

# EVALUACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES DERIVADOS DE LA INSTALACIÓN DE CINCO CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN EL RÍO MARAÑÓN

---



División de Limnología - CORBIDI

Eduardo Oyague

Adrián Vera

Sarah Landeo

Gabriel Trujillo

2016



---

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de una serie de Centrales Hidroeléctricas (CHs) propuestas en la cuenca del río Marañón, constituye un riesgo ambiental y social importante que, por lo general, no suele ser evaluado por las agencias estatales promotoras.

Algunos de los riesgos asociados al desarrollo de una gran cantidad de proyectos hidroeléctricos en el piedemonte Andino-Amazónico, serían según Finer & Jenkins (2012):

1. La pérdida de conectividad fluvial.
2. La construcción de accesos (y consiguiente poblamiento) en algunos lugares que actualmente soportan una presión demográfica menor (el bosque seco del Marañón por ejemplo).
3. La alteración hidrológica.

En el presente trabajo, se analiza la potencial afectación de cuatro factores ambientales, los cuales son considerados servicios ambientales clave del río:

1. Alteración hidrológica.
2. Modificación en los patrones de transporte/deposición de sólidos suspendidos.
3. Alteración de rutas migratorias de peces.
4. Áreas agrícolas inundadas por los embalses.

Adicionalmente, se han identificado –de manera preliminar- los posibles efectos sobre el llano inundable aguas abajo del Pongo de Manseriche.

Para realizar el análisis de manera óptima, en primer lugar se ha realizado una selección de los cinco (5) proyectos que mayor riesgo representan para la cuenca en base a una serie de criterios objetivos, los cuales se presentan en la sección siguiente. Luego de seleccionar los cinco proyectos a ser analizados, se analiza de manera individual los impactos asociados a cada una de las cinco centrales hidroeléctricas (CHs). Finalmente, se analizan los impactos acumulativos del funcionamiento conjunto de las cinco CHs.

---

## SELECCIÓN DE PROYECTOS

Contando con información relevante sobre 17 proyectos hidroeléctricos cuyo desarrollo ha sido planteado en la cuenca del río Marañón, resulta necesario concentrar los esfuerzos de evaluación en un número menor de instalaciones probables, cuyos impactos potenciales puedan ser los más significativos. Para ello se desarrolló una matriz de priorización basada en ocho (8) atributos cuantificables y categorizables:

1. El estado de desarrollo del proyecto.
2. La capacidad de producción prevista, en MW.
3. La ubicación relativa del proyecto (con respecto a la cuenca del río Marañón).
4. Área inundada por el reservorio (en km<sup>2</sup>).
5. Número de poblados ubicados dentro del área inundada por el embalse.
6. Área de campos de cultivo inundados por el embalse (en km<sup>2</sup>).
7. El ratio entre el área inundada (en km<sup>2</sup>) y la producción (en MW).
8. El ratio entre el número de poblados inundados y la producción, como una aproximación al ratio población/producción propuesto por el Banco Mundial (Ledec & Quintero, 2003).

La selección de un número menor de proyectos en base a una matriz de priorización permite la identificación de proyectos relevantes, y un manejo más objetivo de la información disponible. Los proyectos seleccionados no son necesariamente los únicos que podrían desarrollarse en el ámbito de estudio, sin embargo se ha buscado asignar una valoración específica a características que elevan la probabilidad de desarrollo efectivo del proyecto, tales como el estado de desarrollo/saneamiento (sin concesión, concesión temporal o concesión definitiva) o el potencial de generación hidroeléctrica, junto con criterios más técnicos como factores de eficiencia o viabilidad ambiental y social.

### Criterios generales de valoración

La matriz de calificación ha sido elaborada de manera que permita priorizar de manera objetiva los proyectos que representen impactos o riesgos mayores desde las perspectivas ambiental y social. Cada uno de los ocho factores analizados cuenta con una escala de calificación de cuatro (4) categorías posibles (tabla 1), cada una de las cuales se relaciona con un nivel de impacto o riesgo potencial.

**Tabla 1.** Asignación general de valores de Impacto/Riesgo en la matriz de priorización

Valor asignado	Nivel de impacto previsto
1	Representa la condición de menor impacto potencial.
2	Representa una condición de impacto moderado.
3	Corresponde a una condición con el potencial de generar impactos significativos.
4	Corresponde a las condiciones de impacto más alto.

Finalmente, mediante la sumatoria de los valores correspondientes a cada factor, se obtiene un valor total asignado a cada proyecto hidroeléctrico. En función a ese valor se seleccionan los cinco proyectos que hayan obtenido las calificaciones más altas, es decir, los proyectos con el mayor potencial de generación de impactos.

