se ha calculado el rango de caudales mínimo propuesto y el rango de caudales objetivo, mediante la metodología RVA.

		RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m ³ /s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m ³ /s)	
RÍO CHICRÍN	Est. seca	0.66	0.80	0.73	0.86
	Est. Húmeda	0.90	1.10	1.09	1.32

Tabla 5. Rangos de caudales mínimo propuesto y rango de caudales objetivo en el tramo del río Chicrín.

En la Ilustración 26 se puede apreciar dónde queda comprendido el rango de caudal mínimo y el rango de caudal objetivo de cada periodo en la curva de caudales clasificadas comentada previamente.

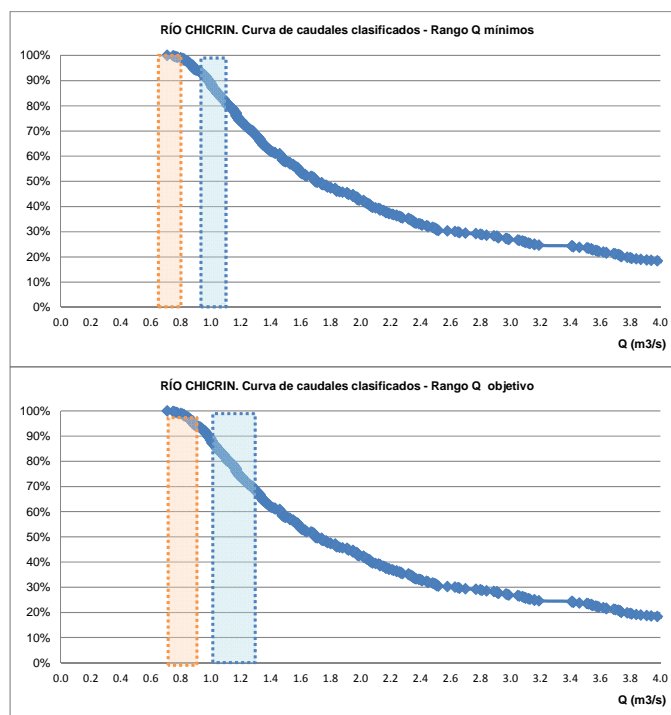


Ilustración 26. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo río Chicrín.

En la Ilustración 27 se recoge una ampliación de la serie de caudales, donde a su vez se ha representado el rango de caudales mínimos obtenido (rectángulo) y los mínimos circulantes (línea roja). En este caso se aprecia como los mínimos caudales circulantes quedan comprendidos dentro del rango establecido.

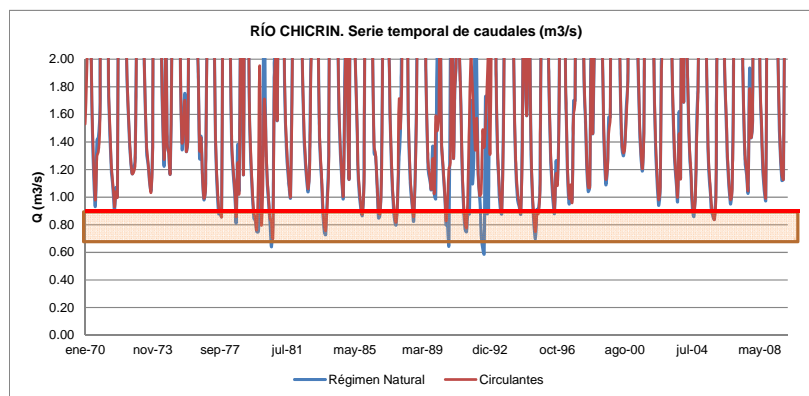


Ilustración 27. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo del río Chicrín. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.

7.3. TRAMO ALTO RÍO CHANCAY-HUARAL

Como datos de partida se han utilizado las series en régimen natural y en régimen circulante correspondientes a datos de caudal medios mensuales en el río Chancay-Huaral, justo aguas abajo de la confluencia con el río Chicrín.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural (Ilustración 28) se construye la curva de caudales clasificados (Ilustración 29), que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río. A simple vista no se aprecian diferencias significativas entre los caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante (Ilustración 28).

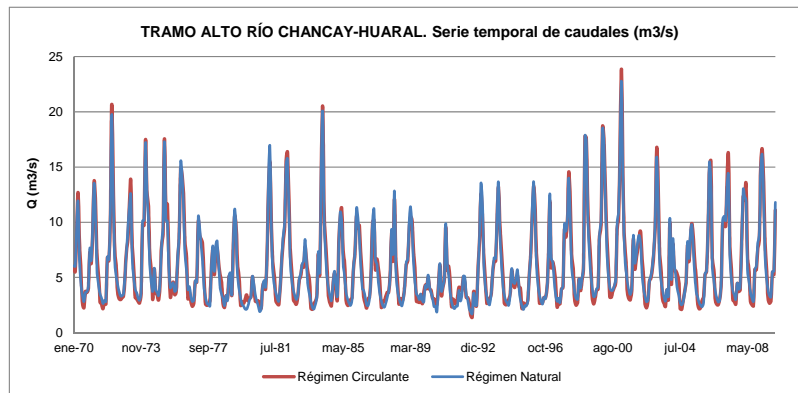


Ilustración 28. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo alto del río Chancay-Huaral.

Los años secos, aquellos cuya aportación resulta inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%, se discriminaron de la serie en régimen natural. Dichos años fueron: 1978, 1979, 1980, 1983, 1987, 1990, 1991, 1992, 1995 y 2004.

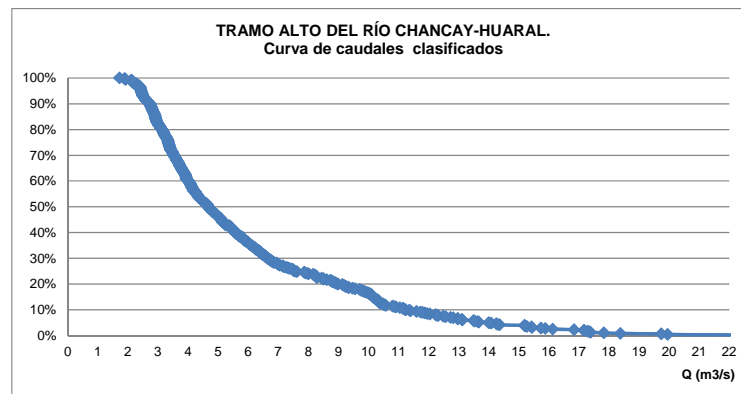


Ilustración 29. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo alto del río Chancay-Huaral.

En cuanto a la variación estacional (Ilustración 30) se han comparado los promedios mensuales de los caudales en régimen natural y régimen circulante del tramo alto del río Chancay-Huaral. En ambos casos se aprecia como los meses más secos se dan en agosto y septiembre y los más húmedos corresponden a los meses de febrero y marzo y abril.

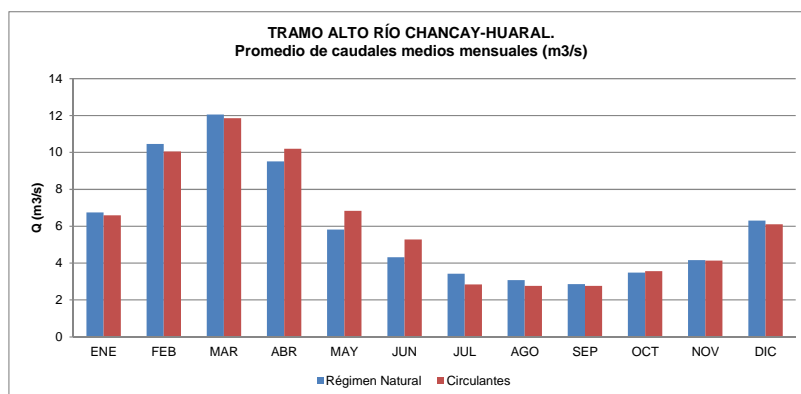


Ilustración 30. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de las series en régimen natural y régimen circulante en el tramo alto del río Chancay-Huaral.

Para el estudio de la alteración hidrológica del tramo de estudio, se compararon las series en régimen natural y circulante. Se estimaron aquellos parámetros relacionados con la magnitud, variabilidad y estacionalidad a nivel mensual y anual. En la Tabla 6 se recogen todos estos parámetros y se comprueba que el tramo no hay alteración mensual ni anual.

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m³/s)	Nº Meses que cumple	Nº Total Meses	% Cumplen	Clasificación
Enero	3.48	6.64	10.02	6.59	36	40	90%	No Alterado
Febrero	4.46	10.10	15.44	10.06	30	40	75%	
Marzo	5.22	11.60	17.29	11.86	30	40	75%	
Abril	5.19	10.17	12.73	10.20	27	40	68%	
Mayo	4.02	5.89	7.05	6.83	19	40	48%	
Junio	3.13	4.33	5.13	5.29	14	40	35%	
Julio	2.45	3.51	3.94	2.84	34	40	85%	
Agosto	2.29	3.10	3.82	2.77	33	40	83%	
Septiembre	2.16	2.78	3.47	2.77	35	40	88%	
Octubre	2.42	3.48	4.48	3.57	35	40	88%	
Noviembre	2.74	3.94	5.84	4.14	34	40	85%	
Diciembre	3.70	5.80	10.02	6.10	34	40	85%	
Total Mensual					361	480	75%	No Alterado

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m³/s)	Nº Años que cumple	Nº Total Años	% Cumplen	Clasificación
Anual	3.77	5.96	7.36	6.08	32	40	80%	No Alterado

Tabla 6. Parámetros indicadores de alteración hidrológica. Tramo alto del río Chancay-Huaral.

En la Ilustración 31, puede apreciarse como el promedio mensual de caudales circulantes durante todos los meses, queda comprendido entre los percentiles 90 y 10 de la serie en régimen natural. Además cabe destacar que la forma de la curva de los promedios mensuales circulantes se corresponde con la

que sigue el régimen natural. En cuanto al grado de alteración hidrológica a nivel anual puede apreciarse como no es relevante, ya que el 80% de los años, el caudal circulante queda comprendido entre el percentil 10 y 90 de los caudales medios anuales en régimen natural.

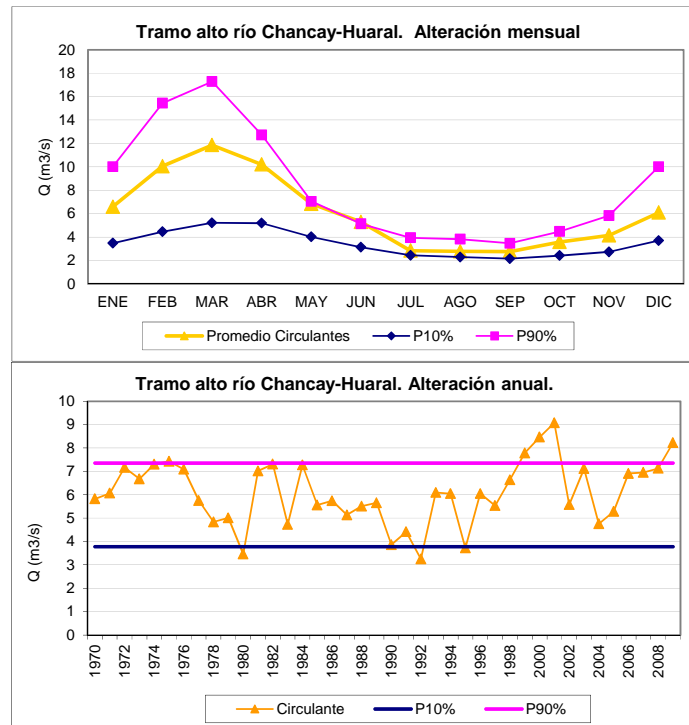


Ilustración 31. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del tramo alto del río Chancay-Huaral.

En base a los datos de caudales mensuales medios, se ha calculado el rango de caudales mínimo propuesto y el rango de caudales objetivo, mediante la metodología RVA.

TRAMO ALTO RÍO CHANCAY-HUARAL		RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m³/s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m³/s)		GRADO ALTERACIÓN
		Est. seca	Est. húmeda	Est. seca	Est. húmeda	
	Est. seca	1.90	2.30	2.20	2.50	No alterado
	Est. húmeda	2.50	2.90	2.90	3.50	

Tabla 7. Rangos de caudales mínimo propuesto y rango de caudales objetivo en el tramo alto del río Chancay-Huaral.

En la Ilustración 32 se puede apreciar dónde queda comprendido el rango de caudal mínimo y el rango de caudal objetivo de cada periodo en la curva de caudales clasificadas comentada previamente.

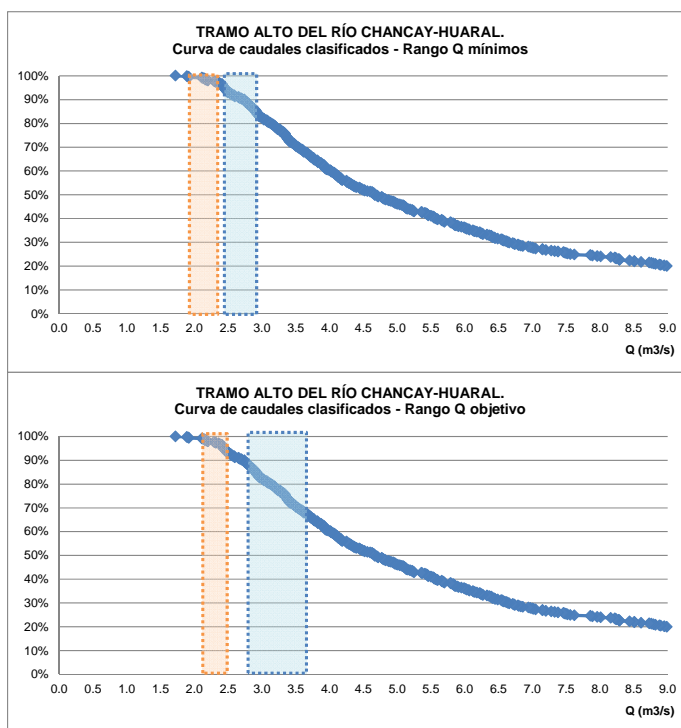


Ilustración 32. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo alto del río Chancay-Huaral.

En la Ilustración 53 se recoge una ampliación de la serie de caudales, donde a su vez se ha representado el rango de caudales mínimos obtenido (rectángulo) y los mínimos circulantes (línea roja). En este caso se aprecia como los mínimos caudales circulantes quedan comprendidos dentro del rango establecido.

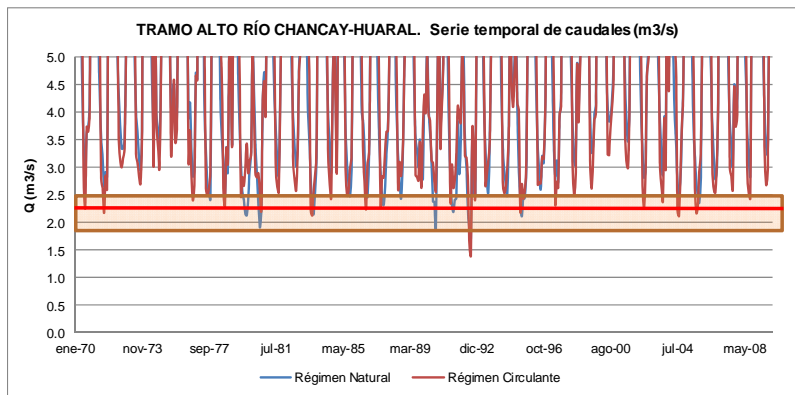


Ilustración 33. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo alto del río Chancay-Huaral. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.

7.4. RÍO BAÑOS – CABECERA.

Como datos de partida se han utilizado las series en régimen natural y en régimen circulante correspondientes a datos de caudal medios mensuales en el río Baños, aguas debajo de la central hidroeléctrica de Baños 3.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural (Ilustración 34) se construye la curva de caudales clasificados (Ilustración 35), que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río. Se aprecia una clara diferencia entre la serie en régimen natural y la serie circulante, siendo los caudales mínimos de esta última considerablemente inferiores a los modelados en régimen natural.

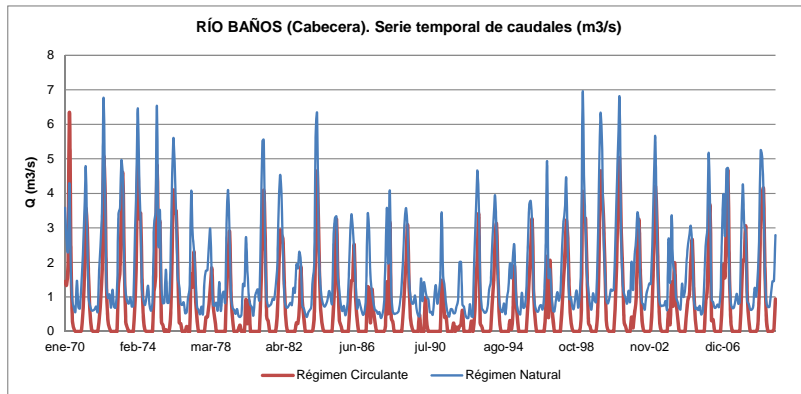


Ilustración 34. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo de cabecera del río Baños.

Para el establecimiento de un caudal ecológico en cada uno de los periodos estacionales (época húmeda y época seca), se identificaron en la serie en régimen natural, los años secos, es decir, aquellos cuya aportación resulta inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%. Dichos años fueron: 1978, 1979, 1980, 1983, 1987, 1990, 1991, 1992, 1995 y 2005.

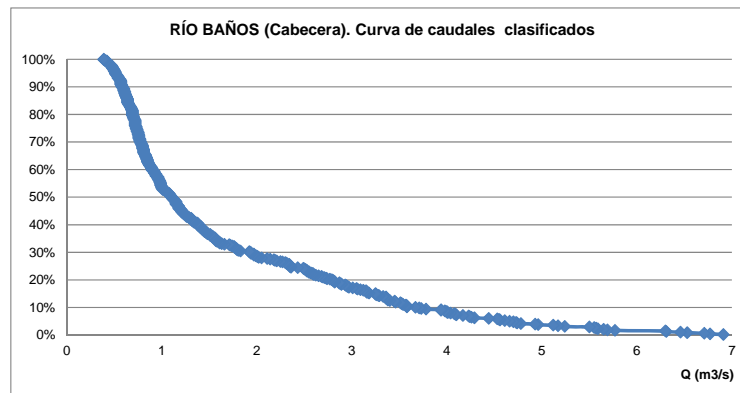


Ilustración 35. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo de cabecera del río Baños.

En cuanto a la variación estacional (Ilustración 36) se han comparado los promedios mensuales de los caudales en régimen natural y régimen circulante en esta zona alta del río Baños. Llama la atención como entre los meses julio y noviembre el caudal circulante medio es prácticamente nulo, mientras que

en régimen natural, los valores mensuales medios más bajos alcanzados durante estos mismos meses no son inferiores a 1 m³/s.

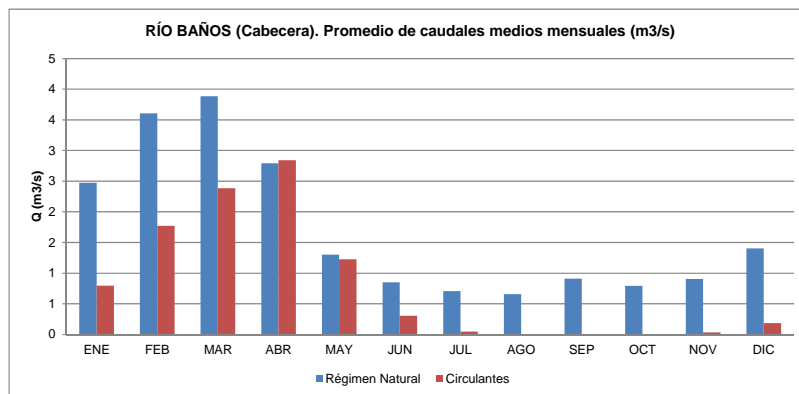


Ilustración 36. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de la serie régimen natural y circulante en la cabecera del río Baños.

Para el estudio del grado de alteración hidrológica del tramo indicado, se han comparado las series en régimen natural y circulante, y se han estimado aquellos parámetros relacionados con la magnitud, variabilidad y estacionalidad, tanto a nivel mensual como anual. En la Tabla 8 se recogen todos estos parámetros y se comprueba que en el tramo hay una clara alteración mensual y anual.

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m3/s)	Nº Meses que cumple	Nº Total Meses	% Cumplen	Clasificación
Enero	1.06	2.43	3.98	0.94	13	40	33%	
Febrero	1.54	3.38	5.59	1.92	20	40	50%	
Marzo	1.97	3.78	5.69	2.45	25	40	63%	
Abril	1.61	2.74	4.01	2.84	30	40	75%	
Mayo	0.80	1.25	1.63	1.23	21	40	53%	
Junio	0.66	0.80	1.08	0.33	0	40	0%	
Julio	0.54	0.69	0.83	0.08	0	40	0%	
Agosto	0.46	0.64	0.82	0.00	0	40	0%	
Septiembre	0.55	0.83	1.32	0.05	0	40	0%	
Octubre	0.48	0.73	1.18	0.04	0	40	0%	
Noviembre	0.48	0.80	1.34	0.23	0	40	0%	
Diciembre	0.54	1.21	2.55	0.39	6	40	15%	
Total Mensual					115	480	24%	Alterado

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m3/s)	Nº Años que cumple	Nº Total Años	% Cumplen	Clasificación
Anual	1.15	1.64	2.17	0.87	7	40	18%	Alterado

Tabla 8. Parámetros indicadores de alteración hidrológica. Tramo de cabecera del río Baños.

En la Ilustración 37 puede apreciarse como el promedio mensual de caudales circulantes en los meses comprendidos de junio a enero, quedan fuera del rango comprendido entre los percentiles 90 y 10 de la

serie en régimen natural. Sin embargo, la forma de la curva se corresponde con la que sigue el régimen natural. En cuanto al grado de alteración hidrológica a nivel anual puede apreciarse que también es relevante ya que únicamente el 18% de los años de toda la serie considerada, tuvieron un caudal medio anual circulante comprendido entre el percentil 10 y 90 de los caudales medios anuales en régimen natural. Puede afirmarse que el tramo está hidrológicamente alterado.

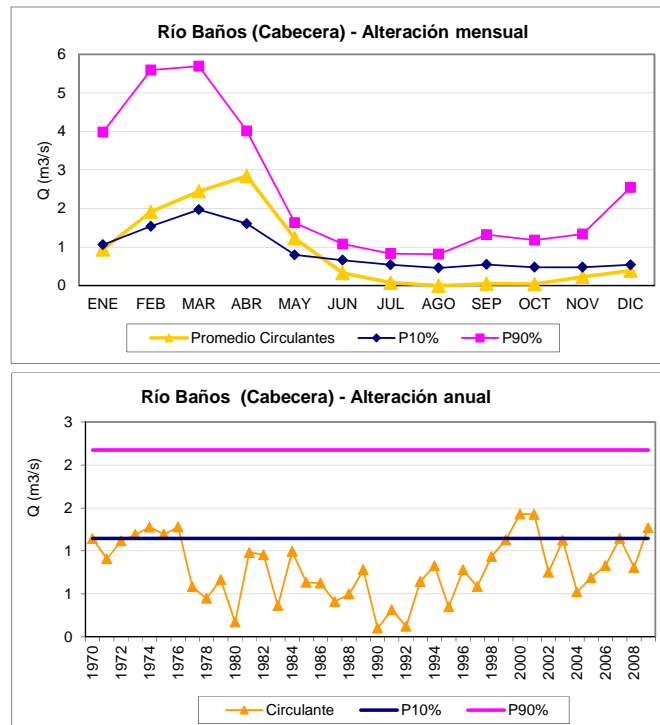


Ilustración 37. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del río de cabecera del río Baños.

En base a los datos de caudales mensuales medios, se ha calculado el rango de caudales mínimo propuesto y el rango de caudales objetivo, mediante la metodología RVA. Los resultados se muestran en la siguiente:

TRAMOS ESTUDIO	PERIODO	RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m ³ /s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m ³ /s)		GRADO ALTERACIÓN
RÍO BAÑOS - CABECERA	Est. seca	0.42	0.50	0.46	0.54	Alterado
	Est. Húmeda	0.48	0.58	0.54	0.76	

Tabla 9. Rangos de caudales mínimo propuesto y rango de caudales objetivo en el tramo de cabecera del río Baños.

En la Ilustración 38 se puede apreciar dónde queda comprendido el rango de caudal mínimo y el rango de caudal objetivo de cada periodo en la curva de caudales clasificadas comentada previamente.

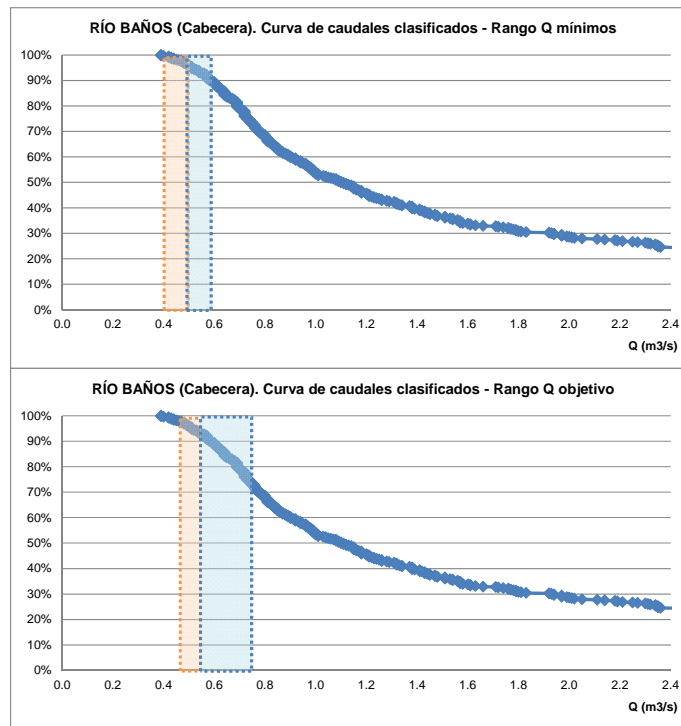


Ilustración 38. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Río Baños (Cabecera).

En la Ilustración 39 se recoge una ampliación de la serie de caudales, donde a su vez se ha representado el rango de caudales mínimos obtenido (rectángulo) y los mínimos circulantes (línea roja). En este caso se aprecia como los mínimos caudales circulantes se encuentran por debajo del rango establecido como una primera propuesta de caudales ecológicos.

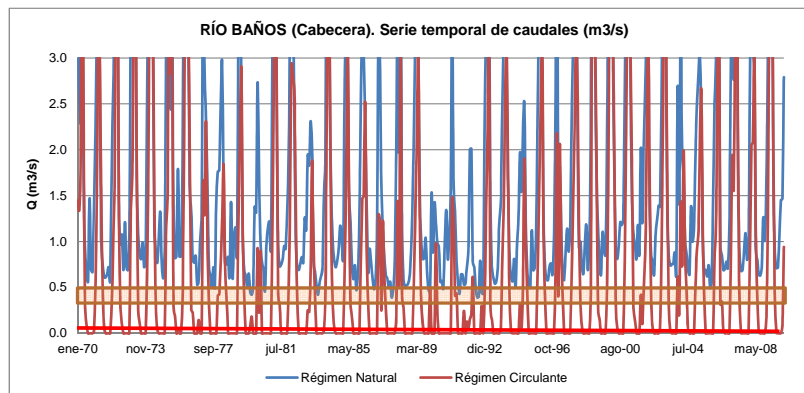


Ilustración 39. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo de cabecera del río Baños. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.

7.5. RÍO QUILES.

Como datos de partida se han utilizado las series en régimen natural y en régimen circulante correspondientes a datos de caudal medios mensuales en el tramo bajo del río Quiles, concretamente a la altura del tramo de derivación de la central hidroeléctrica ampliación de Baños 4, justo antes de la confluencia por la margen izquierda del río Baños.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural (Ilustración 40) se construye la curva de caudales clasificados (Ilustración 41), que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río. A simple vista no se aprecian diferencias significativas entre los caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante (Ilustración 40).

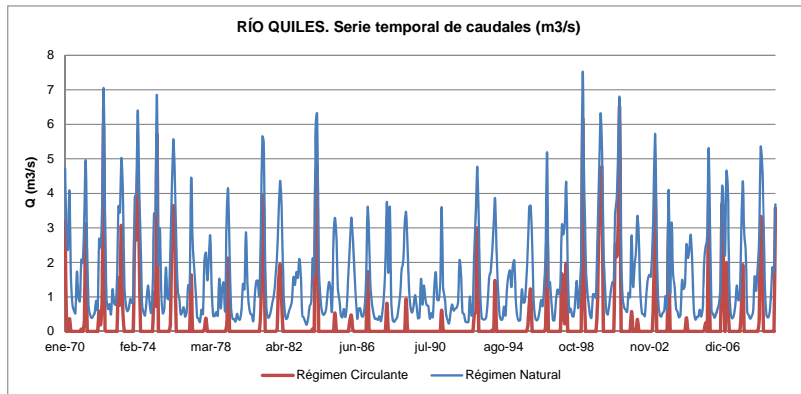


Ilustración 40. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el río Quiles.

Los años secos, aquellos cuya aportación resulta inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%, se discriminaron de la serie en régimen natural. Dichos años en el río Quiles fueron: 1978, 1979, 1980, 1983, 1987, 1990, 1991, 1992, 1995 y 2005.

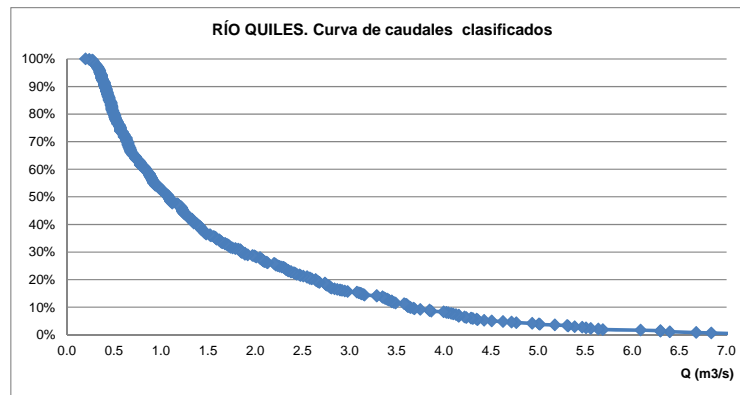


Ilustración 41. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el río Quiles.

En cuanto a la variación estacional (Ilustración 42) se han comparado los promedios mensuales de los caudales en régimen natural y régimen circulante del río Quiles, concretamente a la altura del tramo de derivación de la central hidroeléctrica ampliación Baños 4. Prácticamente, los caudales medios circulantes durante los meses comprendidos entre abril y noviembre son prácticamente nulos mientras que los caudales medios en régimen natural durante estos mismo meses, no son inferiores a $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$.

En ambos casos se aprecia como el mes más húmedo es marzo pero con una diferencia en torno a los 2 m³/s.

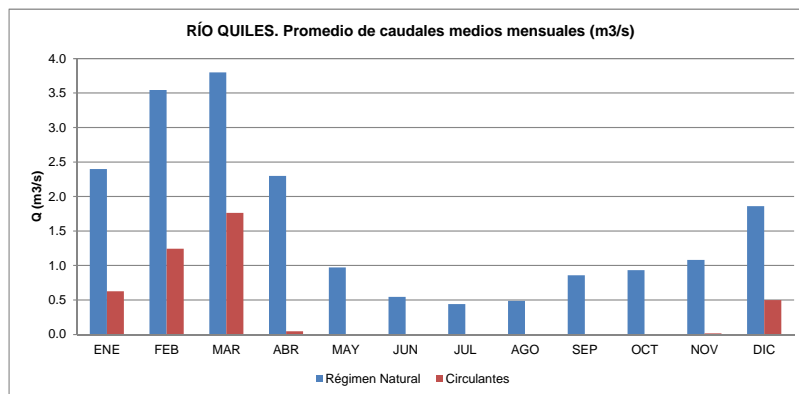


Ilustración 42. Variación mensual establecida a partir de los promedios de las series mensuales medias en régimen natural y circulante en el río Quiles.

Para el estudio de la alteración hidrológica del tramo indicado, se compararon las series en régimen natural y circulante. Se estimaron aquellos parámetros relacionados con la magnitud, variabilidad y estacionalidad a nivel mensual y anual. En la Tabla 10 se recogen todos estos parámetros y se comprueba que en el tramo del río Quiles existe una clara alteración hidrológica tanto a nivel mensual como anual.

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m3/s)	Nº Meses que cumple	Nº Total Meses	% Cumplen	Clasificación
Enero	0.91	2.32	3.85	1.14	10	40	25%	
Febrero	1.29	3.38	5.64	2.07	12	40	30%	
Marzo	1.64	3.64	5.69	2.71	15	40	38%	
Abril	1.25	2.22	3.37	0.38	0	40	0%	
Mayo	0.56	0.91	1.29	0.00	0	40	0%	
Junio	0.37	0.49	0.78	0.00	0	40	0%	
Julio	0.31	0.41	0.59	0.00	0	40	0%	
Agosto	0.28	0.46	0.67	0.00	0	40	0%	
Septiembre	0.42	0.71	1.33	0.00	0	40	0%	
Octubre	0.43	0.89	1.46	0.00	0	40	0%	
Noviembre	0.54	0.90	1.64	0.13	1	40	3%	
Diciembre	0.66	1.59	3.47	1.17	5	40	13%	
Total Mensual					43	480	9%	Alterado

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m3/s)	Nº Años que cumple	Nº Total Años	% Cumplen	Clasificación
Anual	1.02	1.55	2.18	0.63	2	40	5%	Alterado

Tabla 10. Parámetros indicadores de alteración hidrológica. Río Quiles.

En la Ilustración 43, puede apreciarse como el promedio mensual de caudales circulantes entre los meses de abril a noviembre, queda comprendido entre los percentiles 90 y 10 de la serie en régimen

natural. Además cabe destacar que la forma de la curva de los promedios mensuales circulantes se corresponde con la que sigue el régimen natural. En cuanto al grado de alteración hidrológica a nivel anual se aprecia que como prácticamente en la totalidad de los años de la serie considerada, el caudal promedio anual circulante queda comprendido entre el percentil 10 y 90 de los caudales promedios anuales en régimen natural.

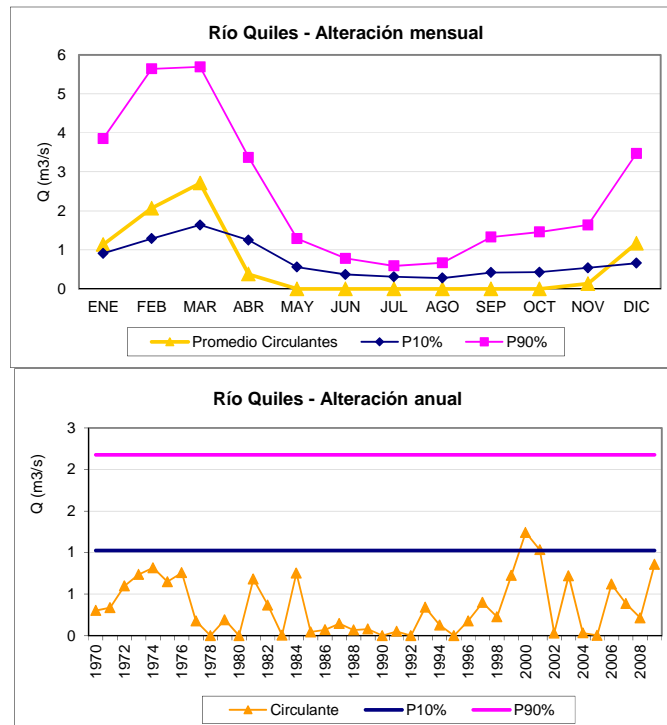


Ilustración 43. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del río Quiles.

En base a los datos de caudales mensuales medios, se ha calculado el rango de caudales mínimo propuesto y el rango de caudales objetivo, mediante la metodología RVA. En la tabla siguiente quedan recogidos los resultados:

TRAMOS ESTUDIO	PERIODO	RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m ³ /s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m ³ /s)		GRADO ALTERACIÓN
RÍO QUILES	Est. seca	0.28	0.32	0.29	0.36	Alterado
	Est. Húmeda	0.57	0.65	0.65	0.84	

Tabla 11. Rangos de caudales mínimo propuesto y rango de caudales objetivo en el río Quiles.

En la Ilustración 44 puede visualizarse dónde queda comprendido el rango de caudal mínimo y el rango de caudal objetivo de cada periodo, en la curva de caudales clasificados comentada previamente.

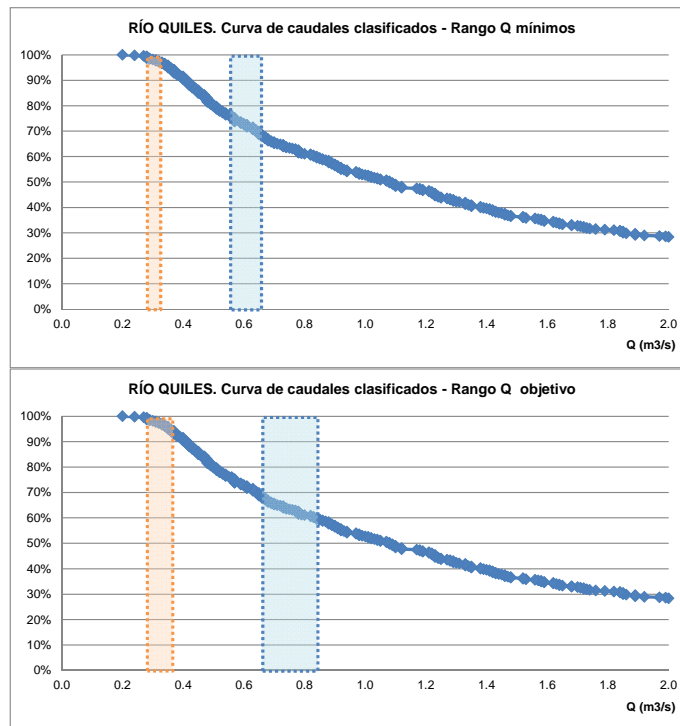


Ilustración 44. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Río Quiles.

En la Ilustración 45 se recoge una ampliación de la serie de caudales, donde a su vez se ha representado el rango de caudales mínimos obtenido (rectángulo) y los mínimos circulantes (línea roja). En este caso se aprecia como los mínimos caudales circulantes se encuentran por debajo del rango establecido como una primera propuesta de caudales ecológicos.

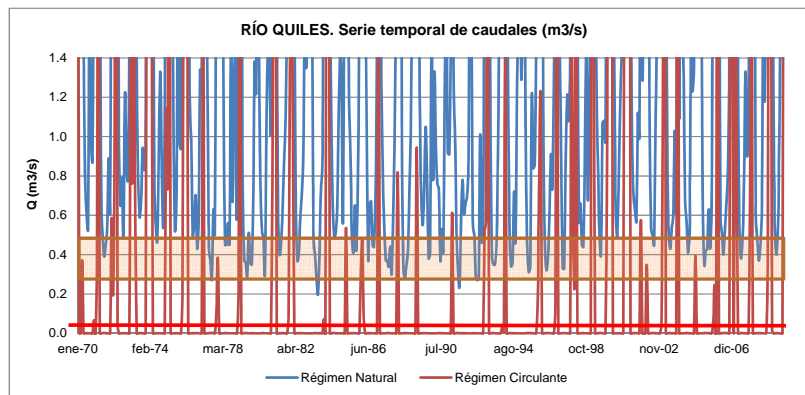


Ilustración 45. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del río Quiles. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.

7.6. TRAMO 4. RÍO BAÑOS (TRAMO BAJO)

Como datos de partida se han utilizado las series en régimen natural y en régimen circulante correspondientes a datos de caudal medios mensuales obtenidos mediante la simulación en el WEAP en la parte baja del río Baños.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural (Ilustración 46) se construye la curva de caudales clasificados (Ilustración 47), que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río.

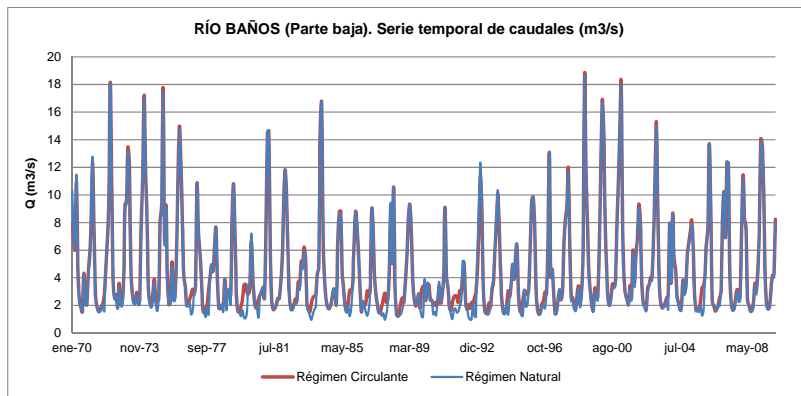


Ilustración 46. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en la parte baja del río Baños.

Los años secos, aquellos cuya aportación resulta inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%, se discriminaron de la serie en régimen natural. Dichos años fueron: 1978, 1979, 1980, 1983, 1987, 1990, 1991, 1992, 1995 y 2005.

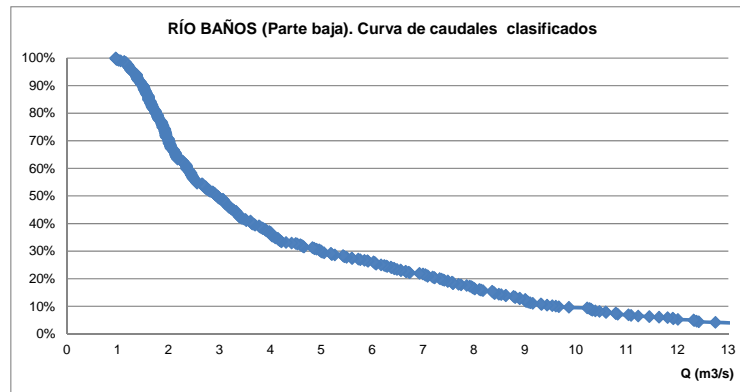


Ilustración 47. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en la parte baja del río Baños

En cuanto a la variación estacional (Ilustración 48) se han comparado los promedios mensuales de los caudales en régimen natural y régimen circulante del río Baños. En ambos casos se aprecia como los meses más secos se dan en julio y agosto y los más húmedos corresponden a los meses de febrero y marzo.

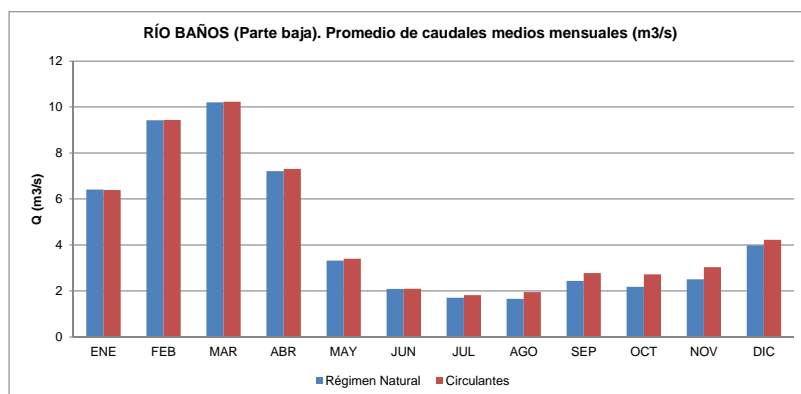


Ilustración 48. Variación mensual establecida a partir de los promedios de las series mensuales medias en régimen natural y circulante en la parte baja del río Baños.

Para el estudio de la alteración hidrológica del tramo de estudio, se compararon las series en régimen natural y circulante. Se estimaron aquellos parámetros relacionados con la magnitud, variabilidad y estacionalidad a nivel mensual y anual. En la Tabla 12 se recogen todos estos parámetros y se comprueba que en el tramo no hay alteración mensual ni anual.

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m ³ /s)	Nº Meses que cumple	Nº Total Meses	% Cumplen	Clasificación
Enero	2.73	6.24	10.31	6.39	34	40	85%	No Alterado
Febrero	3.91	8.81	14.71	9.44	30	40	75%	
Marzo	5.02	9.87	14.99	10.23	30	40	75%	
Abril	4.15	7.05	10.39	7.30	30	40	75%	
Mayo	1.97	3.19	4.19	3.40	29	40	73%	
Junio	1.57	1.95	2.73	2.10	30	40	75%	
Julio	1.29	1.67	2.04	1.82	31	40	78%	
Agosto	1.13	1.57	2.16	1.95	31	40	78%	
Septiembre	1.38	2.18	3.62	2.78	35	40	88%	
Octubre	1.25	2.10	3.23	2.72	33	40	83%	
Noviembre	1.34	2.24	3.69	3.04	35	40	88%	
Diciembre	1.54	3.36	7.33	4.22	35	40	88%	
Total Mensual					383	480	80%	No Alterado

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m ³ /s)	Nº Años que cumple	Nº Total Años	% Cumplen	Clasificación
Anual	2.95	4.33	5.79	4.62	30	40	75%	No Alterado

Tabla 12. Parámetros indicadores de alteración hidrológica. Tramo río Baños.

En la Ilustración 49, puede apreciarse como el promedio mensual de caudales circulantes durante todos los meses, queda comprendido entre los percentiles 90 y 10 de la serie en régimen natural. Además cabe destacar que la forma de la curva de los promedios mensuales circulantes se corresponde con la que sigue el régimen natural. En cuanto al grado de alteración hidrológica a nivel anual puede apreciarse

como no es relevante, ya que el 75% de los años, el caudal circulante queda comprendido entre el percentil 10 y 90 de los caudales medios anuales en régimen natural.

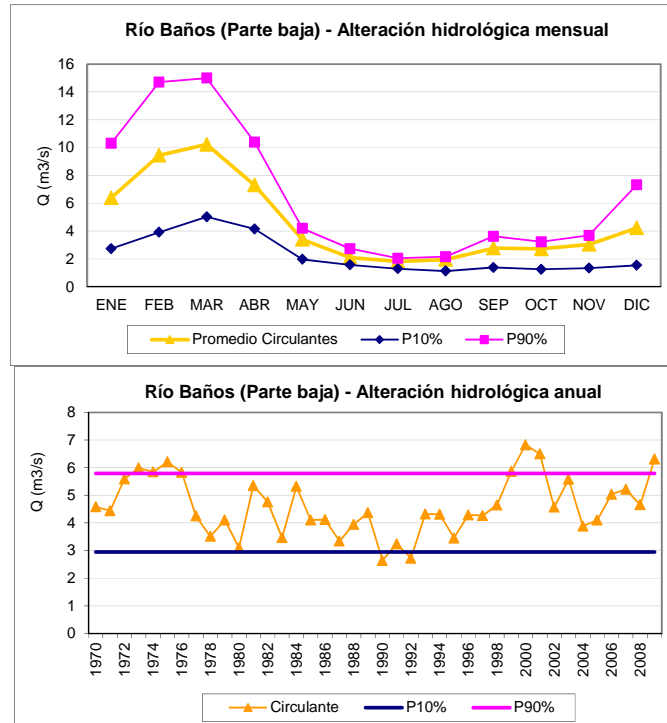


Ilustración 49. Alteración hidrológica a nivel mensual y anual en la parte baja del río Baños.

En base a los datos de caudales mensuales medios, se ha calculado el rango de caudales mínimo propuesto y el rango de caudales objetivo, mediante la metodología RVA.

RÍO BAÑOS- (Parte baja)		RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m³/s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m³/s)		GRADO ALTERACIÓN
		Est. seca	Est. húmeda	Est. seca	Est. húmeda	
	Est. seca	0.99	1.23	1.13	1.37	No alterado
	Est. húmeda	1.33	1.60	1.54	2.10	

Tabla 13. Rangos de caudales mínimo propuesto y rango de caudales objetivo en el tramo del río Baños.

En la Ilustración 50 se puede apreciar dónde queda comprendido el rango de caudal mínimo y el rango de caudal objetivo de cada periodo en la curva de caudales clasificadas comentada previamente.

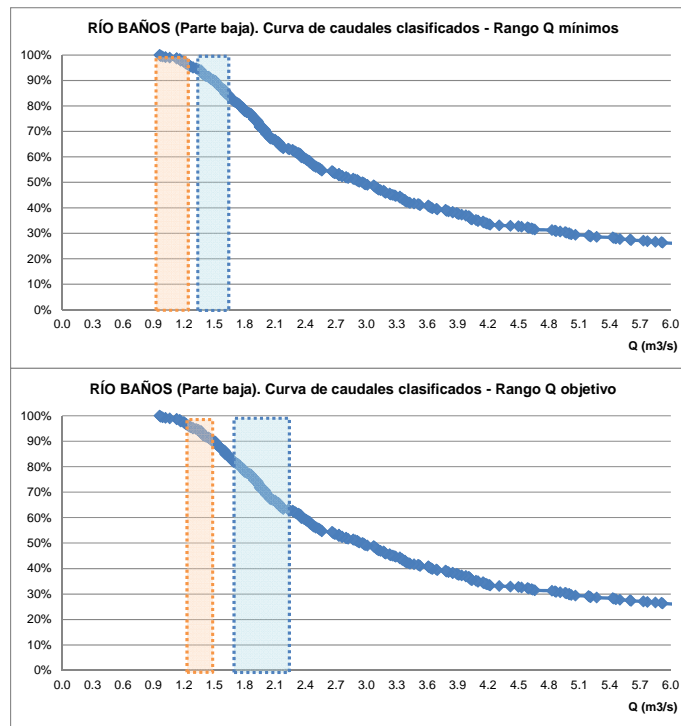


Ilustración 50. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo (azul) y seco (naranja). Río Baños (Parte baja).

En la Ilustración 51 se recoge una ampliación de la serie de caudales, donde a su vez se ha representado el rango de caudales mínimos obtenido (rectángulo) y los mínimos circulantes (línea roja). En este caso se aprecia como los mínimos caudales circulantes son ligeramente superiores al rango de caudales mínimos establecido. Se aprecia también como para la serie de 1970 a 2009, los mínimos en régimen natural son más extremos que en régimen circulante.

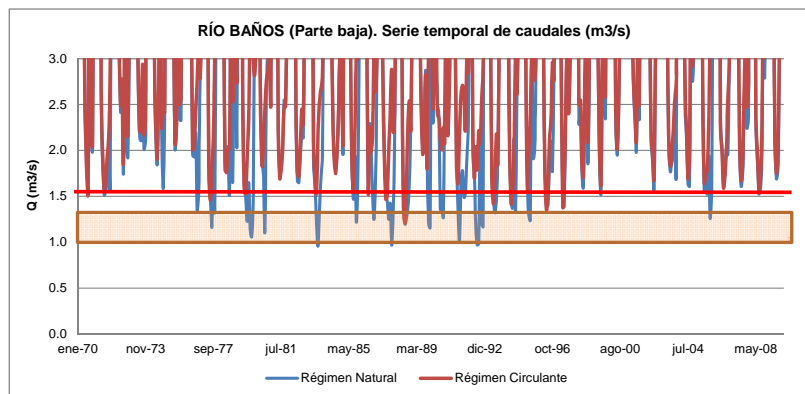


Ilustración 51. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del río Baños. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.

7.7. TRAMO MEDIO DEL RÍO CHANCAY-HUARAL-1 (ENTRE BAÑOS Y CARAC)

Como datos de partida se han utilizado las series en régimen natural y en régimen circulante correspondientes a datos de caudal medios mensuales en el tramo medio de río Chancay-Huaral, concretamente el tramo comprendido entre las subcuencas de Baños (margen izquierda) y Carac (margen derecha).

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural (Ilustración 52) se construye la curva de caudales clasificados (Ilustración 53), que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río. A simple vista no se aprecian diferencias significativas entre los caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante (Ilustración 52).

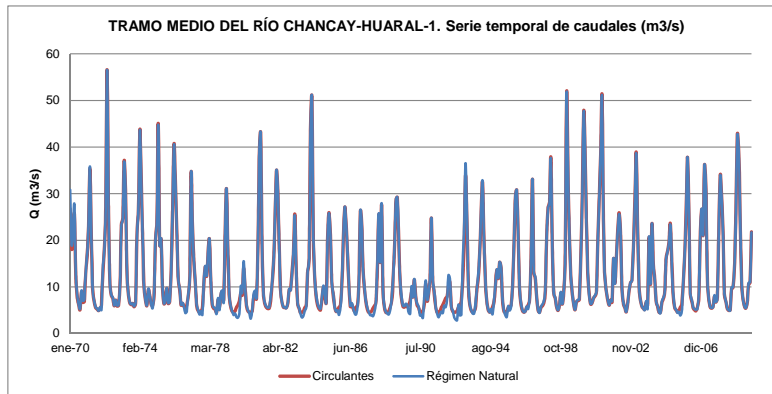


Ilustración 52. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo medio del río Chancay-Huaral-1.

Los años secos, aquellos cuya aportación resulta inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%, se discriminaron de la serie en régimen natural. Dichos años fueron: 1978, 1979, 1980, 1983, 1987, 1990, 1991, 1992, 1995 y 2004.

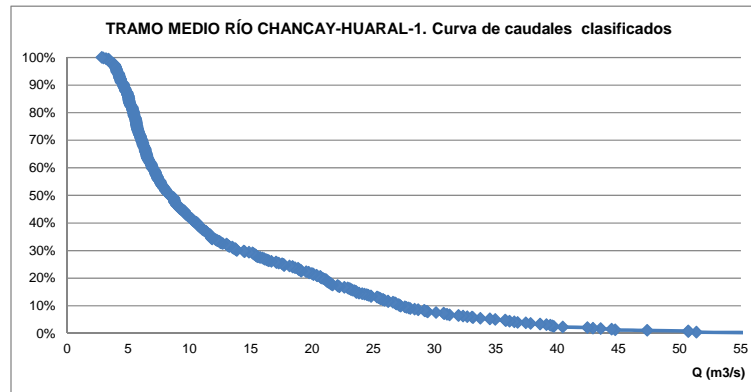


Ilustración 53. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo medio del río Chancay-Huaral-1.

En cuanto a la variación estacional (Ilustración 54) se han comparado los promedios mensuales de los caudales en régimen natural y régimen circulante del tramo medio-alto del río Chancay-Huaral. En ambos casos se aprecia como los meses más secos se dan entre julio y septiembre y los más húmedos corresponden a los meses de febrero y marzo.

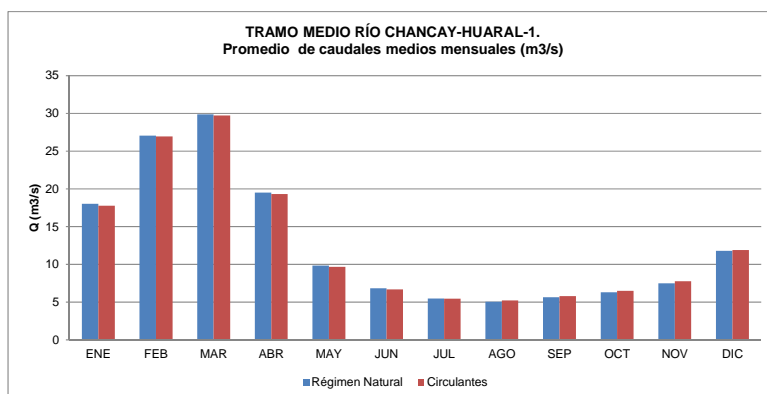


Ilustración 54. Variación mensual establecida a partir de los promedios de las series mensuales medias en régimen natural y circulante en el tramo medio del río Chancay-Huaral-1.

Para el estudio de la alteración hidrológica del tramo de estudio, se compararon las series en régimen natural y circulante. Se estimaron aquellos parámetros relacionados con la magnitud, variabilidad y estacionalidad a nivel mensual y anual. En la Tabla 14 se recogen todos estos parámetros y se comprueba que en el tramo no hay alteración mensual ni anual.

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m³/s)	Nº Meses que cumple	Nº Total Meses	% Cumplen	Clasificación
Enero	8.74	17.56	26.77	17.78	32	40	80%	No Alterado
Febrero	11.81	25.44	42.48	26.96	30	40	75%	
Marzo	13.59	30.74	42.93	29.72	32	40	80%	
Abril	11.05	20.00	27.19	19.31	33	40	83%	
Mayo	6.40	9.49	12.58	9.69	32	40	80%	
Junio	5.10	6.67	8.55	6.70	32	40	80%	
Julio	4.22	5.63	6.48	5.45	37	40	93%	
Agosto	3.50	5.02	6.28	5.23	36	40	90%	
Septiembre	3.97	5.34	7.59	5.81	36	40	90%	
Octubre	4.00	6.13	8.49	6.50	36	40	90%	
Noviembre	4.46	6.89	11.05	7.78	39	40	98%	
Diciembre	5.95	10.66	20.68	11.92	37	40	93%	
Total Mensual					412	480	86%	No Alterado

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m³/s)	Nº Años que cumple	Nº Total Años	% Cumplen	Clasificación
Anual	8.24	12.72	16.24	12.74	33	40	83%	No Alterado

Tabla 14. Parámetros indicadores de alteración hidrológica. Tramo medio del río Chancay-Huaral-1.

En la Ilustración 55, puede apreciarse como el promedio mensual de caudales circulantes durante todos los meses, queda comprendido entre los percentiles 90 y 10 de la serie en régimen natural. Además cabe destacar que la forma de la curva de los promedios mensuales circulantes se corresponde con la que sigue el régimen natural. En cuanto al grado de alteración hidrológico a nivel anual puede apreciarse

como no es relevante, ya que el 83% de los años, el caudal circulante queda comprendido entre el percentil 10 y 90 de los caudales medios anuales en régimen natural.

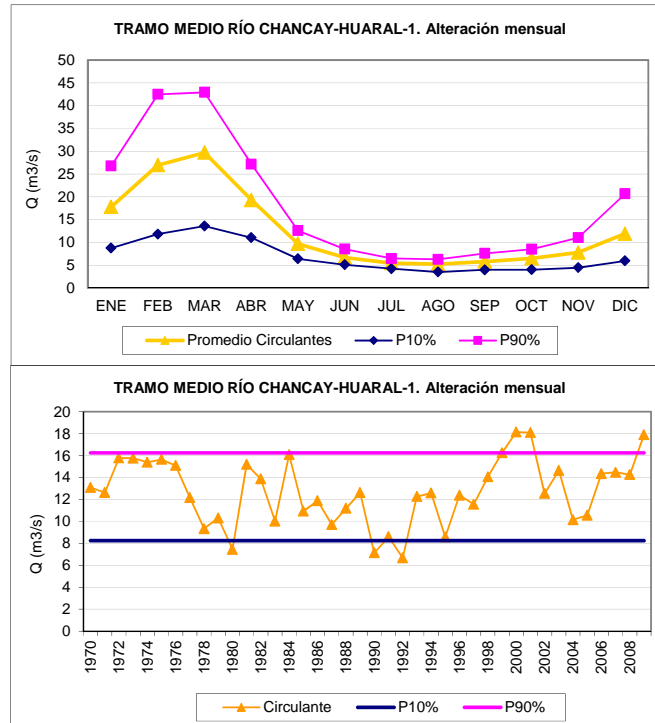


Ilustración 55. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del tramo medio del río Chancay-Huaral-1.

En base a los datos de caudales mensuales medios, se ha calculado el rango de caudales mínimo propuesto y el rango de caudales objetivo, mediante la metodología RVA.

		RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m³/s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m³/s)	
TRAMO MEDIO RÍO CHANCAY-HUARAL-1	Est. seca	3.37	3.89	3.50	4.15
	Est. Húmeda	4.25	5.29	5.57	6.65

Tabla 15. Rangos de caudales mínimo propuesto y rango de caudales objetivo en el tramo medio del río Chancay-Huaral-1.

En la Ilustración 56 se puede apreciar dónde queda comprendido el rango de caudal mínimo y el rango de caudal objetivo de cada periodo en la curva de caudales clasificadas comentada previamente.

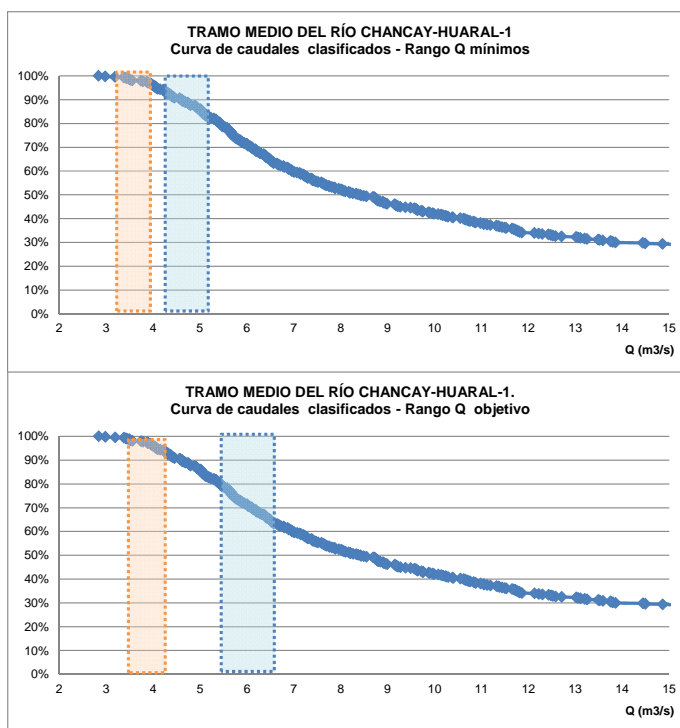


Ilustración 56. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo medio del río Chancay-Huaral-1.

En la Ilustración 65 se recoge una ampliación de la serie de caudales, donde a su vez se ha representado el rango de caudales mínimos obtenido (rectángulo) y los mínimos circulantes (línea roja). En este caso se aprecia como los mínimos caudales circulantes son ligeramente superiores al rango de caudales mínimos establecido. Se aprecia también como para la serie de 1970 a 2009, los mínimos en régimen natural son más extremos que en régimen circulante.

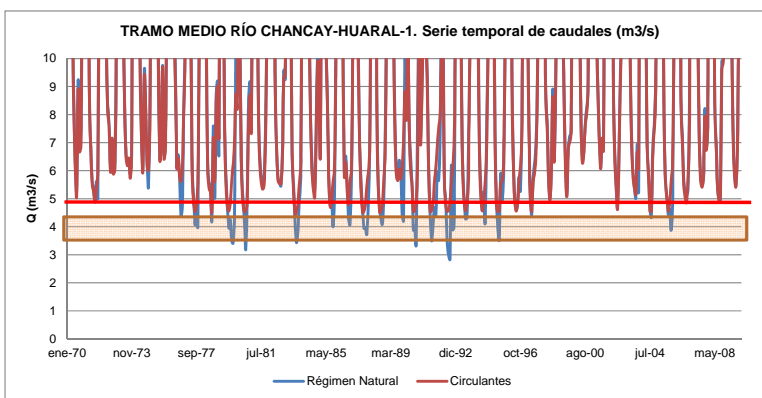


Ilustración 57. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo medio del río Chancay-Huaral-1. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.

7.8. RÍO CARAC

Como datos de partida se han utilizado las series en régimen natural y en régimen circulante correspondientes a datos de caudal medios mensuales en el río Carac, en su parte próxima a la confluencia con el río Chancay-Huaral.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural (Ilustración 58) se construye la curva de caudales clasificados (Ilustración 59), que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río. Se aprecia una clara diferencia entre la serie en régimen natural y la serie circulante, siendo los caudales mínimos de esta última considerablemente inferiores a los modelados en régimen natural.

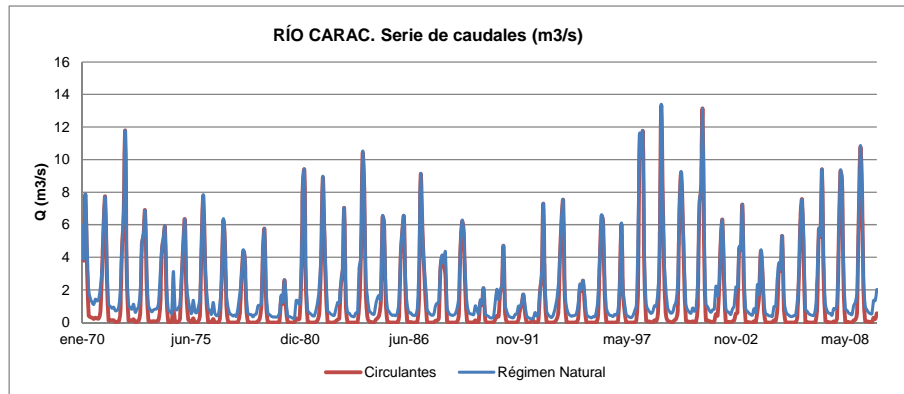


Ilustración 58. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en la parte baja del río Carac.

Para el establecimiento de un caudal ecológico en cada uno de los periodos estacionales (época húmeda y época seca), se identificaron en la serie en régimen natural, los años secos, es decir, aquellos cuya aportación resulta inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%. Dichos años fueron: 1978, 1979, 1980, 1990, 1991, 1992, 1995, 1997, 2004 y 2005.

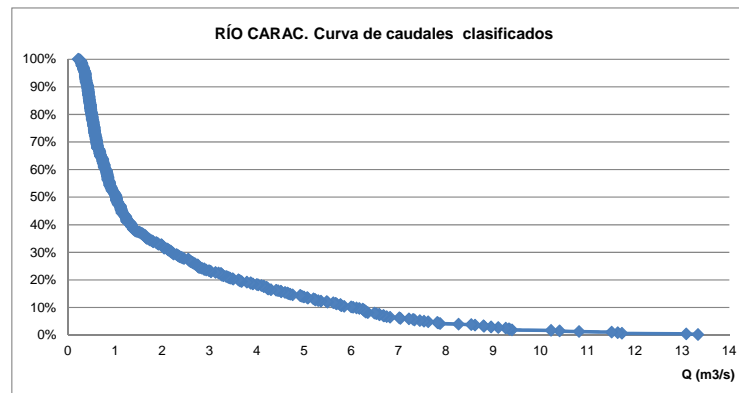


Ilustración 59. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el río Carac.

En cuanto a la variación estacional (Ilustración 60) se han comparado los promedios mensuales de los caudales en régimen natural y régimen circulante del río Carac. Llama la atención como entre los meses mayo y noviembre el caudal circulante medio es nulo, mientras que en régimen natural, los valores mensuales medios más bajos alcanzados durante estos mismos meses no son inferiores a $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

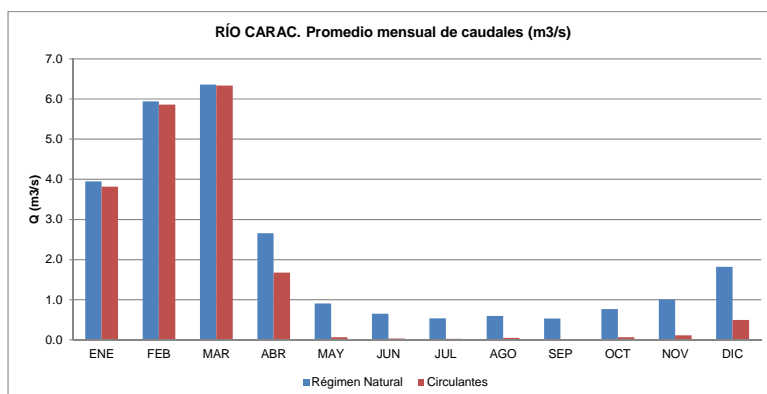


Ilustración 60. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de la serie régimen natural y circulante en el río Carác.

Para el estudio del grado de alteración hidrológica del tramo indicado, se han comparado las series en régimen natural y circulante, y se han estimado aquellos parámetros relacionados con la magnitud, variabilidad y estacionalidad, tanto a nivel mensual como anual. En la Tabla 16 se recogen todos estos parámetros y se comprueba que en el tramo hay una clara alteración mensual.

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m3/s)	Nº Meses que cumple	Nº Total Meses	% Cumplen	Clasificación
Enero	1.39	3.68	6.31	3.82	32	40	80%	
Febrero	2.04	5.77	9.34	5.86	32	40	80%	
Marzo	2.57	6.26	9.35	6.33	32	40	80%	
Abril	1.15	2.60	3.87	1.68	28	40	70%	
Mayo	0.48	0.87	1.15	0.11	0	40	0%	
Junio	0.38	0.61	0.89	0.07	0	40	0%	
Julio	0.33	0.52	0.68	0.06	0	40	0%	
Agosto	0.29	0.45	1.11	0.16	1	40	3%	
Septiembre	0.34	0.46	0.82	0.08	0	40	0%	
Octubre	0.42	0.77	1.13	0.11	0	40	0%	
Noviembre	0.47	0.92	1.43	0.16	2	40	5%	
Diciembre	0.74	1.66	2.80	0.49	7	40	18%	
Total Mensual					134	480	28%	Alterado

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m3/s)	Nº Años que cumple	Nº Total Años	% Cumplen	Clasificación
Anual	1.10	2.12	2.91	1.58	30	40	75%	No Alterado

Tabla 16. Parámetros indicadores de alteración hidrológica. Río Carác.

En la Ilustración 61, puede apreciarse como el promedio mensual de caudales circulantes en los meses comprendidos de mayo a diciembre, quedan fuera del rango comprendido entre los percentiles 90 y 10 de la serie en régimen natural. Sin embargo, la forma de la curva se corresponde con la que sigue el régimen natural. En cuanto al grado de alteración hidrológico a nivel anual puede apreciarse como no es

relevante, ya que el 75% de los años el caudal circulante queda comprendido entre el percentil 10 y 90 de los caudales medios anuales en régimen natural.

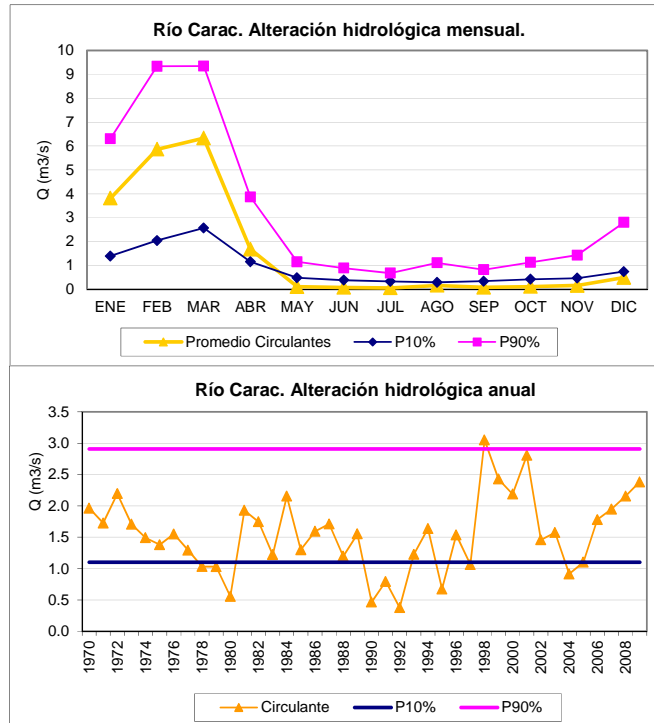


Ilustración 61. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del río Carac.

En base a los datos de caudales mensuales medios, se ha calculado el rango de caudales mínimo propuesto y el rango de caudales objetivo, mediante la metodología RVA. Los resultados se muestran en la siguiente:

Tramo 6: RÍO CARAC	Est. seca	RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m³/s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m³/s)		GRADO ALTERACIÓN
		0.28	0.31	0.29	0.37	
	Est. Húmeda	0.51	0.62	0.61	0.92	Alterado

Tabla 17. Rangos de caudales mínimo propuesto y rango de caudales objetivo en el tramo del río Carac.

En la Ilustración 62 se puede apreciar, dónde queda comprendido el rango de caudal mínimo y el rango de caudal objetivo de cada periodo en la curva de caudales clasificadas comentada previamente.

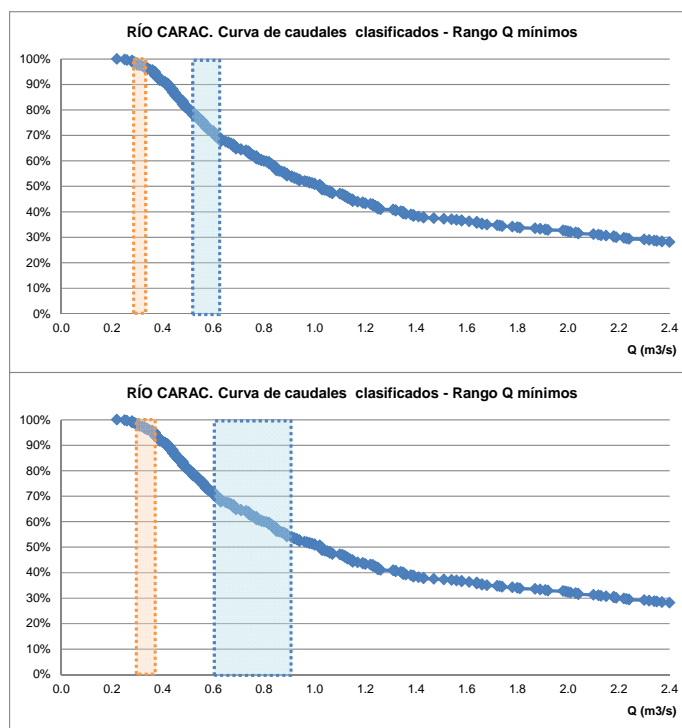


Ilustración 62. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Río Carác.

En la Ilustración 63 se recoge una ampliación de la serie de caudales, donde a su vez se ha representado el rango de caudales mínimos obtenido (rectángulo) y los mínimos circulantes (línea roja). En este caso se aprecia como los mínimos caudales circulantes se encuentran por debajo del rango establecido como una primera propuesta de caudales ecológicos.

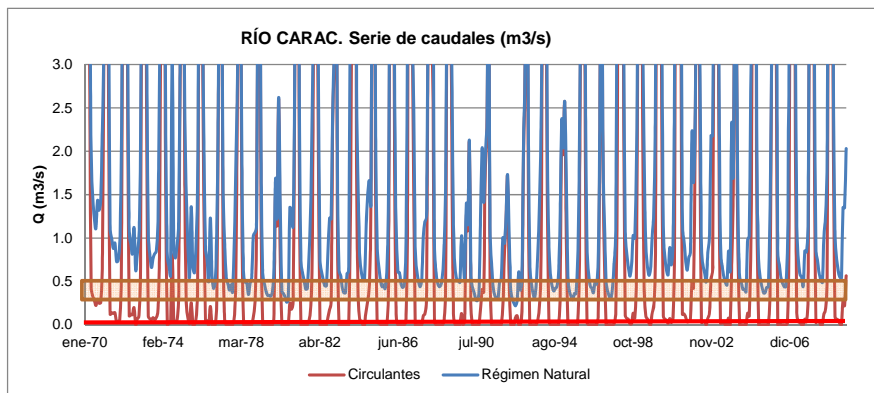


Ilustración 63. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del río Carac. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.

7.9. TRAMO MEDIO DEL RÍO CHANCAY-HUARAL-2. (ENTRE CARAC Y AÑASMAYO)

Como datos de partida se han utilizado las series en régimen natural y en régimen circulante correspondientes a datos de caudal medios mensuales en el tramo medio del río Chancay-Huaral, entre las confluencias al mismo de las subcuencas Carac por su margen derecha y Añasmayo por su margen izquierda.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural (Ilustración 64) se construye la curva de caudales clasificados (Ilustración 65), que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río. A simple vista no se aprecian diferencias significativas entre los caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante (Ilustración 64).

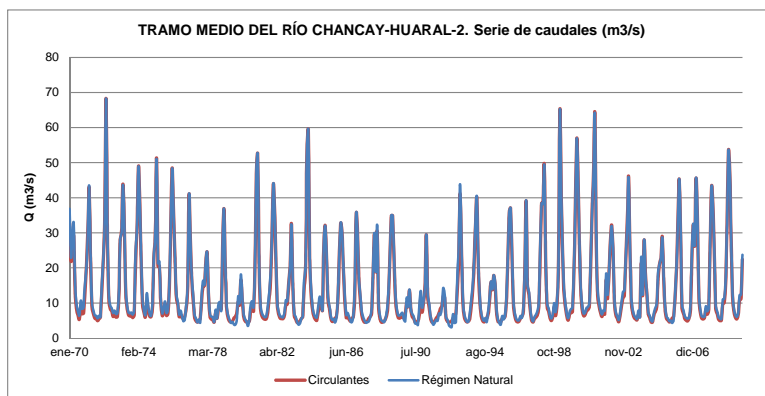


Ilustración 64. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo medio del río Chancay-Huaral-2.

Los años secos, aquellos cuya aportación resulta inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%, se discriminaron de la serie en régimen natural. Dichos años fueron: 1978, 1979, 1980, 1983, 1987, 1990, 1991, 1992, 1995 y 2004.

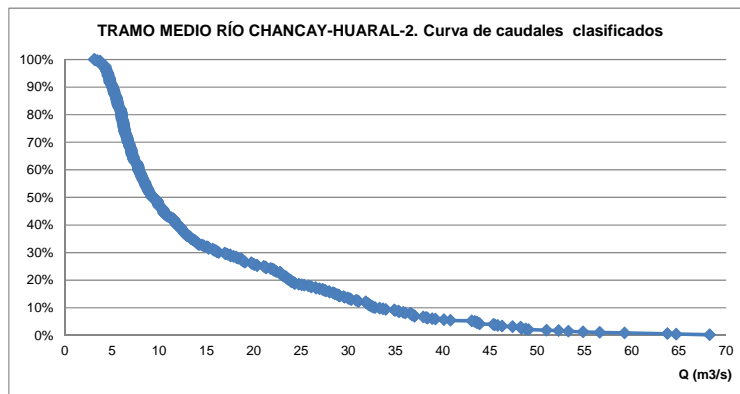


Ilustración 65. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo medio del río Chancay-Huaral-2.

En cuanto a la variación estacional (Ilustración 66) se han comparado los promedios mensuales de los caudales en régimen natural y régimen circulante del tramo medio del río Chancay-Huaral. En ambos casos se aprecia como los meses más secos se dan entre julio y agosto y los más húmedos corresponden a los meses de febrero y marzo.

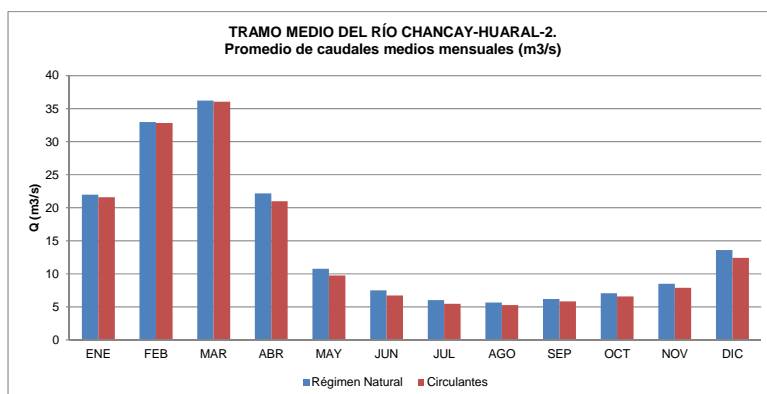


Ilustración 66. Variación mensual establecida a partir de los promedios de las series mensuales medias en régimen natural y circulante en el tramo medio del río Chancay-Huaral-2.

Para el estudio de la alteración hidrológica del tramo indicado, se compararon las series en régimen natural y circulante. Se estimaron aquellos parámetros relacionados con la magnitud, variabilidad y estacionalidad a nivel mensual y anual. En la Tabla 18 se recogen todos estos parámetros y se comprueba que en el tramo no hay alteración mensual ni anual.

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m³/s)	Nº Meses que cumple	Nº Total Meses	% Cumplen	Clasificación
Enero	10.73	21.23	35.31	21.60	31	40	78%	No Alterado
Febrero	13.90	30.82	48.79	32.82	31	40	78%	
Marzo	17.21	36.71	50.99	36.06	30	40	75%	
Abril	12.61	22.85	32.19	20.99	30	40	75%	
Mayo	6.83	10.26	13.86	9.75	33	40	83%	
Junio	5.49	7.28	9.54	6.73	30	40	75%	
Julio	4.65	6.19	7.12	5.48	28	40	70%	
Agosto	3.81	5.59	7.15	5.28	38	40	95%	
Septiembre	4.36	5.86	8.07	5.82	37	40	93%	
Octubre	4.42	6.97	9.83	6.57	39	40	98%	
Noviembre	5.07	7.77	12.40	7.89	39	40	98%	
Diciembre	6.95	11.93	23.11	12.41	39	40	98%	
Total Mensual					405	480	84%	

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m³/s)	Nº Años que cumple	Nº Total Años	% Cumplen	Clasificación
Anual	9.42	14.85	19.15	14.28	32	40	80%	No Alterado

Tabla 18. Parámetros indicadores de alteración hidrológica. Tramo medio del río Chancay-Huaral.

En la Ilustración 67, puede apreciarse como el promedio mensual de caudales circulantes durante todos los meses, queda comprendido entre los percentiles 90 y 10 de la serie en régimen natural. Además cabe destacar que la forma de la curva de los promedios mensuales circulantes se corresponde con la que sigue el régimen natural. En cuanto al grado de alteración hidrológico a nivel anual se aprecia que

no es relevante, ya que el 80% de los años, el caudal circulante queda comprendido entre el percentil 10 y 90 de los caudales medios anuales en régimen natural.

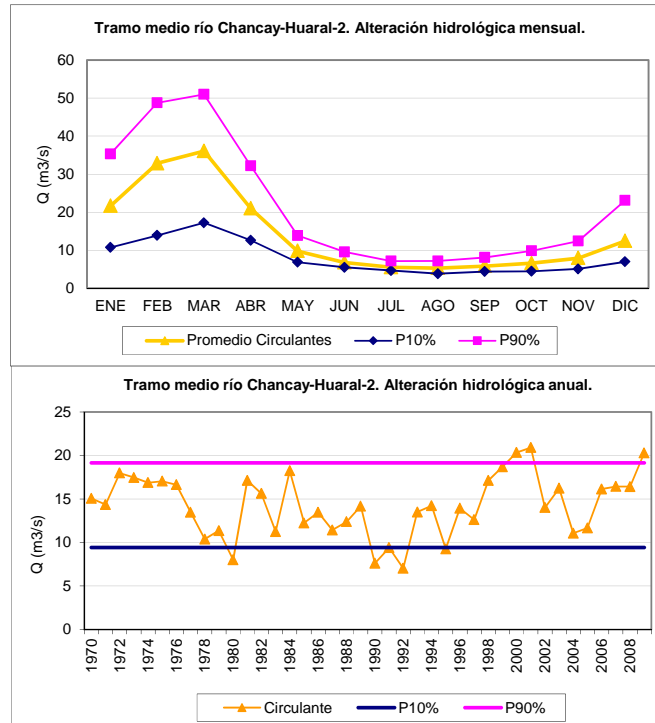


Ilustración 67. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del tramo medio del río Chancay-Huaral-2.

En base a los datos de caudales mensuales medios, se ha calculado el rango de caudales mínimo propuesto y el rango de caudales objetivo, mediante la metodología RVA. En la tabla siguiente quedan recogidos los resultados:

		RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m ³ /s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m ³ /s)	
		Est. seca	Est. Húmeda	Est. seca	Est. Húmeda
TRAMO MEDIO RÍO CHANCAY-HUARAL-2	Est. seca	3.73	4.30	3.81	4.59
	Est. Húmeda	4.86	5.99	6.23	7.75

Tabla 19. Rangos de caudales mínimo propuesto y rango de caudales objetivo en el tramo medio del río Chancay-Huaral-2.

En la Ilustración 68 puede visualizarse dónde queda comprendido el rango de caudal mínimo y el rango de caudal objetivo de cada periodo, en la curva de caudales clasificados comentada previamente.

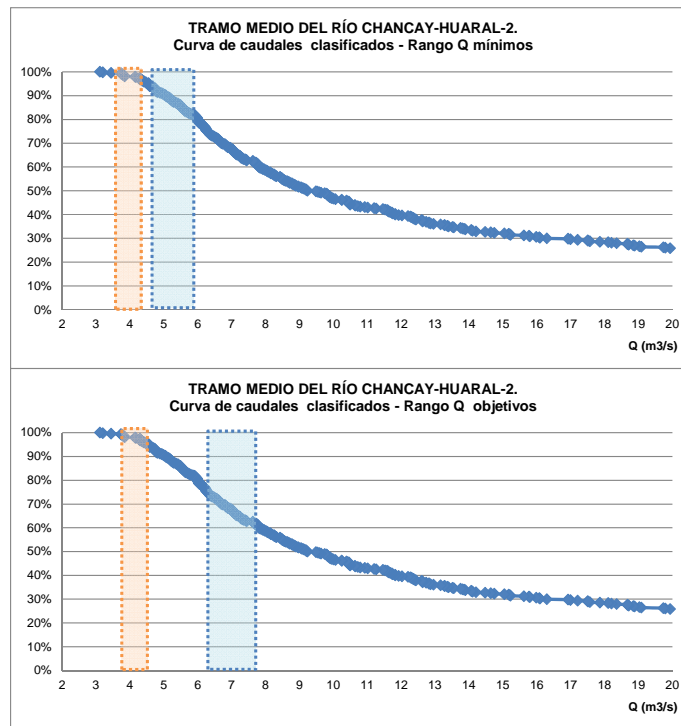


Ilustración 68. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo medio del río Chancay-Huaral-2.

En la Ilustración 69 se recoge una ampliación de la serie de caudales, donde a su vez se ha representado el rango de caudales mínimos obtenido (rectángulo) y los mínimos circulantes (línea roja). En este caso se aprecia como los mínimos caudales circulantes se encuentran por debajo del rango establecido como una primera propuesta de caudales ecológicos.

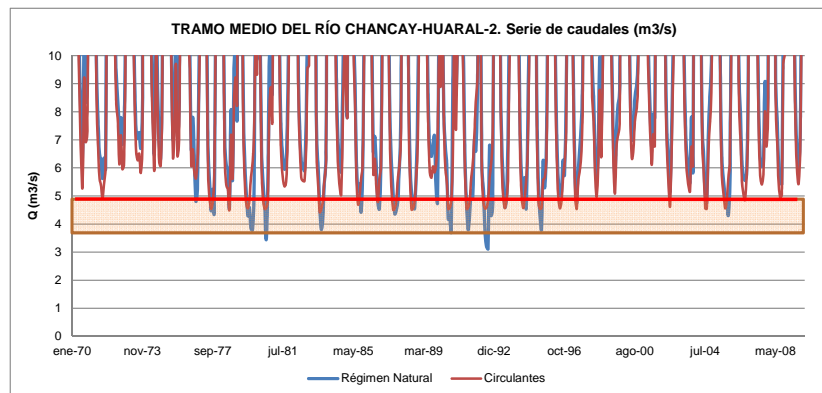


Ilustración 69. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo del medio del río Chancay-Huaral. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.

7.10. RÍO AÑASMAYO.

Como datos de partida se han utilizado las series en régimen natural y en régimen circulante correspondientes a datos de caudales medios mensuales en el río Añasmayo, en la parte baja, una vez satisfechas las demandas.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural (Ilustración 70) se construye la curva de caudales clasificados (Ilustración 71), que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río. Se aprecia una clara diferencia entre la serie en régimen natural y la serie circulante, siendo los caudales mínimos de esta última considerablemente inferiores a los modelados en régimen natural.

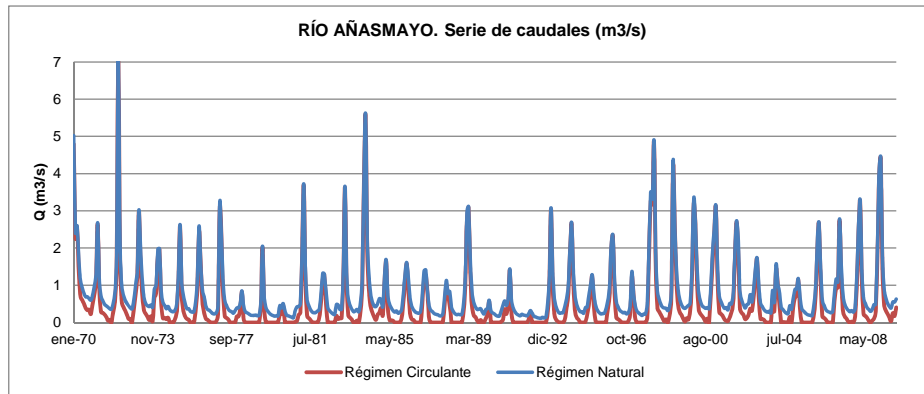


Ilustración 70. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el río Añasmayo.

Para el establecimiento de un caudal ecológico en cada uno de los periodos estacionales (época húmeda y época seca), se identificaron en la serie en régimen natural, los años secos, es decir, aquellos cuya aportación resulta inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%. Dichos años fueron: 1978, 1979, 1980, 1987, 1988, 1990, 1991, 1992, 1995 y 2005.

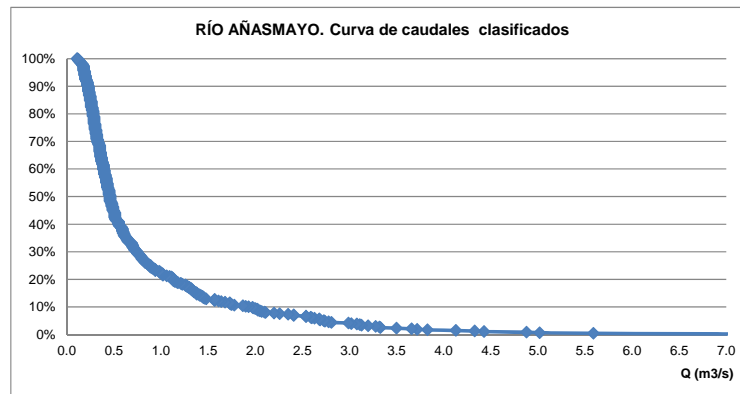


Ilustración 71. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo del río Añasmayo.

En cuanto a la variación estacional (Ilustración 72) se han comparado los promedios mensuales de los caudales en régimen natural y régimen circulante del río Añasmayo en su parte más baja, justo antes de su confluencia con el río Chancay-Huaral. Llama la atención como entre los meses agosto y noviembre el caudal circulante medio es menor de $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que en régimen natural, los valores mensuales medios más bajos alcanzados durante estos mismos meses no son inferiores a $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

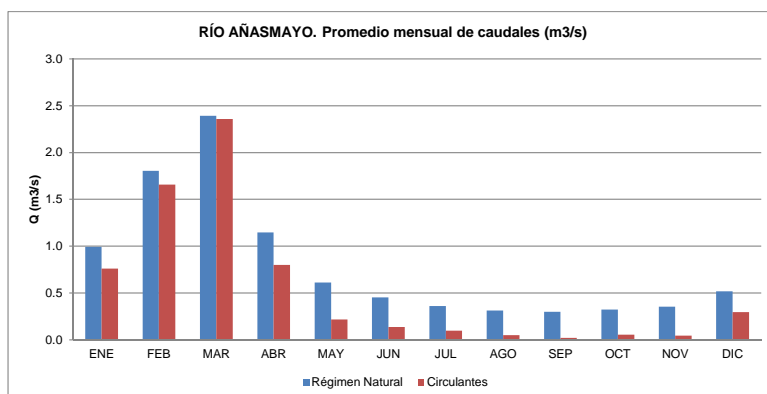


Ilustración 72. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de la serie régimen natural y circulante en el río Añasmayo.

Para el estudio del grado de alteración hidrológica del tramo mencionado, se han comparado las series en régimen natural y circulante, y se han estimado aquellos parámetros relacionados con la magnitud, variabilidad y estacionalidad del régimen natural, tanto a nivel mensual como anual. En la Tabla 20 se recogen todos estos parámetros y se comprueba que en el tramo hay una clara alteración mensual.

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m³/s)	Nº Meses que cumple	Nº Total Meses	% Cumplen	Clasificación
Enero	0.36	0.79	1.38	0.80	22	40	55%	
Febrero	0.52	1.41	3.32	1.66	31	40	78%	
Marzo	0.78	2.41	3.72	2.36	31	40	78%	
Abril	0.44	1.13	1.78	0.86	27	40	68%	
Mayo	0.29	0.60	0.89	0.31	13	40	33%	
Junio	0.26	0.45	0.65	0.20	8	40	20%	
Julio	0.22	0.35	0.51	0.14	5	40	13%	
Agosto	0.19	0.29	0.44	0.10	2	40	5%	
Septiembre	0.18	0.28	0.43	0.08	1	40	3%	
Octubre	0.19	0.30	0.48	0.11	4	40	10%	
Noviembre	0.19	0.32	0.51	0.13	3	40	8%	
Diciembre	0.19	0.49	0.79	0.33	24	40	60%	
Total Mensual					171	480	36%	Alterado

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m³/s)	Nº Años que cumple	Nº Total Años	% Cumplen	Clasificación
Anual	0.34	0.76	1.35	0.59	27	40	68%	No Alterado

Tabla 20. Parámetros indicadores de alteración hidrológica. Tramo río bajo del río Añasmayo.

En la Ilustración 73, puede apreciarse como el promedio mensual de caudales circulantes en los meses comprendidos de junio a noviembre, quedan fuera del rango comprendido entre los percentiles 90 y 10 de la serie en régimen natural. Sin embargo, la forma de la curva se corresponde con la que sigue el régimen natural. En cuanto al grado de alteración hidrológico a nivel anual puede apreciarse como no es

relevante, ya que el 68% de los años el caudal circulante queda comprendido entre el percentil 10 y 90 de los caudales medios anuales en régimen natural.

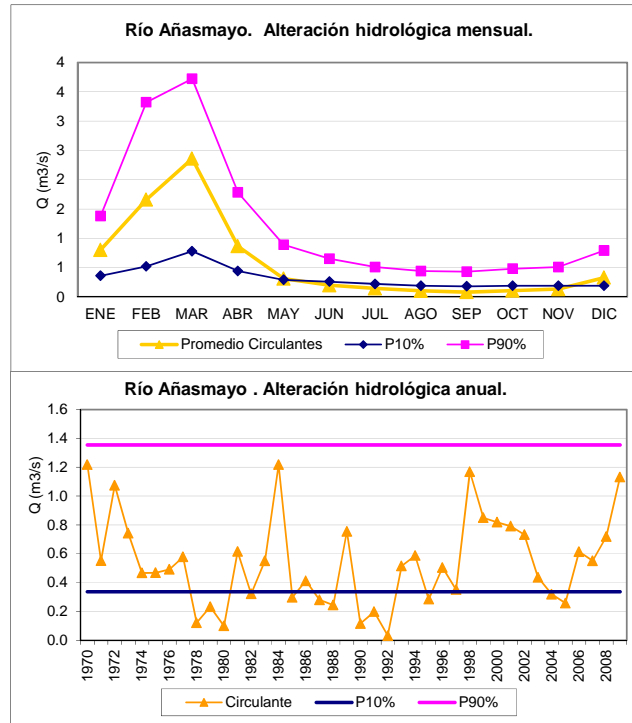


Ilustración 73. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del río Añasmayo.

En base a los datos de caudales mensuales medios, se ha calculado el rango de caudales mínimo propuesto y el rango de caudales objetivo, mediante la metodología RVA. Los resultados se muestran en la siguiente:

RÍO AÑASMAYO	Est. seca	RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m³/s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m³/s)		GRADO ALTERACIÓN
		0.13	0.18	0.15	0.20	
	Est. Húmeda	0.18	0.22	0.18	0.28	Alterado

Tabla 21. Rangos de caudales mínimo propuesto y rango de caudales objetivo en el tramo del río Añasmayo.

En la Ilustración 74 se puede apreciar dónde queda comprendido el rango de caudal mínimo y el rango de caudal objetivo de cada periodo, en la curva de caudales clasificados comentada previamente.

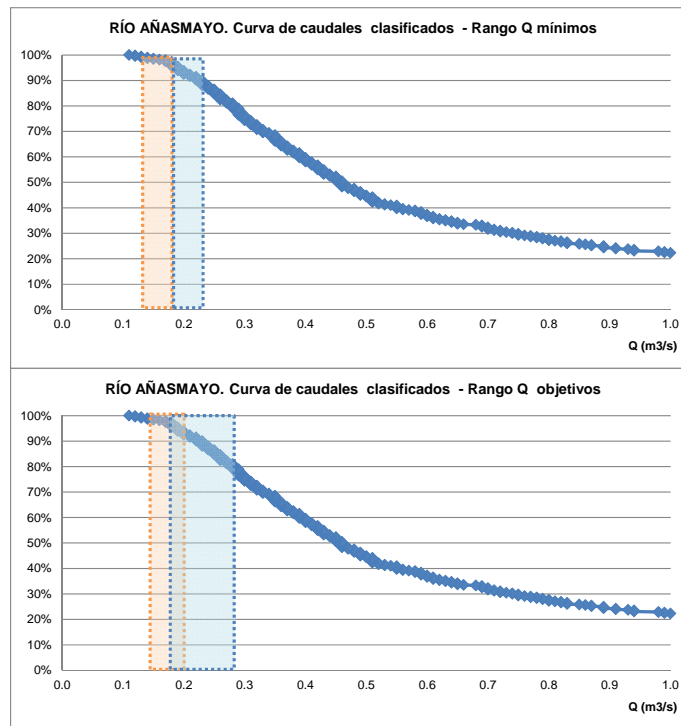


Ilustración 74. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Río Añasmayo.

En la Ilustración 75 se recoge una ampliación de la serie de caudales, donde a su vez se ha representado el rango de caudales mínimos obtenido (rectángulo) y los mínimos circulantes (línea roja). En este caso se aprecia como los mínimos caudales circulantes se encuentran por debajo del rango establecido como una primera propuesta de caudales ecológicos.

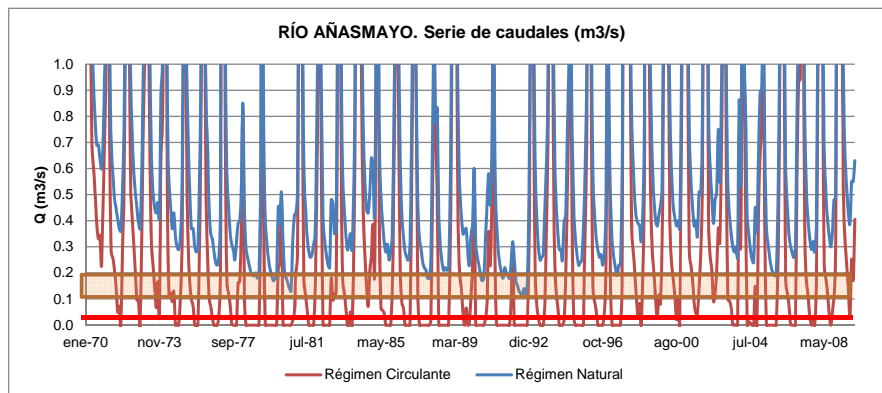


Ilustración 75. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo del río Añasmayo. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.

7.11. RÍO AGUASHUARCO.

Como datos de partida se han utilizado las series en régimen natural y en régimen circulante correspondientes a datos de caudales medios mensuales en el río Aguashuarco, en la subcuenca de Huataya.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural (Ilustración 76) se construye la curva de caudales clasificados (Ilustración 77), que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río. Se aprecia una diferencia entre la serie en régimen natural y la serie circulante, siendo los caudales mínimos de esta última inferiores a los modelados en régimen natural.

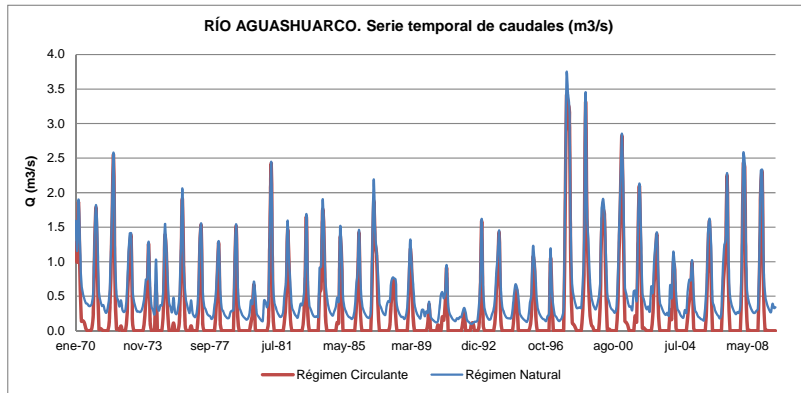


Ilustración 76. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el río Aguashuarco.

Para el establecimiento de un caudal ecológico en cada uno de los periodos estacionales (época húmeda y época seca), se identificaron en la serie en régimen natural, los años secos, es decir, aquellos cuya aportación resulta inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%. Dichos años fueron: 1978, 1980, 1988, 1990, 1991, 1992, 1993, 1995, 1996 y 2005.

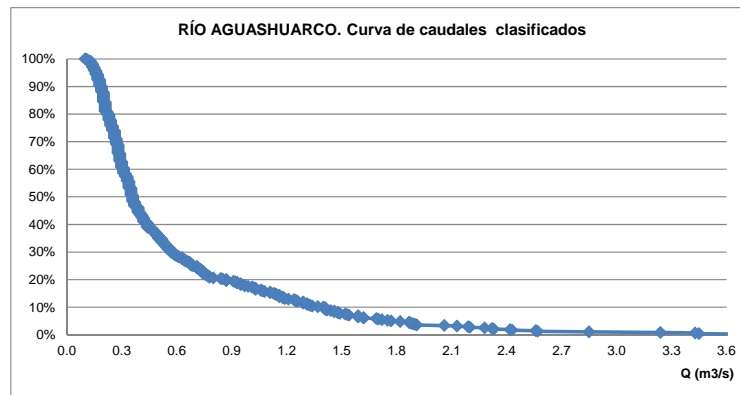


Ilustración 77. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo del río Aguashuarco.

En cuanto a la variación estacional (Ilustración 78) se han comparado los promedios mensuales de los caudales en régimen natural y régimen circulante del río Aguashuarco aguas abajo de las tomas existentes. Llama la atención como entre los meses de mayo y noviembre el caudal circulante medio es prácticamente nulo, mientras que en régimen natural, los valores mensuales medios más bajos alcanzados durante estos mismos meses no son inferiores a $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

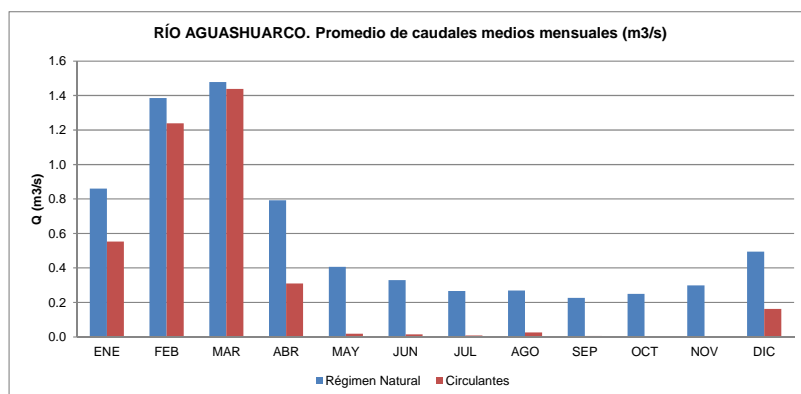


Ilustración 78. Variación mensual establecida a partir de los promedios mensuales de la serie régimen natural y circulante en el río Aguashuarco.

Para el estudio del grado de alteración hidrológica del tramo mencionado, se han comparado las series en régimen natural y circulante, y se han estimado aquellos parámetros relacionados con la magnitud, variabilidad y estacionalidad del régimen natural, tanto a nivel mensual como anual. En la Tabla 22 se recogen todos estos parámetros y se comprueba que en el tramo hay una clara alteración mensual y anual.

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m3/s)	Nº Meses que cumple	Nº Total Meses	% Cumplen	Clasificación
Enero	0.30	0.71	1.48	0.62	20	40	50%	
Febrero	0.57	1.32	2.20	1.24	32	40	80%	
Marzo	0.63	1.41	2.42	1.44	33	40	83%	
Abril	0.38	0.71	1.31	0.34	11	40	28%	
Mayo	0.25	0.39	0.55	0.09	1	40	3%	
Junio	0.21	0.31	0.45	0.06	0	40	0%	
Julio	0.17	0.25	0.36	0.04	0	40	0%	
Agosto	0.15	0.22	0.40	0.15	0	40	0%	
Septiembre	0.14	0.20	0.33	0.10	0	40	0%	
Octubre	0.16	0.26	0.36	0.00	0	40	0%	
Noviembre	0.17	0.29	0.43	0.00	0	40	0%	
Diciembre	0.21	0.41	0.68	0.25	8	40	20%	
Total Mensual					105	480	22%	Alterado

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m3/s)	Nº Años que cumple	Nº Total Años	% Cumplen	Clasificación
Anual	0.34	0.55	0.81	0.36	14	40	35%	Alterado

Tabla 22. Parámetros indicadores de alteración hidrológica. Tramo río bajo del río Aguashuarco.

En la Ilustración 79, puede apreciarse como el promedio mensual de caudales circulantes en los meses de abril a noviembre, quedan fuera del rango comprendido entre los percentiles 90 y 10 de la serie en régimen natural. Sin embargo, la forma de la curva se corresponde con la que sigue el régimen natural. En cuanto al grado de alteración hidrológico a nivel anual puede apreciarse como únicamente el 35% de

los años, el caudal anual medio en régimen circulante al circulante queda comprendido entre el percentil 10 y 90 de los caudales medios anuales en régimen natural.

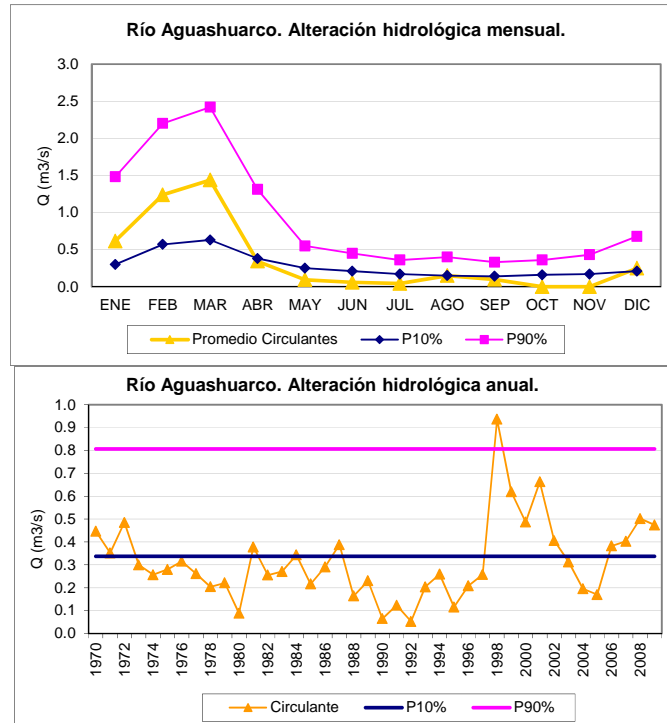


Ilustración 79. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del río Aguashuarco.

En base a los datos de caudales mensuales medios, se ha calculado el rango de caudales mínimo propuesto y el rango de caudales objetivo, mediante la metodología RVA. Los resultados se muestran en la siguiente:

TRAMOS ESTUDIO	PERIODO	RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m³/s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m³/s)		GRADO ALTERACIÓN
RÍO AGUASHUARCO	Est. seca	0.12	0.14	0.13	0.17	Alterado
	Est. Húmeda	0.15	0.20	0.20	0.26	

Tabla 23. Rangos de caudales mínimo propuesto y rango de caudales objetivo en el tramo del río Aguashuarco.

En la Ilustración 80 se puede apreciar dónde queda comprendido el rango de caudal mínimo y el rango de caudal objetivo de cada periodo, en la curva de caudales clasificados comentada previamente.

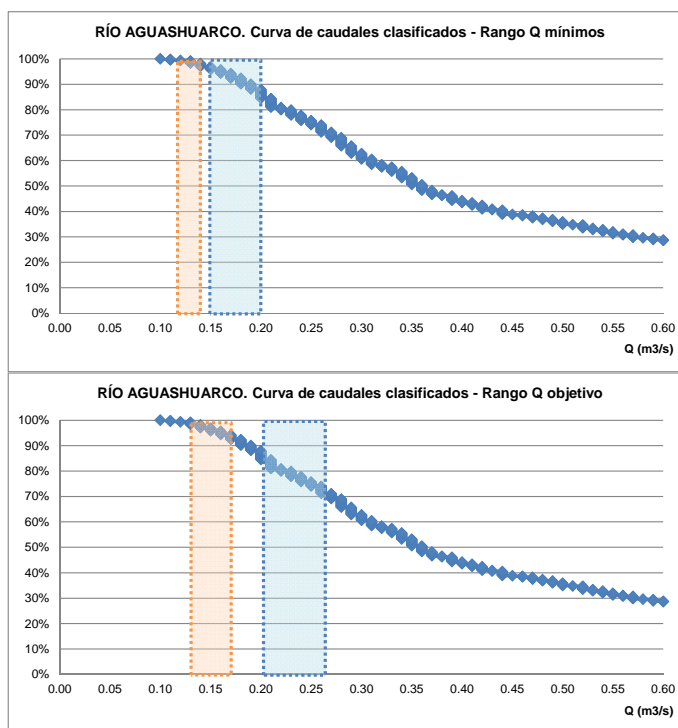


Ilustración 80. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Río Aguashuarco.

En la Ilustración 81 se recoge una ampliación de la serie de caudales, donde a su vez se ha representado el rango de caudales mínimos obtenido (rectángulo) y los mínimos circulantes (línea roja). En este caso se aprecia como los mínimos caudales circulantes se encuentran por debajo del rango establecido como una primera propuesta de caudales ecológicos.

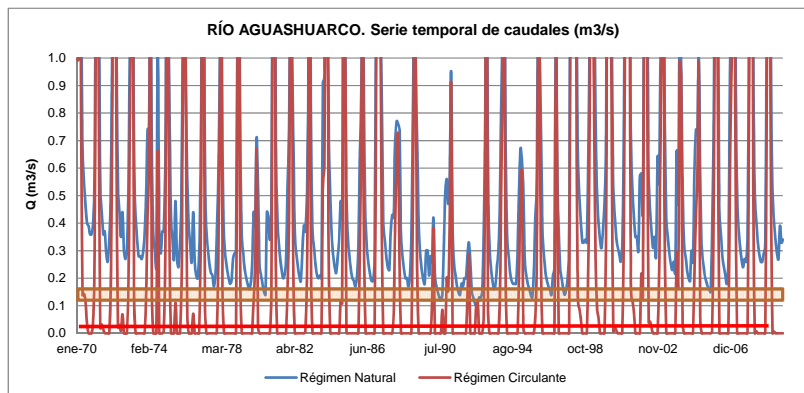


Ilustración 81. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del río Aguashuarco. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.

7.12. TRAMO MEDIO-BAJO DEL RÍO CHANCAY-HUARAL.

Como datos de partida se han utilizado las series en régimen natural y en régimen circulante correspondientes a datos de caudal medios mensuales en el tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral, aguas abajo de la confluencia con la subcuenca Huataya por su margen derecha.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural (Ilustración 82) se construye la curva de caudales clasificados (Ilustración 83), que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río. A simple vista no se aprecian diferencias significativas entre los caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante (Ilustración 82).

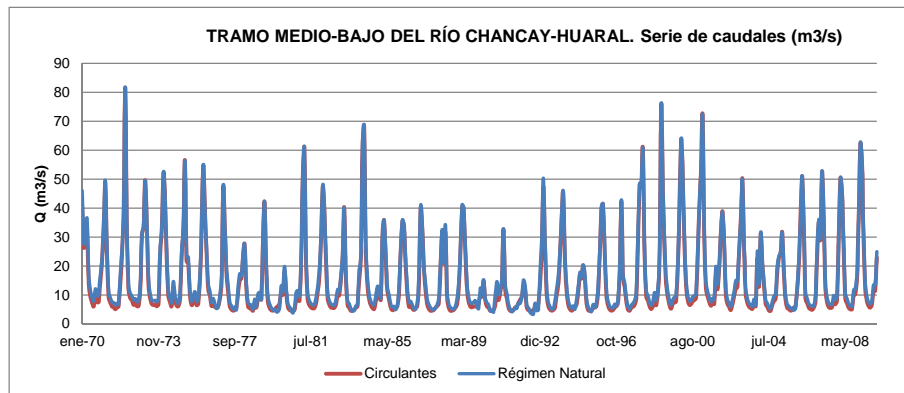


Ilustración 82. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral.

Los años secos, aquellos cuya aportación resulta inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%, se discriminaron de la serie en régimen natural. Dichos años fueron: 1978, 1979, 1980, 1987, 1990, 1991, 1992, 1995, 2004 y 2005

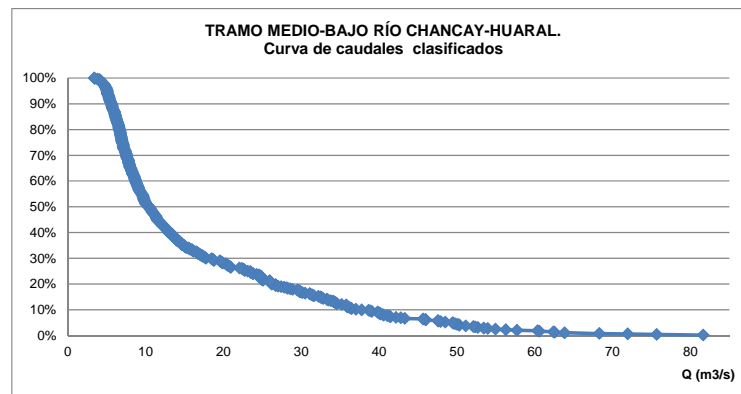


Ilustración 83. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral.

En cuanto a la variación estacional (Ilustración 84) se han comparado los promedios mensuales de los caudales en régimen natural y régimen circulante del tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral. En ambos casos se aprecia como los meses más secos se dan entre julio y septiembre y los más húmedos corresponden a los meses de febrero y marzo.

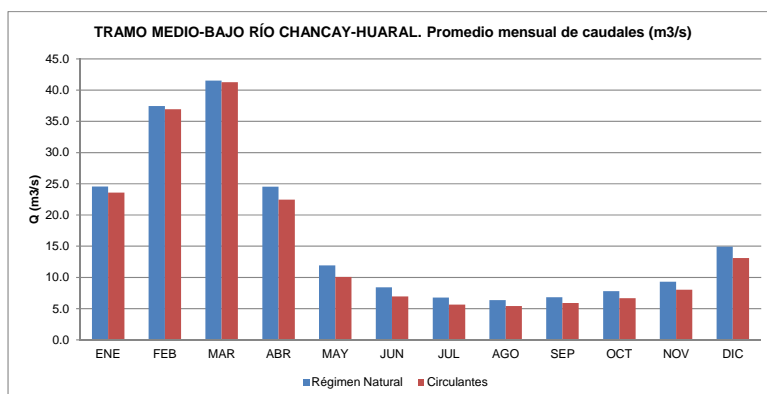


Ilustración 84. Variación mensual establecida a partir de los promedios de las series mensuales medias en régimen natural y circulante en el tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral.

Para el estudio de la alteración hidrológica del tramo indicado, se compararon las series en régimen natural y circulante. Se estimaron aquellos parámetros relacionados con la magnitud, variabilidad y estacionalidad a nivel mensual y anual. En la Tabla 24 se recogen todos estos parámetros y se comprueba que en el tramo no hay alteración mensual ni anual.

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m³/s)	Nº Meses que cumple	Nº Total Meses	% Cumplen	Clasificación
Enero	11.93	22.74	39.82	23.60	31	40	78%	No Alterado
Febrero	15.72	34.52	54.96	36.92	31	40	78%	
Marzo	19.81	40.17	60.38	41.26	30	40	75%	
Abril	13.74	24.86	34.16	22.47	30	40	75%	
Mayo	7.56	11.50	15.57	10.08	31	40	78%	
Junio	6.02	8.13	11.10	6.97	26	40	65%	
Julio	5.09	6.87	7.97	5.66	25	40	63%	
Agosto	4.29	6.35	8.13	5.43	39	40	98%	
Septiembre	4.78	6.51	8.84	5.90	38	40	95%	
Octubre	4.94	7.68	10.83	6.70	39	40	98%	
Noviembre	5.49	8.60	13.17	8.03	39	40	98%	
Diciembre	7.44	12.96	24.93	13.12	33	40	83%	
Total Mensual					392	480	82%	No Alterado

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m³/s)	Nº Años que cumple	Nº Total Años	% Cumplen	Clasificación
Anual	10.36	16.65	21.87	15.51	32	40	80%	No Alterado

Tabla 24. Parámetros indicadores de alteración hidrológica. Tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral.

En la Ilustración 85, puede apreciarse como el promedio mensual de caudales circulantes durante todos los meses, queda comprendido entre los percentiles 90 y 10 de la serie en régimen natural. Además cabe destacar que la forma de la curva de los promedios mensuales circulantes se corresponde con la que sigue el régimen natural. En cuanto al grado de alteración hidrológica a nivel anual se aprecia que

no es relevante, ya que el 80% de los años, el caudal anual circulante queda comprendido entre el percentil 10 y 90 de los caudales medios anuales en régimen natural.

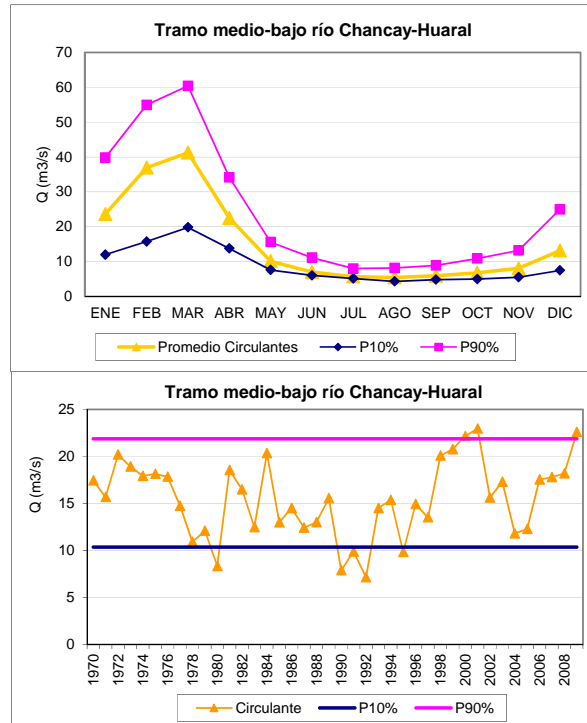


Ilustración 85. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral.

En base a los datos de caudales mensuales medios, se ha calculado el rango de caudales mínimo propuesto y el rango de caudales objetivo, mediante la metodología RVA. En la tabla siguiente quedan recogidos los resultados:

TRAMO MEDIO-BAJO RÍO CHANCAY-HUARAL		RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m ³ /s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m ³ /s)		GRADO ALTERACIÓN
		Est. seca	Est. húmeda	Est. seca	Est. húmeda	
	Est. seca	4.02	4.75	4.26	5.08	No alterado
	Est. húmeda	5.37	6.74	6.62	8.58	

Tabla 25. Rangos de caudales mínimo propuesto y rango de caudales objetivo en el tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral.

En la Ilustración 86 puede visualizarse dónde queda comprendido el rango de caudal mínimo y el rango de caudal objetivo de cada periodo, en la curva de caudales clasificados comentada previamente.

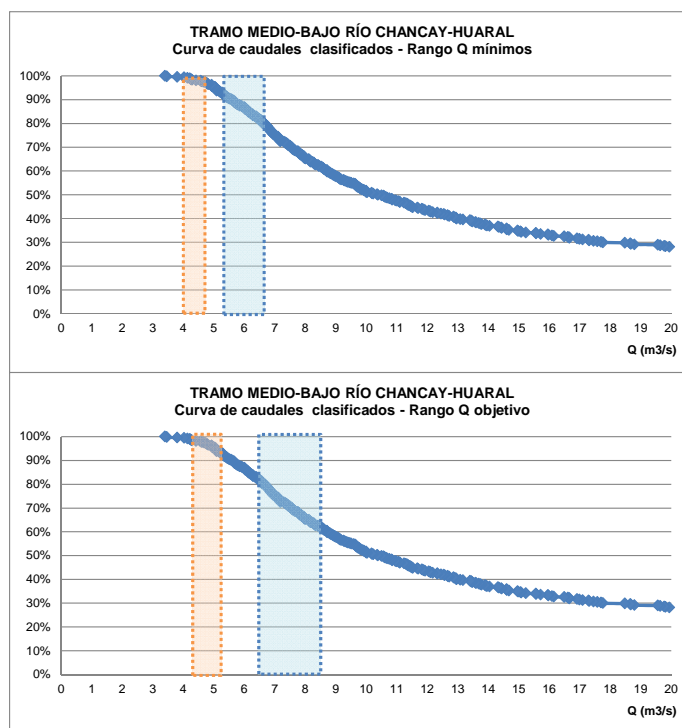


Ilustración 86. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo medio-bajo del río Chancay-Huaral.

En la Ilustración 87 se recoge una ampliación de la serie de caudales, donde a su vez se ha representado el rango de caudales mínimos obtenido (rectángulo) y los mínimos circulantes (línea roja). En este caso se aprecia como los mínimos caudales circulantes se encuentran dentro del rango establecido como una primera propuesta de caudales ecológicos.

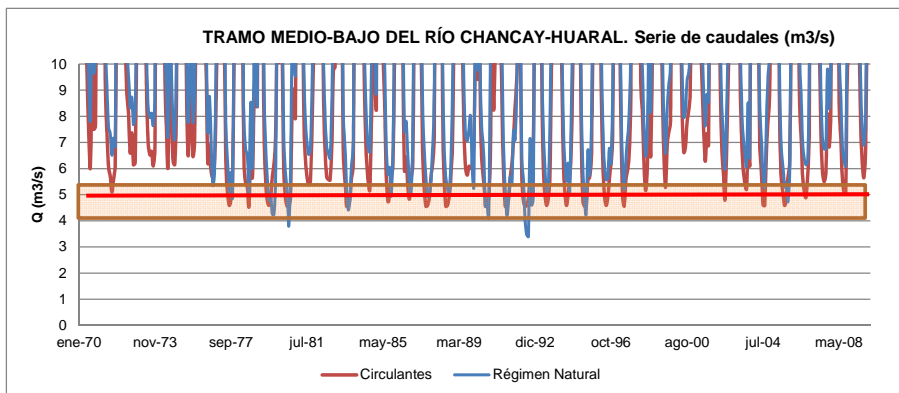


Ilustración 87. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo del medio- bajo del río Chancay-Huaral. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.

7.13. TRAMO BAJO DEL RÍO CHANCAY-HUARAL.

Como datos de partida se han utilizado las series en régimen natural y en régimen circulante correspondientes a datos de caudal medios mensuales en el tramo bajo del río Chancay-Huaral, concretamente aguas debajo de Orcón y algunas tomas, próximo a la desembocadura.

A partir de los caudales medios mensuales en régimen natural (Ilustración 88) se construye la curva de caudales clasificados (Ilustración 89), que indica el porcentaje de meses al año en los que circula un caudal determinado por el río. Puede apreciarse como ambas series mantienen la misma forma de la curva, siendo los caudales circulantes considerablemente inferiores a los naturales. (Ilustración 88).

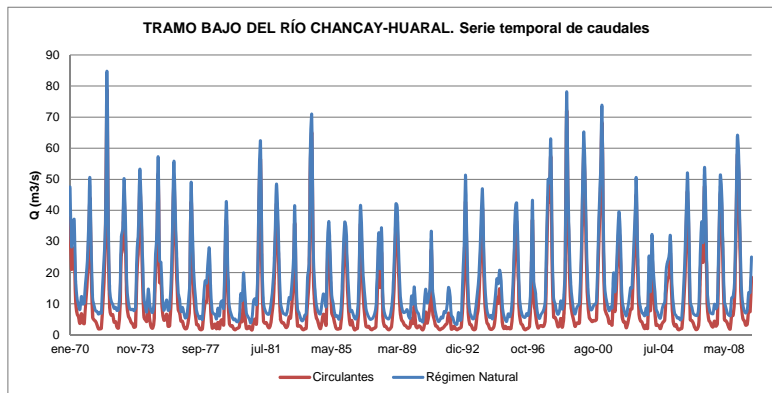


Ilustración 88. Caudales medios mensuales en régimen natural y en régimen circulante en el tramo bajo del río Chancay-Huaral.

Los años secos, aquellos cuya aportación resulta inferior a la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 75%, se discriminaron de la serie en régimen natural. Dichos años fueron: 1978, 1979, 1980, 1987, 1990, 1991, 1992, 1995, 2004 y 2005.

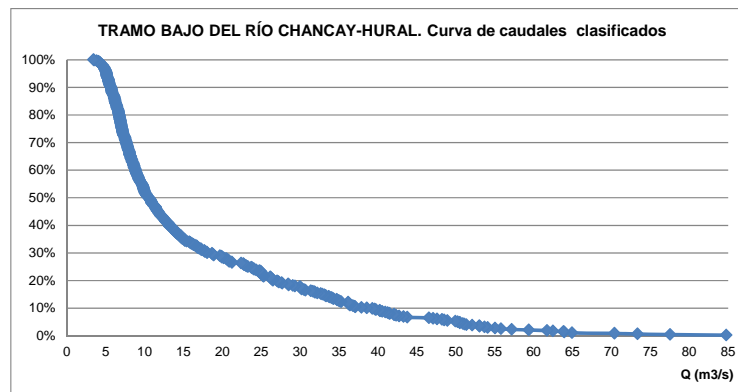


Ilustración 89. Curva de caudales clasificados de la serie en régimen natural en el tramo bajo del río Chancay-Huaral.

En cuanto a la variación estacional (Ilustración 90) se han comparado los promedios mensuales de los caudales en régimen natural y régimen circulante del tramo bajo del río Chancay-Huaral. En ambos casos se aprecia como los meses más secos se dan entre julio y septiembre y los más húmedos corresponden a los meses de febrero y marzo. También se aprecia en todos los meses una diferencia significativa entre el promedio mensual de la serie en régimen natural y la serie en régimen circulante.

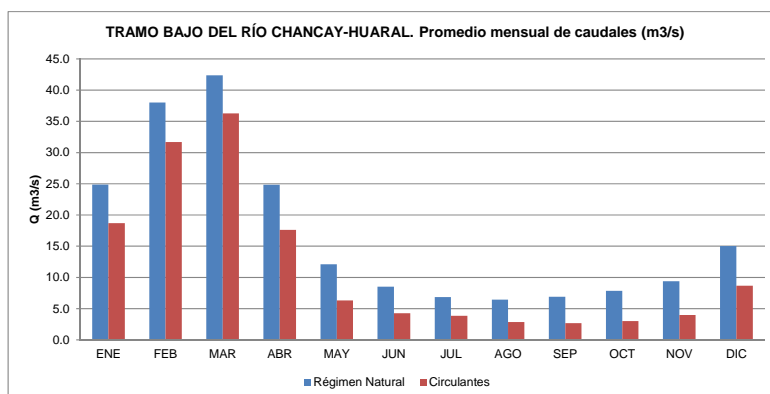


Ilustración 90. Variación mensual establecida a partir de los promedios de las series mensuales medias en régimen natural y circulante en el tramo bajo del río Chancay-Huaral.

Para el estudio de la alteración hidrológica del tramo en mención, se compararon las series en régimen natural y circulante. Se estimaron aquellos parámetros relacionados con la magnitud, variabilidad y estacionalidad a nivel mensual y anual. En la Tabla 26 se recogen todos estos parámetros y se comprueba que en el tramo hay alteración tanto mensual como anual.

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m³/s)	Nº Meses que cumple	Nº Total Meses	% Cumplen	Clasificación
Enero	12.04	23.09	40.28	18.69	27	40	68%	
Febrero	15.92	34.97	55.80	31.67	31	40	78%	
Marzo	19.93	41.52	61.73	36.26	29	40	73%	
Abril	13.89	25.02	34.77	17.60	27	40	68%	
Mayo	7.62	11.71	15.86	6.32	12	40	30%	
Junio	6.09	8.24	11.26	4.28	7	40	18%	
Julio	5.12	6.97	8.08	3.87	4	40	10%	
Agosto	4.35	6.43	8.23	2.86	1	40	3%	
Septiembre	4.85	6.65	8.95	2.71	3	40	8%	
Octubre	5.01	7.81	10.90	3.00	4	40	10%	
Noviembre	5.54	8.67	13.23	4.01	10	40	25%	
Diciembre	7.49	13.15	25.15	8.66	20	40	50%	
Total Mensual					175	480	36%	Alterado

Parámetro	P 10%	Mediana	P 90%	Promedio Q-Circulante (m³/s)	Nº Años que cumple	Nº Total Años	% Cumplen	Clasificación
Anual	10.48	16.89	22.36	11.66	26	40	65%	No Alterado

Tabla 26. Parámetros indicadores de alteración hidrológica. Tramo bajo del río Chancay-Huaral.

En la Ilustración 91, puede apreciarse como el promedio mensual de caudales circulantes entre mayo y noviembre, queda fuera del rango comprendido entre los percentiles 90 y 10 de la serie en régimen natural y caracterizando el tramo como alterado hidrológicamente. Cabe destacar que la forma de la curva de los promedios mensuales circulantes mensuales se corresponde con la que sigue el régimen natural. En cuanto al grado de alteración hidrológico a nivel anual se aprecia como en el 65% de los años

de la serie considerada, el caudal circulante anual queda comprendido entre el percentil 10 y 90 de los caudales medios anuales en régimen natural.

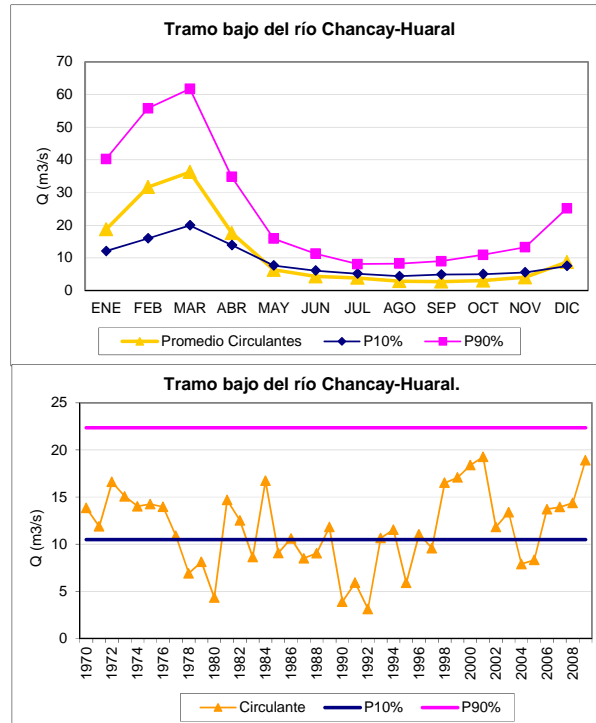


Ilustración 91. Alteración Hidrológica a nivel mensual y anual del tramo bajo del río Chancay-Huaral.

En base a los datos de caudales mensuales medios, se ha calculado el rango de caudales mínimo propuesto y el rango de caudales objetivo, mediante la metodología RVA. Los resultados quedan comprendidos en la tabla siguiente:

		RANGO DE CAUDALES MÍNIMO (m ³ /s)		RANGO DE CAUDALES OBJETIVO (m ³ /s)	
		Est. seca	Est. Húmeda	Est. seca	Est. Húmeda
TRAMO BAJO RÍO CHANCAY-HUARAL	Est. seca	4.06	4.80	4.30	5.13
	Est. Húmeda	5.42	6.79	6.67	8.64

Tabla 27. Rangos de caudales mínimo propuesto y rango de caudales objetivo en el tramo bajo del río Chancay-Huaral.

En la Ilustración 92 se puede apreciar dónde queda comprendido el rango de caudal mínimo y el rango de caudal objetivo de cada periodo en la curva de caudales clasificadas comentada previamente.

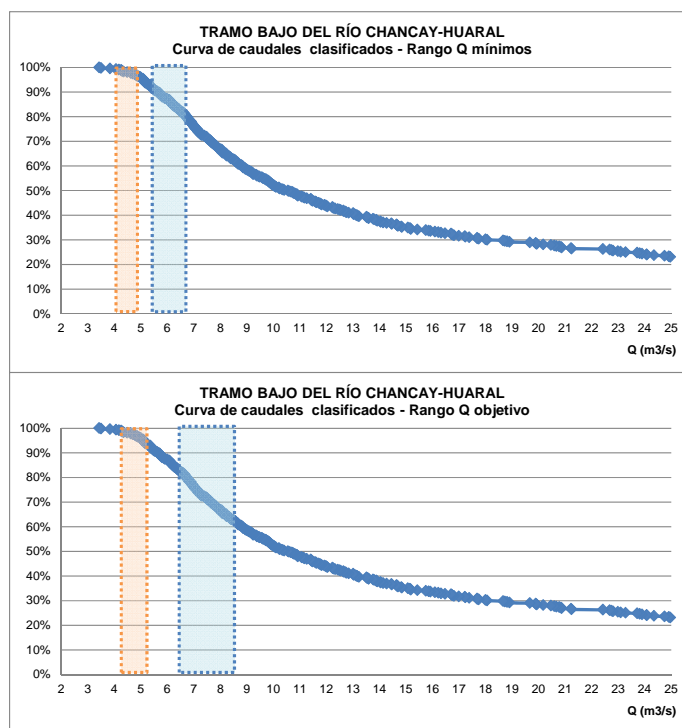


Ilustración 92. Curva de caudales clasificados junto con el rango de caudales mínimo (arriba) y el rango de caudales objetivo a alcanzar (debajo) propuesto para el periodo húmedo y seco. Tramo bajo del río Chancay-Huaral.

En la Ilustración 93 se recoge una ampliación de la serie de caudales, donde a su vez se ha representado el rango de caudales mínimos obtenido (rectángulo) y los mínimos circulantes (línea roja). En este caso se aprecia como los mínimos caudales circulantes se encuentran por debajo del rango establecido como una primera propuesta de caudales ecológicos.

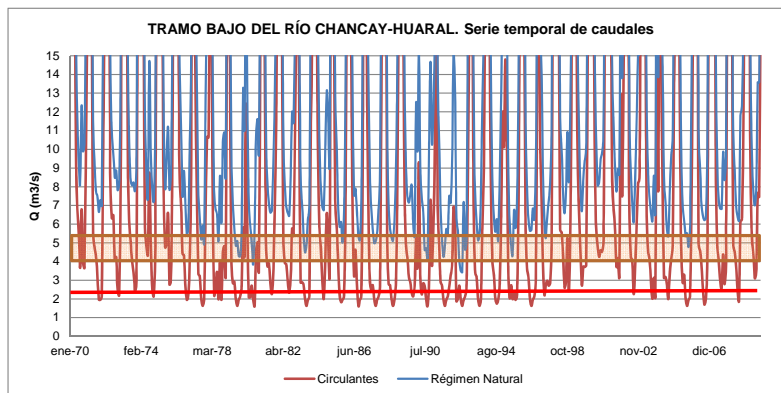


Ilustración 93. Detalle ampliado de las series en régimen natural y régimen circulante del tramo bajo del río Chancay-Huaral, próximo a la desembocadura. El rectángulo representa el rango de caudal ecológico. La línea roja los valores mínimos del régimen circulante.

8. PRINCIPALES AFECCIONES

La implementación de estos caudales ecológicos en los tramos propuestos tienen afecciones a los distintos usos de la cuenca, las cuales es necesario estudiar. En este caso las principales afecciones están dirigidas a las centrales hidroeléctricas y las demandas del valle. Se pueden resumir dos ámbitos de afecciones:

- Cuenca Medio-Alta: Tramos bien conservados. Competencia con el uso hidroenergético: Chungar/Elecnor.
- Cuenca Baja: Tramos alterados y con ocupación de la faja marginal. Competencia con el uso agrícola. Actor: Junta de Usuarios.

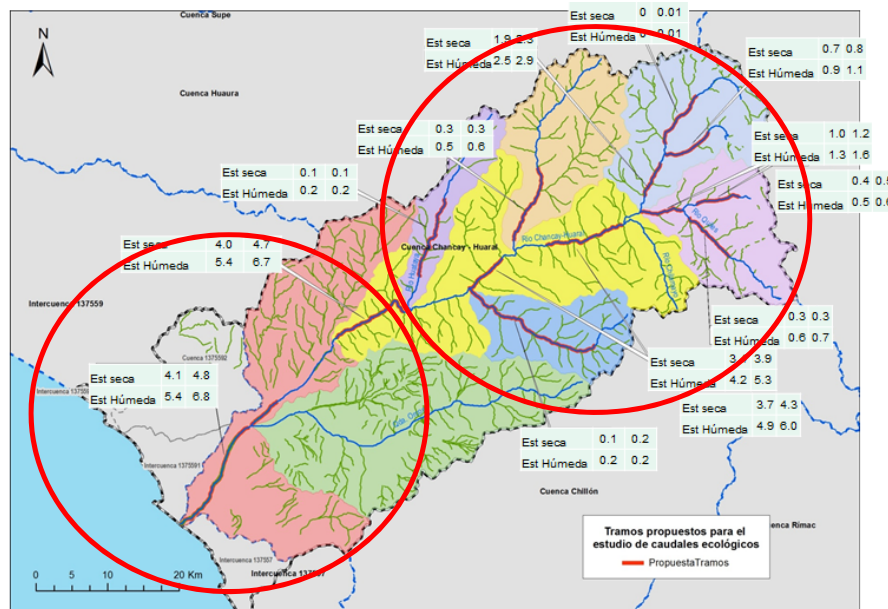


Ilustración 94. Ubicación de los tramos de estudio principales juntos con las principales afecciones a las centrales hidroeléctricas en la cuenca media-alta y a las demandas del valle bajo.

8.1. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN CUENCA MEDIA-ALTA

El establecimiento de los caudales ecológicos en los tramos de la cuenca alta, tienen implicaciones directas sobre las centrales hidroeléctricas presentes en la zona. Para las distintas centrales de las subcuencas de Vichaycocha, Baños y Media se han estudiado las pérdidas de potencia y las afecciones que lleva la implementación de los caudales ecológicos.

Para el estudio de afecciones no se han considerado los caudales ecológicos obtenidos en los estudios previos, sino aquellos caudales equivalentes al doble del actual. Este valor sigue siendo inferior al caudal ecológico obtenido por mediante el método RVA expuesto anteriormente, pero la implementación de éste en estos tramos de derivación de las centrales hidroeléctricas ya implica un primer avance, y más teniendo en cuenta que en ninguna de las centrales viene establecido un caudal ecológico según estudio de aprovechamiento hídrico en sus derechos, a excepción de las centrales ampliación de la C.H Baños IV y C.H Baños V. En el resto de centrales no están especificados los caudales ecológicos. El agua que dejan como escorrentía a nivel de cause de río son propias de las filtraciones en captación y

afloramientos aguas abajo. Esta estimación de afecciones en las distintas centrales ha sido obtenida a partir de los datos de potencia generada en cada una de las centrales en los últimos 40 años.

Tramo Q ecológico	Rango Qeco estación seca	C.H.	Fuente	Caudal Ecológico (m ³ /s)		Potencia Perdida (GWh/año)	Afección económica (M\$/.)
				Actual	Previsto		
Chicrín	0.7-0.8	CH-Cacray	Río Chicrín	0.00	0.02	0.06	0.02
		CH-Yanahuin	Río Chicrín	0.00	0.02	0.19	0.07
		CH-Huanchay	Río Chicrín	0.06	0.06	0.23	0.08
Alto Chancay-Huaral	1.9-2.3	CH-Tótor de Pacaraos	Río Chancay-Huaral	0.20	0.40	0.01	0.00
Baños alto	0.4-0.5	CH-Baños1	Río Baños	0.00	0.04	-0.03	-0.01
		CH-Baños2	Río Baños	0.02	0.04	0.05	0.02
		CH-Baños3	Río Baños	0.02	0.04	0.07	0.03
Quiles	0.3	CH-Baños4	Río Baños	0.04	0.08	0.60	0.21
		CH-Baños4 Ampliación	Río Quiles	0.04	0.08	0.89	0.32
Baños bajo	1.0-1.2	CH-Baños5	Río Baños	0.04	0.08	0.47	0.16
		CH-Tingo	Río Baños	0.20	0.40	1.12	0.40
Medio Chancay Huaral	3.4-3.9	CH-Hoyo-Acos	Río Chancay-Huaral	0.24	1.00	0.01	0.00
Total						3.69	1.30

Tabla 28. Resumen de las afecciones de la implementación de los caudales ecológicos en cada una de las centrales hidroeléctricas.

Varias son las centrales que utilizan todo el caudal para la generación de electricidad, pasándolo en su totalidad al canal de derivación, generando una fragmentación de los distintos ecosistemas existentes en estas áreas. Todos estos tramos de cabecera, pese a que en muchos casos el caudal de la bocatoma es prácticamente cero, unos metros más abajo alcanzan ciertos caudales debido a las afloraciones, surgencias y retornos de filtraciones de los bofedales ubicados aguas arriba. Pese a ellos los caudales siguen siendo bajos, de ahí la necesidad de que las centrales hagan un esfuerzo por el mantenimiento de los caudales ecológicos. Si bien, este esfuerzo ha de ir acompañado de la implementación de las medidas relacionadas con la mejora de la eficiencia, el afianzamiento de ciertas lagunas y la generación de un par de reservorios, para que de este modo parte del superávit de recurso pueda formar parte de la implementación de los caudales ecológicos.

En el anexo 3 se recogen las gráficas de afección para cada una de las centrales hidroeléctricas donde se representa tanto la potencia producida como la no producida frente al caudal ecológico.

8.2. AFECCIONES EN LAS DEMANDAS AGRÍCOLAS DEL VALLE

La propuesta de caudales ecológicos principalmente tiene una elevada influencia en el déficit de las demandas agrícolas del Valle. Los dos últimos tramos de estudio de caudales ecológicos es donde la implementación de tendrá mayor repercusión.

En el caso del tramo medio-bajo de la cuenca Chancay-Huaral, aguas abajo de la confluencia del Añasmayo, el déficit se ve aumentado para altos rangos de caudal ecológico. Dentro del rango propuesto

se presenta un máximo déficit del 5%, ligeramente superior al que se tenía al comienzo del estudio previo a la imposición de un caudal ecológico.

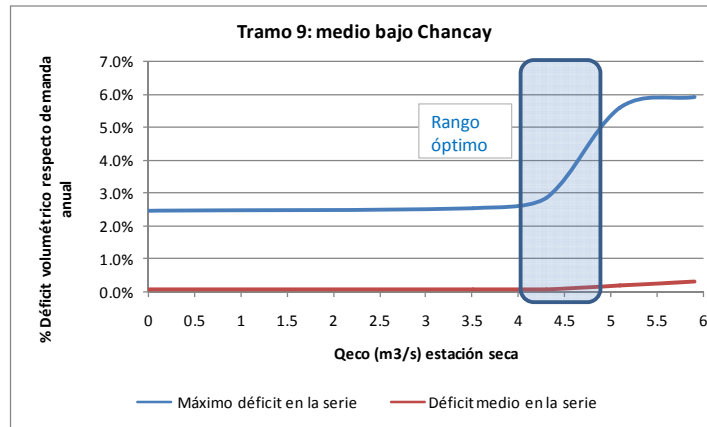


Ilustración 95. Déficit medio y máximo en función del caudal ecológico impuesto en el tramo medio-bajo de la cuenca Chancay-huaral.

En el caso del tramo bajo de la cuenca Chancay-Huaral, justo antes de la desembocadura y aguas abajo de la derivación para la demanda de Redes, se aprecia un fuerte aumento del déficit máximo a medida que aumenta el caudal ecológico, llegando al 40%, mientras que el déficit medio se encuentra en torno al 10%.

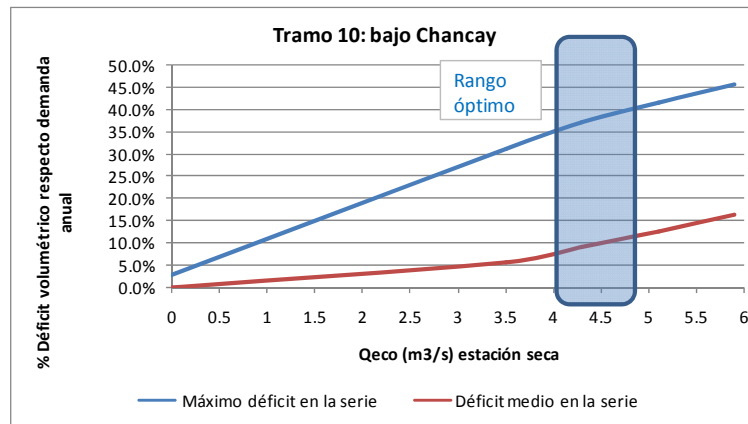


Ilustración 96. Déficit medio y máximo déficit en función del caudal ecológico propuesto en el tramo bajo de la cuenca Chancay-Huaral.

9. RECOMENDACIONES

Uno de los principales temas pendientes a nivel nacional por parte de las autoridades, referente a los caudales ecológicos, es el definir este caudal ecológico, bien como una **demanda** o bien como una **restricción**. Considerarlo como una restricción obligaría a satisfacerlo en primer lugar, salvo en situaciones de sequía, donde el abastecimiento tiene un carácter prioritario u otras situaciones especiales que se acuerden. Considerarlo como una demanda implicaría incluirlo como una demanda más que detrae el recurso en el balance hídrico; una negociación junto con el resto de demandas de los volúmenes para los diferentes usos y la implicación de las distintas administraciones con competencias en el medioambiente para representarlo en el proceso de concertación

Otro aspecto relevante que debería ser desarrollado, es la elaboración de una **clasificación Eco-hidrológica para los ríos del Perú**, la cual servirá como una herramienta vital en el marco espacial de la planificación en la conservación y la protección de los ecosistemas. La clasificación aporta la ventaja de agrupar segmentos de río con su cuenca vertiente en unidades idóneas para la gestión ambiental, para el estudio geográfico de la distribución de la biota, y con una estructura jerárquica, que integra las cualidades hidrológicas, hidráulicas y ecológicas de una manera coherente con el principio del continuo fluvial. Esta clasificación, no solo resulta idónea como base para el desarrollo y planificación de estudios ecológicos, sino también para el estudio del régimen ecológico de caudales y para la gestión de los ecosistemas fluviales.

Conviene también que sean **contrastados y verificados los resultados** obtenidos en esta primera aproximación **mediante métodos hidrológicos con los resultados** que se obtendrían de la aplicación de **métodos hidrobiológicos**. Los modelos biológicos corresponden a curvas de preferencia de hábitat de aquellas especies más relevantes en la cuenca, bien por su grado de conservación o por su importancia económica (generalmente peces y a veces macro invertebrados acuáticos), por los principales factores hidráulicos que controlan su presencia (generalmente profundidad de agua, velocidad de corriente y sustrato). En Perú, la disponibilidad de información de partida necesaria para la aplicación de estos métodos es escasa. Como primer paso resulta necesaria la recopilación de información referente a las especies autóctonas relacionadas con el ámbito fluvial, así como las áreas y/o espacios protegidos o ambientalmente prioritarios para su conservación y posteriormente la elaboración de estas curvas de preferencia de hábitat específicas para la cuenca.

Caudal ecológico y derecho: Criterios de garantía/déficit. Afecciones usos existentes y futuros.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, M. 2009. *Caudal ambiental, Normas e Instituciones en Perú, Ecuador, Chile y Brasil*. En: Curso Caudales Ambientales. Lima 25-27 Noviembre.
- Aguirre, M. 2011. *Caudales ambientales: Legislación y Política de Aguas*. Programa de Aguas-UICN, Vallenar, Chile.
- ANA, 2008. *Diagnóstico de problemas y conflictos en la gestión del agua en la Cuenca Chili-Quilca. Anexo A-9 del estudio de factibilidad*. Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (PMGRH). Lima, Noviembre 2008.
- Arthington AH, SO Brizga & MJ Kennard. 1998. *Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques: Best Practice Framework*. Occasional Paper No. 25/98. Land and Water Resources Research and Development Corporation: Canberra, Australia.
- Arthington, A. H., and B. J. Pusey. 2003. *Flow restoration and protection in Australian rivers*. River Research and Applications 19:377–395.
- Beca. (2008). *Draft guidelines for the selection of methods to determine ecological flows and water levels*. Report by Beca Infrastructure Ltd for Ministry for the Environment. Wellington: Ministry for the Environment. New Zealand.
- 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 nº 12. Fort Collins, Colorado. 248 pp.
- Brown, C. and King, J. 2003. *Environmental Flows: Concepts and methods*. In Davis, R. and Hirji, R. (eds). Water Resources and Environment Technical Note C.1. Washington, D.C.: The World Bank.
- Bustamante, M.L., 2011. *Environmental Flows: policy implications and institutional arrangements in the Water Legislation of Peru*, UNESCO-IHE.
- DGA. 1999. *Manual de Norma y Procedimientos para la administración de Recursos Hídricos*.
- DGA. 2008. *Manual de Norma y Procedimientos para la administración de Recursos Hídricos*.
- DGA-CEA. 2008. *Determinación de caudales ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa y en estado de conservación crítico*. Informe técnico 192 pp.
- Díez, J.M. 2000. *Metodologías para la estimación de caudales ecológicos*. Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias.
- Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J., (eds) 2003. *Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales*. Tr. José María Blanch. San José, C.R.: UICN-ORMA. xiv + 125 pp.
- Environmental Flow Methodologies – EFM. 2003.
- Fossati O. Calvez R. 2005 - *Plan de trabajo para monitoreo de macroinvertebrados como indicadores para caudales ecológicos*. Informe IRD: 14 p.
- Gordon, N.D., Mac Mahon, T.A., Finlayson, B.L. 1992. *Stream Hydrology. An Introduction for Ecologist*. Chichester: John Wiley and Sons.
- Güemes Delgado, B. 2009. *Diagnóstico Ambiental Rápido de la Cuenca del Río Chancay-Huaral*. Centro Peruano de Estudios Sociales y PROGRESSIO. Lima, Perú.

- Hirji, R. and R. David. 2009. *Environmental Flows in Water Resources Policies, Plans, and Projects: Finding and Recommendations*. The World Bank.
- Jamett, 2005. Jamett G & A Rodrigues. 2005. *Evaluación del instrumento caudal ecológico en el panorama legal e institucional en Chile y Brasil*. Rega 3(1): 83-96.
- Jowett, LG. 1989. *River hydraulic and habitat simulation, RHYHABSIM computer manual*. New Zealand Ministry of Agriculture and Fisheries, Fisheries Miscellaneous Repon 49. Christchurch. 39 pp.
- King, J. M., R. E. Tharme, y M. S. de Villiers, editors. 2000. *Environmental flow assessments for rivers: manual for the Building Block Methodology*. WRC Report TT 131/00. Water Research Commission, Pretoria, South Africa.
- King J, C Brown & H Sabet. 2003. *A Scenario-Based Holistic Approach to Environmental Flow Assessments for Rivers*. River Research and Applications, 19: 619–639 pp.
- King J M, RE Tharme & MS de Villiers (eds). 2008. *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology* (updated Edition).
- Kulik, B.H. 1990. *A Method to Refine the New England Aquatic Base Flow Policy*. Rivers 1, 8-22.
- L. del Castillo, C. Llerena. 2012. *Análisis del marco legal e institucional sobre los caudales ecológicos/ambientales en el Perú*. UICN, Quito, Ecuador. 57 pp.
- Loyaga Torres, D.B.; Pittman Silva, R.O.; Achic Chata, J.C. 2001. *Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos de la cuenca Chancay-Huaral*. Dirección General de Aguas y Suelos. Instituto Nacional de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura.
- Magdaleno Más, F., 2004. *Caudales ecológicos: conceptos básicos, métodos de cálculo y nuevas interpretaciones*. Ingeniería Civil 135/2004.
- MARM, 2008. Instrucción de Planificación Hidrológica. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Gobierno de España.
- Ortega, H; M. Hidalgo; E. Correa; J. Espino; L. Chocano; G. Trevejo; V. Meza; A.M. Cortijo; R. Quispe. 2001. *Lista anotada de los peces de aguas continentales del Perú: Estado actual del conocimiento, distribución, usos y aspectos de conservación*. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Diversidad Biológica – Museo de Historia Natural, UNMSM. 48 páginas.
- Palau A & J Alcázar. 2010. *The Basic Flow Method for Incorporating Flow Variability in Environmental Flows*. River Research and Applications. doi: 10.1002/rra.1439
- Richter BD, JV Baumgartner, J Powell & DP Braun. 1996. *A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems*. Conservation Biology, 10(4):1163-1174 pp.
- Richter BD, JV Baumgartner, R Wigington & DP Braun. 1997. *How much water does a river need?* Freshwater Biology, 37: 231-249 pp.
- Riestra F. 2007. *Establecimiento de caudales ecológicos mínimos en Chile*. En Gestión sostenible de Humedales. Castro y Fernández (eds.).
- Rosero López D. 2006 - *Proyecto de determinación del caudal ecológico en los ríos Pita y San Pedro en las infraestructuras de captación para generación eléctrica de las centrales de los Chilllos y Guangopolo*. Informe FONAG: 24 p.
- Santacruz de León G. y M. Aguilar-Robledo. 2009. *Estimación de los caudales ecológicos en el Río Valles con el método Tennant*. Hidrobiológica 19 (1): 25-32

Tennant D. 1976. *Instream flow regimens for fish, wildlife, recreational and related environmental resources*. Fisheries 1(4): 6-10 pp.

Tharme R. 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 pp.

Tobar Cabrera M. 2006. Ecuador. En: *Gobernanza del Agua en América del Sur: dimensión ambiental*. 291-319 pp. Iza, A & M.B. Rovere, editores. UICN, Gland Suiza y Cambridge, Reino Unido. 461 pp.

Vilchez Ochoa, G. 2010. *Servicio de Consultoría para la Sistematización y Seguimiento de la Aplicación de Metodologías de Determinación del Caudal Ecológico en Cuencas Hidrográficas en el Marco de las Acciones de Seguimiento e Intervención*. Ministerio del Medio Ambiente Perú. 27 pp

WFD CIS: Water Framework Directive's Common Implementation Strategy, 2009. Guidance Document No. 18. *Guidance on groundwater status and trend assessment*. Technical Report - 2009 - 026

Normativa

Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29.338, Marzo 2009. Perú.

Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos. DECRETO SUPREMO N° 001-2010-AG. Ministerio de Agricultura de Perú.

Páginas web consultadas

<http://www.acuaristas.cl>

<http://www.acuaristasperu.net>

<http://www.fishbase.org>

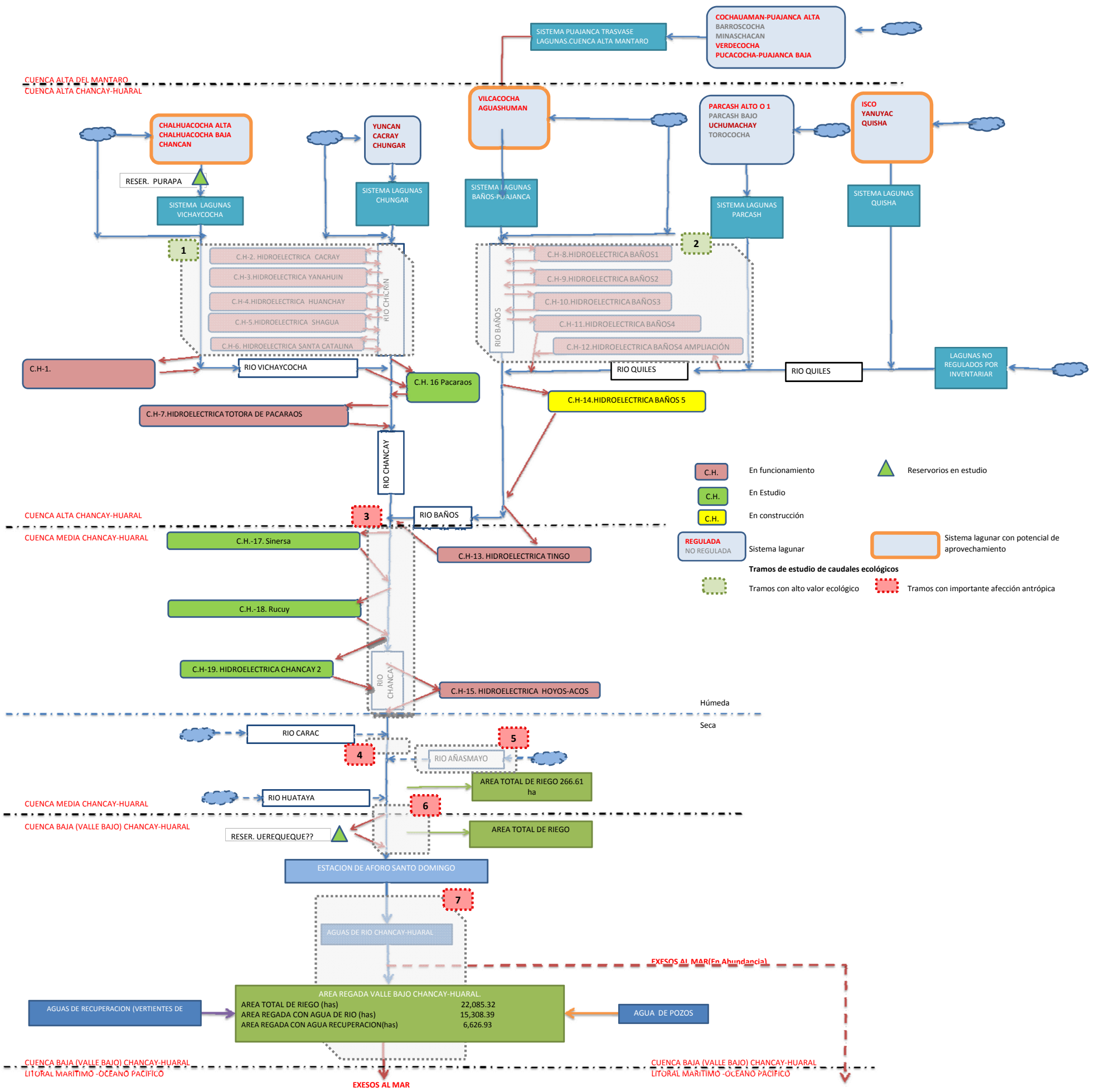
<http://www.imarpe.pe>

<http://www.iwmi.cgiar.org/> International Water Management Institute (IWMI). 2004.

<http://www.sernanp.gob.pe>

**ANEXO 1: ESQUEMA TOPOLOGICO MAYOR DE LA RED HIDROGRAFICA DE LA CUENCA
CHANCAY-HUARAL Y TRAMOS DE ESTUDIO PROPUESTOS.**

ESQUEMA TOPOLOGICO MAYOR DE LA RED HIDROGRAFICA DE LA CUENCA CHANCAY-HUARAL



ANEXO 2: METODOLOGÍA HIDROLÓGICA PROPUESTA PARA LA ESTIMACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES AMBIENTALES: RANGE VARIABILITY APPROACH (RVA).

El método para el análisis de caudales ecológicos conocido como “**Range of Variability Approach**” (**RVA**), se encuentra enmarcado dentro de los conocidos como métodos hidrológicos. Los métodos hidrológicos se basan en la importancia que tienen las características de un flujo de un cauce (tiempo, frecuencia, duración y tasas de cambio), en relación a la sostenibilidad de las comunidades presentes en ese ecosistema y la evolución potencial de los ecosistemas acuáticos, riparios y los humedales.

En estos métodos el análisis del caudal ecológico se realiza directamente a partir de datos hidrológicos, tratados mediante diversos mecanismos, que pueden incluir diversas fórmulas o índices hidrológicos. Los índices utilizados se eligen a partir de una combinación de análisis estadísticos y observaciones directas y pueden servir, eventualmente, como herramientas en el desarrollo de métodos holísticos o de simulación de hábitats. Originalmente estos métodos eran de fácil y rápida utilización (basados en porcentajes fijos de caudal), aunque de manera paulatina han aumentado en complejidad y flexibilidad.

El método del RVA ha sido ideado para ser empleado en aquellos casos en los que el objetivo principal sea realizar una gestión que persiga la conservación de los ecosistemas. Se basa en el análisis de datos diarios no alterados de largos periodos de tiempo (al menos una serie de 20 años), para describir la variabilidad de los caudales naturales y posteriormente comparar estos rangos de variabilidad con las condiciones del flujo después de una alteración en el cauce (construcción de una presa, bombeo de aguas del acuífero, derivaciones de caudal, etc.)

A partir de los resultados obtenidos se plantean una serie de medidas de gestión anual cuyo objetivo es el de imitar los rangos de variabilidad observados de manera natural. Esta metodología implica un proceso de evaluación continuo de manera que se puedan ir redefiniendo las medidas de gestión y estudiar el comportamiento de las especies ante las variaciones generadas en el cauce.

La aplicación completa del método del RVA se desarrolla en seis etapas, que van desde el cálculo de los parámetros que caracterizan el flujo, pasando por el diseño de las reglas de gestión del cauce, hasta la evaluación de las medidas adoptadas en el cauce. En concreto las seis etapas son las siguientes:

Etapas 1

El régimen natural de los caudales del flujo de agua se caracteriza empleando 32 parámetros hidrológicos que son ecológicamente significativos, empleando el método IHA (Indicators of Hydrologic Alteration).

Etapas 2

Se fijan un total de 32 objetivos en la gestión del caudal, uno por cada uno de los 32 parámetros estimados mediante el método IHA. Los objetivos se pueden caracterizar con un rango (valor medio \pm una desviación), con un valor mínimo, con un valor máximo,... Estos objetivos deben basarse en la medida de lo posible en información ecológica y deben tener en consideración las consecuencias de excluir valores extremos observados en el régimen natural.

Etapas 3

Una vez fijados los objetivos para cada uno de los parámetros, se fijan las reglas de gestión que permitan cumplir los objetivos fijados para un periodo de tiempo determinado (p.e. Cumplir los objetivos el 68% de los años; cumplir el 80% de objetivos todos los años...).

Etapas 4

Implementar un programa de monitoreo e investigación que permita evaluar los efectos que sobre las comunidades del río tienen las nuevas reglas de gestión.

Etapa 5

Al final de cada uno de los años se evalúan nuevamente cada uno de los 32 parámetros del IHA estudiados y se observa el efecto que sobre ellos tienen la gestión que se realiza del río.

Etapa 6

Las etapas propuestas se repiten cada año, incorporando los resultados de la evaluación del año anterior y cualquier información nueva que aparezca como resultado del programa de monitoreo e investigación. Con estos resultados se revisan las reglas de gestión y se modifican cuando se considere necesario.

Una de las etapas principales del método es la estimación de los 32 parámetros propuestos según el IHA. El objetivo de estos parámetros es definir una serie de atributos hidrológicos que caractericen la variación intra-anual de los caudales naturales, de manera que puedan compararse las características del flujo frente a alteraciones de las condiciones del cauce.

Los parámetros han sido seleccionados por ser empleados habitualmente como indicadores estadísticos por su relevancia desde el punto de vista ecológico y se basan en el estudio de cinco características fundamentales de los regímenes hidrológicos: Magnitud de las condiciones hidrológicas, momento de ocurrencia de los fenómenos hidrológicos, duración, frecuencia y tasa de los cambios. Los parámetros quedan agrupados teniendo en cuenta estas características en 5 grupos.

Grupo de parámetros IHA	Parámetros hidrológicos	Influencias del ecosistema
1. Magnitud de las condiciones hidrológicas mensuales.	<ul style="list-style-type: none">• Valor de la media o la mediana para cada mes del calendario.	<ul style="list-style-type: none">• Disponibilidad del hábitat para organismos acuáticos.• Disponibilidad de humedad del suelo para las plantas.• Disponibilidad de agua para los animales terrestres.• Disponibilidad de alimentos/ cobertura para mamíferos con pelo.• Confiabilidad del abastecimiento de agua para los animales terrestres.• Acceso de los depredadores a los sitios de anidación.• Influye en la temperatura del agua, los niveles de oxígeno y la fotosíntesis en la columna de agua.
2. Magnitud y duración de las condiciones hidrológicas extremas anuales.	<ul style="list-style-type: none">• Mínimos anuales, media de 1 día.• Mínimos anuales, medias de 3días.• Mínimos anuales, medias de 7días.• Mínimos anuales, medias de 30días.• Mínimos anuales, medias de 90días.• Máximos anuales, media de 1 día.• Máximos anuales, medias de 3días.• Máximos anuales, medias de 7días.• Máximos anuales, medias de 30días.• Máximos anuales, medias de 90días.• Cantidad de días con caudal cero.• Índice de flujo de base: caudal mínimo de 7 días/caudal medio anual.	<ul style="list-style-type: none">• Equilibrio de organismos competitivos, ruderales y tolerantes a las presiones.• Creación de sitios para la colonización de plantas.• Estructuración de los ecosistemas acuáticos por factores abióticos vs. Bióticos.• Estructuración de la morfología del canal del río y las condiciones físicas del hábitat.• Estrés de la humedad del suelo en las plantas.• Deshidratación en los animales.• Estrés anaeróbico en las plantas.• Volumen del intercambio de nutrientes entre los ríos y las planicies de inundación.• Duración de las condiciones de presión tales como bajo nivel de oxígeno y concentración de químicos en los ambientes acuáticos.• Distribución de las comunidades de plantas en lagos, estanques y planicies de inundación.• Duración de los caudales altos para la eliminación de residuos, aeración de los lechos de desove en los sedimentos del canal.
3. Momento de las condiciones hidrológicas extremas anuales.	<ul style="list-style-type: none">• Fecha juliana de cada máximo anual de 1 día.• Fecha juliana de cada mínimo anual de 1 día.	<ul style="list-style-type: none">• Compatibilidad con los ciclos de vida de los organismos.• Predictibilidad/evitabilidad del estrés en los organismos.• Acceso a hábitats especiales durante la reproducción o

Grupo de parámetros IHA	Parámetros hidrológicos	Influencias del ecosistema
		<ul style="list-style-type: none"> • para evitar la depredación. • Indicios para el desove de los peces migratorios. • Evolución de las estrategias de los ciclos biológicos, mecanismos de comportamiento.
<p>4. Frecuencia y duración de los pulsos altos y bajos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de pulsos bajos en cada año hidrológico. • Media o mediana de la duración de los pulsos bajos (días). • Cantidad de pulsos altos en cada año hidrológico. • Media o mediana de la duración de los pulsos altos (días). 	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia y magnitud del estrés de la humedad del suelo sobre las plantas. • Frecuencia y magnitud del estrés anaeróbico sobre las plantas. • Disponibilidad de hábitats en las planicies de inundación para organismos acuáticos. • Intercambios de nutrientes y de materia orgánica entre el río y las planicies de inundación. • Disponibilidad de minerales del suelo. • Acceso a sitios de alimentación, descanso y reproducción para las aves acuáticas. • Influye en el transporte de las cargas del fondo, la textura de los sedimentos del canal y la duración de las perturbaciones del sustrato (pulsos altos).
<p>5. Tasa y frecuencia de los cambios de las condiciones hidrológicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tasas de ascenso: Media o mediana de todas las diferencias positivas entre valores diarios consecutivos. • Tasas de descenso: Media o mediana de todas las diferencias negativas entre valores diarios consecutivos. • Cantidad de inversiones hidrológicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrés de la sequía en las plantas (niveles decrecientes). • Atrapamiento de los organismos en las islas, planicies de inundación (niveles crecientes). • Estrés por la desecación de los organismos de baja movilidad en el borde de la corriente (varial zone).

Tabla: Parámetros hidrológicos en función de las cinco características fundamentales del régimen hidrológico.

Como se ha comentado, es necesario disponer de una serie diaria de datos de una longitud de al menos 20 años, de manera que los resultados obtenidos sean significativos, en el caso de no existir una serie lo suficientemente larga, o que la calidad de ésta no sea la adecuada, debe completarse la serie empleando métodos hidrológicos. Si no existen datos podrían emplearse los de cuencas cercanas que compartan un clima y unas condiciones geológicas similares y que presenten una serie de caudales que no estén alterados.

El método RVA fue diseñado con un objetivo claro: fijar los objetivos iniciales de gestión de aquellos cauces en los que el régimen hidrológico ha sido substancialmente alterado por las actividades humanas.

El método RVA será más adecuado para los ajustes preliminares o primeras aproximaciones a los caudales ecológicos en tramos de río que sufran una elevada alteración hidrológica de sus regímenes (por ejemplo cuando algunas de las características del flujo caen fuera de su rango histórico de variabilidad).

Pese a las ventajas que presenta, en cuanto a la facilidad del uso y rapidez con la que se pueden obtener las comparaciones iniciales, también presenta limitaciones, algunas de las cuales se han ido solucionando conforme se ha ido aplicando el método.

Las principales limitaciones identificadas por parte de los autores del método en el año 1996 son las siguientes:

Se necesita profundizar en las relaciones entre la biota acuática y algunos de los 32 valores de los parámetros hidrológicos seleccionados, ya que en aquel momento no habían sido estudiados de manera

exhaustiva con rigor estadístico por parte de los ecólogos, y sus análisis se basaban en comparaciones entre tramos alterados y no alterados de ríos.

Se necesitaba realizar un estudio más profundo sobre la longitud mínima de la serie de datos necesaria, para caracterizar adecuadamente la influencia de la variación climática en los parámetros hidrológicos (IHA).

La mayor limitación que actualmente sigue vigente es que el empleo de este método posiblemente reduce la flexibilidad de la gestión de los cauces para la obtención de beneficios económicos y para satisfacer algunas necesidades humanas, especialmente cuando la conservación de la biodiversidad del cauce no se ha considerado de manera adecuada en el pasado.

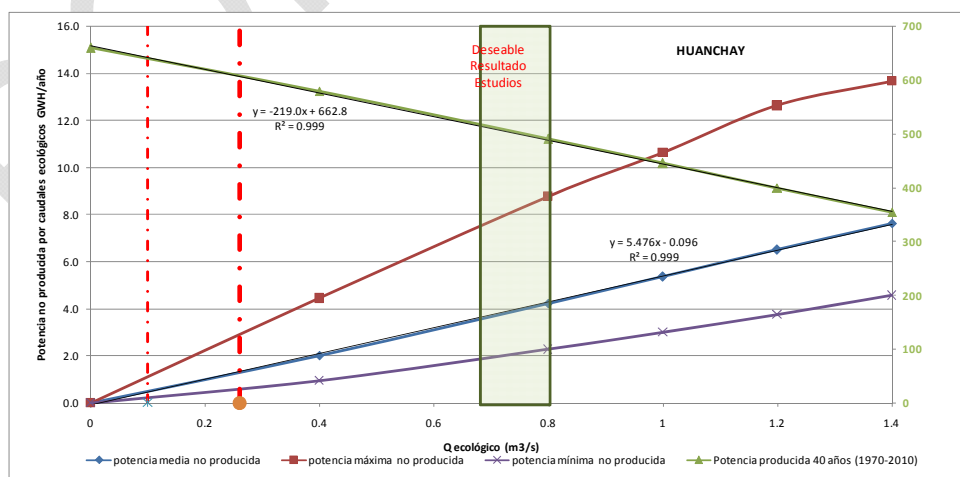
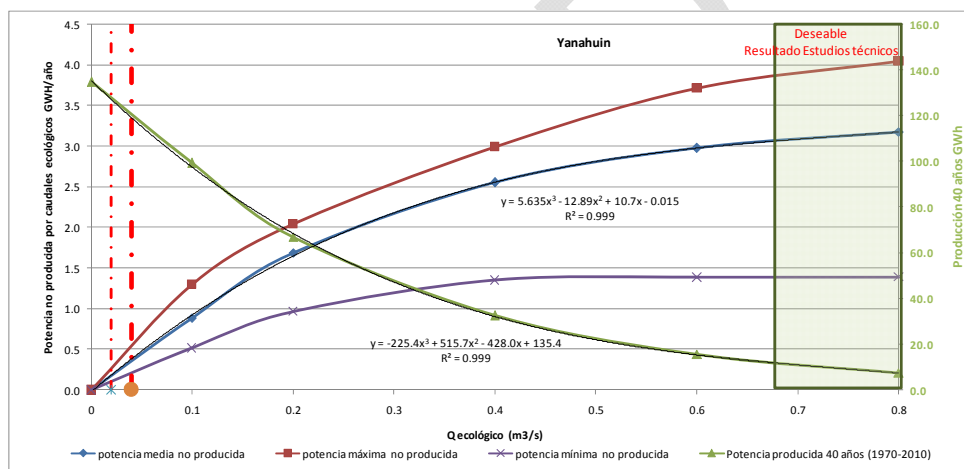
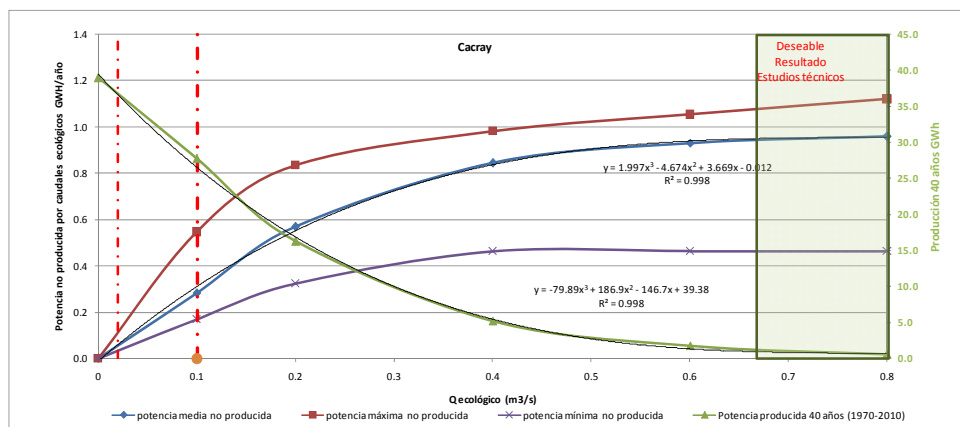
BORRADOR

**ANEXO 3: GRAFICAS DE AFECCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS CAUDALES
ECOLÓGICOS A LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE LA CUENCA MEDIA-ALTA
CHANCAY-HUARAL.**

BORRADOR

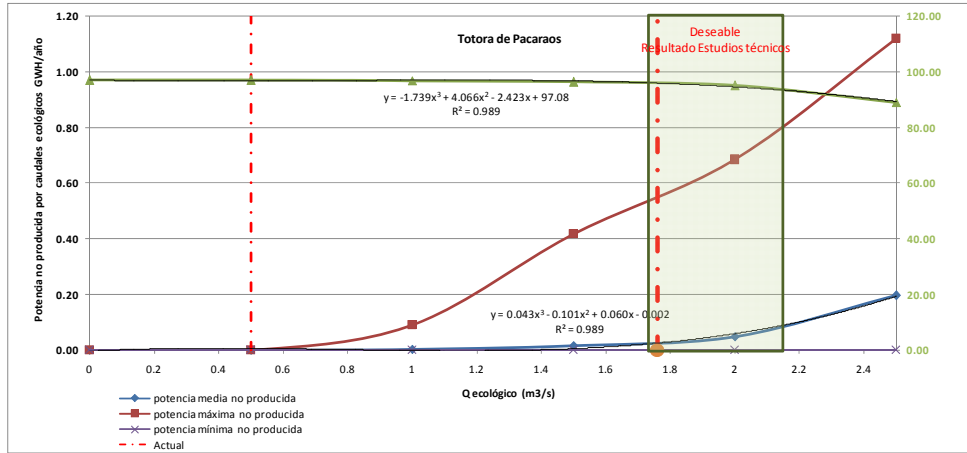
Repercusión del caudal ecológico en las centrales del río Chicrín.

En la subcuenca Chicrín se tienen las centrales de Cacray, Yanahuín y Huanchay y un rango de caudales entre 0 y 1.4 m³/s. El rango deseable se centra entre 0.66 y 0.8 m³/s.



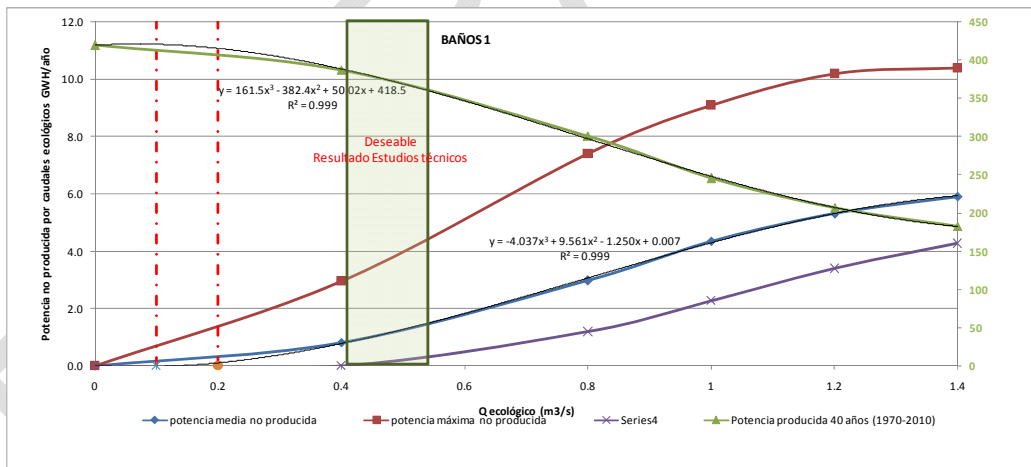
Repercusión del caudal ecológico en las centrales de cabecera de Chancay Huaral

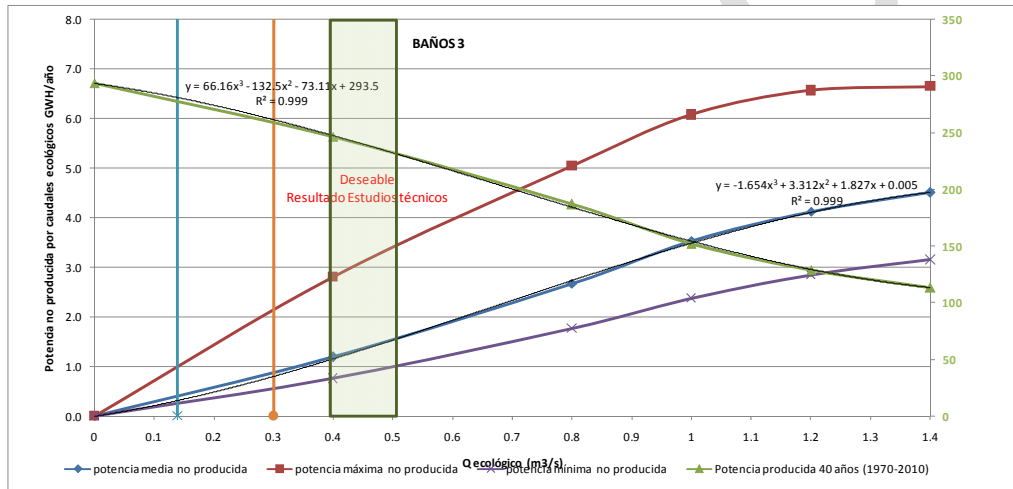
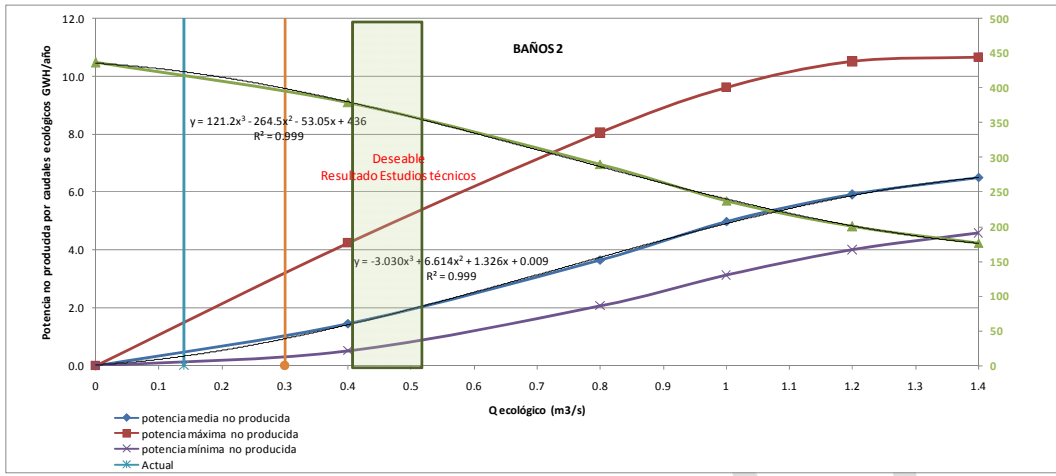
En la cabecera de Chancay Huaral se tiene la central de Tatora de Pacaraos y un rango de caudales entre 0 y 2.5 m³/s. El rango deseable se centra entre 1.9 y 2.1 m³/s.



Repercusión del caudal ecológico en las centrales de Baños I, II y III del río Baños

En el río Baños se tienen las centrales de Baños I, Baños II, Baños III, Baños IV, Baños V y Tingo, además de la central Ampliación de Baños IV situada en el río Quiles. Además aguas abajo de la confluencia del Baños con el río Chancay Huaral se sitúa la central de Acos Hoyos.

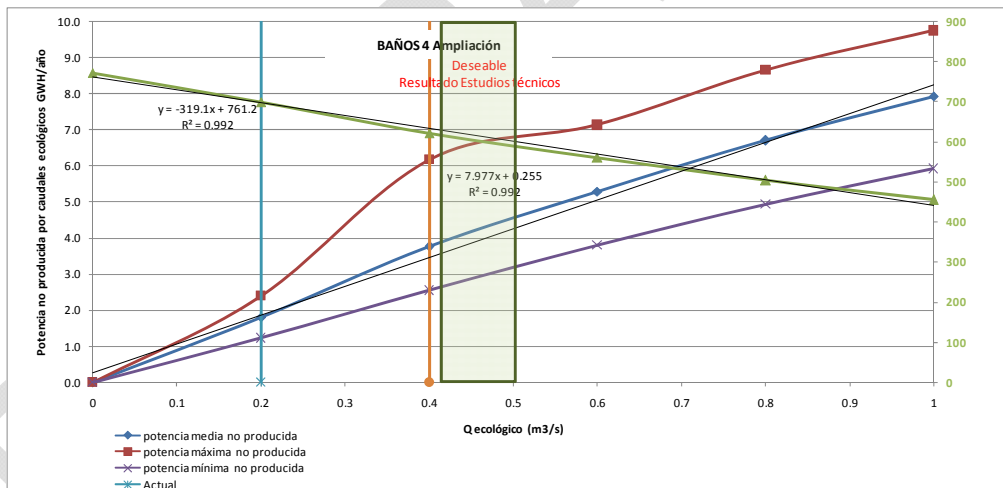
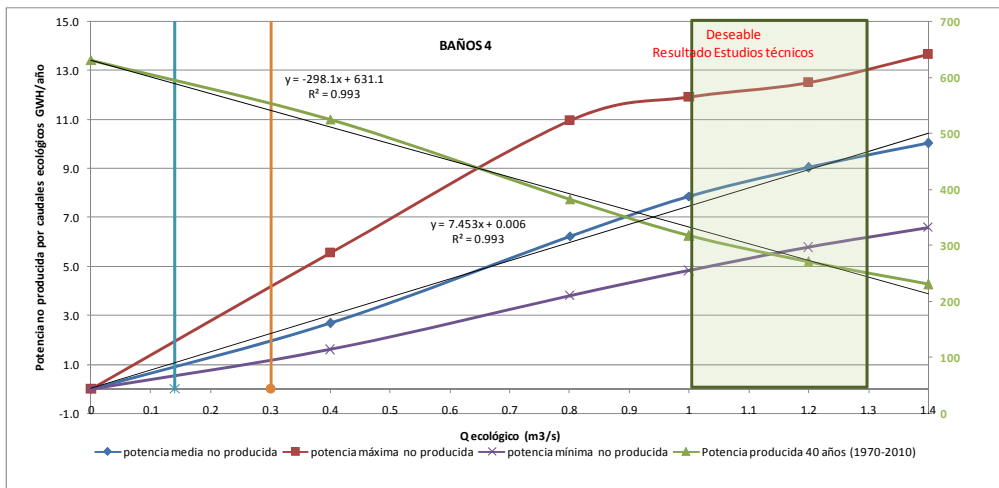




BO

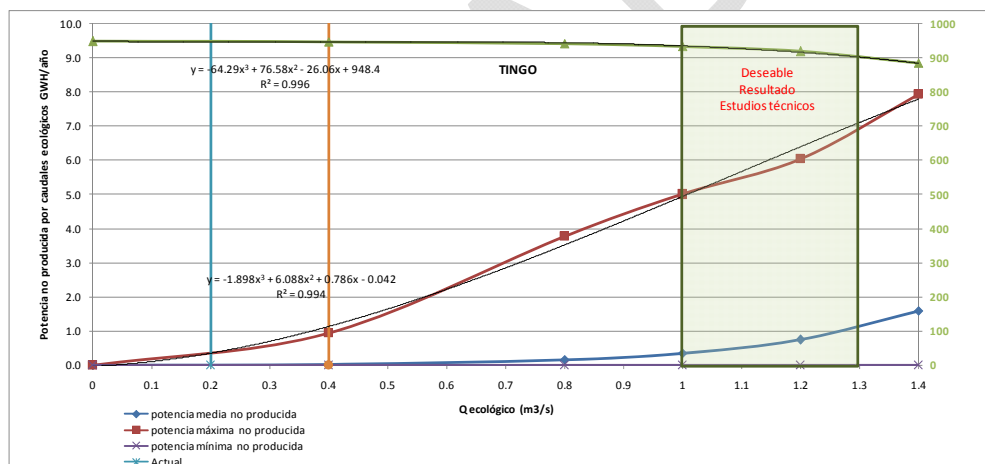
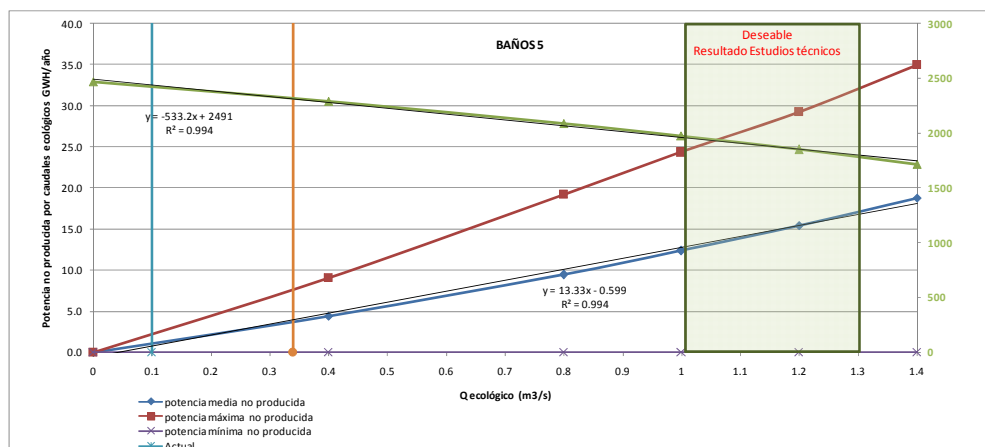
Repercusión del caudal ecológico en las centrales de Baños IV y Ampliación de Baños IV en los ríos Baños y Quiles

El rango óptimo de caudales se situaría entre 0.4 y 0.5 m³/s para estas centrales, mientras que para Baños 4 se debería subir hasta 1-1.3 m³/s. Mientras que en el río Quiles se mantendrá también un caudal de 0.4-0.5 m³/s.



Repercusión del caudal ecológico en las centrales de Baños V y Tingo en el tramo bajo del río Baños

Para las centrales del tramo bajo del río Baños se propone un mantenimiento de caudales en torno a 1-1.5 m³/s. Este caudal afectaría más a la central de Baños V ya que dispone de turbinas de mayor capacidad.



Repercusión del caudal ecológico en la central de Hoyos Acos en el tramo medio alto de Chancay Hual

La central de Hoyos Acos deberá respetar un caudal entre 3.2 y 4 m³/s aunque esto no supondrá una afección elevada en dicha central ya que el caudal circulante por la zona es elevado y la capacidad de la turbina es de 0.95 m³/s.