Es importante señalar que en esta fase del análisis, la interpretación del impacto potencial no diferencia efectos negativos de positivos, sino que se trata únicamente de una cuantificación preliminar de potenciales impactos, sin importar la naturaleza de los mismos, con la intención de seleccionar un número limitado de proyectos que permitan un análisis objetivo y detallado de los efectos individuales y acumulativos de su implementación.

## Estado de desarrollo del proyecto

La fase de desarrollo del proyecto se relaciona directamente con la probabilidad de éxito en la concreción del mismo. Para este criterio las cuatro (4) categorías previstas fueron definidas en función a la existencia o inexistencia de una concesión temporal o definitiva, y el estatus actual de los Instrumentos de Gestión Ambiental (IGA) del proyecto, específicamente del Estudio de Impacto Ambiental detallado, considerando que este último es el que determina el marco general de la certificación ambiental requerida para obtener la concesión definitiva (tabla 2).

1. Sin concesión, corresponde a la mínima probabilidad de ejecución del proyecto.
2. Concesión temporal-estudios en desarrollo, para aquellos proyectos que cuentan con una concesión temporal por parte del Ministerio de Energía y Minas, en los que se están planificando o desarrollando estudios ambientales detallados
3. Concesión temporal-estudios en evaluación, son aquellos proyectos que cuentan con la concesión temporal y cuyos estudios ambientales concluidos se encuentran actualmente bajo revisión del Ministerio de Energía y Minas.
4. Concesión definitiva, para aquellos proyectos que cuentan con estudios aprobados y ya recibieron la certificación ambiental.

**Tabla 2.** Asignación de valores de Impacto por el estado de desarrollo del proyecto

Valor asignado	Nivel de impacto previsto
1	Sin concesión.
2	Concesión temporal-estudios en desarrollo.
3	Concesión temporal-estudios en evaluación.
4	Concesión definitiva.

**Tabla 3.** Niveles de significancia de Impacto/Riesgo por proyecto hidroeléctrico, en base al estado de desarrollo

Central Hidroeléctrica	Estado de desarrollo	Valor asignado
Manseriche	Sin concesión.	1
Rentema	Sin concesión.	1
Escurrebraga	Sin concesión.	1
Veracruz	Concesión definitiva.	4
Chadín 2	Concesión definitiva.	4
Río Grande	Concesión temporal-estudios en evaluación.	3
Bolívar	Sin concesión.	1
Chusgón	Sin concesión.	1
Pataz 2	Sin concesión.	1
San Pablo	Sin concesión.	1
Pataz 1	Sin concesión.	1
Yanamayo	Sin concesión.	1
Marañón	Concesión definitiva.	4
Pulpería	Sin concesión.	1
Llata 1	Sin concesión.	1
Puchka	Sin concesión.	1
Llata 2	Sin concesión.	1

Como puede verse en la tabla 3, de los 17 proyectos evaluados preliminarmente, 13 aún no cuentan siquiera con la concesión temporal. Por otra parte, el complejo hidroeléctrico Río Grande (Río Grande I y Río Grande II, Odebretch) cuenta con la concesión temporal

y un Estudio de Impacto Ambiental y Social (EIAS) actualmente en evaluación (Junio 2016) por parte de la Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE) del MINEM, y hay tres proyectos (Veracruz, Chadín 2 y Marañón) que cuentan con un EIAS aprobado, lo que equivale, en términos prácticos, a contar con la concesión definitiva.

### Capacidad de producción prevista para el proyecto

Entre los 17 proyectos evaluados existen diferentes capacidades de producción prevista, desde el valor mínimo correspondiente a 88 MW de la Central Hidroeléctrica Marañón (Empresa Hidroeléctrica Marañón S.R.L), en el departamento de Huánuco, hasta 4500 MW, que sería la máxima producción potencial de la Central Hidroeléctrica de Manseriche (D.S N° 020-2011-EM).

Considerando el rango de valores proyectados, la asignación de categorías de impacto se desarrolló de la siguiente forma:

1. El nivel más bajo de riesgo/impacto fue asignado a los proyectos con una producción prevista menor a 100 MW.
2. A aquellos proyectos con una producción prevista entre 100 y 500 MW, se les asignó la categoría de riesgo/impacto moderado.
3. Los proyectos cuya producción potencial se ubica entre 500 y 1000 MW fueron definidos como proyectos con potenciales impactos significativos.
4. Aquellos proyectos con un potencial de producción superior a 1000 MW se ubicaron en la categoría más alta de potencial riesgo/impacto.

**Tabla 4.** Asignación de valores de Impacto/Riesgo por la producción de energía prevista

Valor asignado	Rango de producción prevista (en MW)
1	Menor a 100 MW.
2	Entre 100 y 500 MW.
3	Entre 500 y 1000 MW.
4	Superior a 1000 MW.

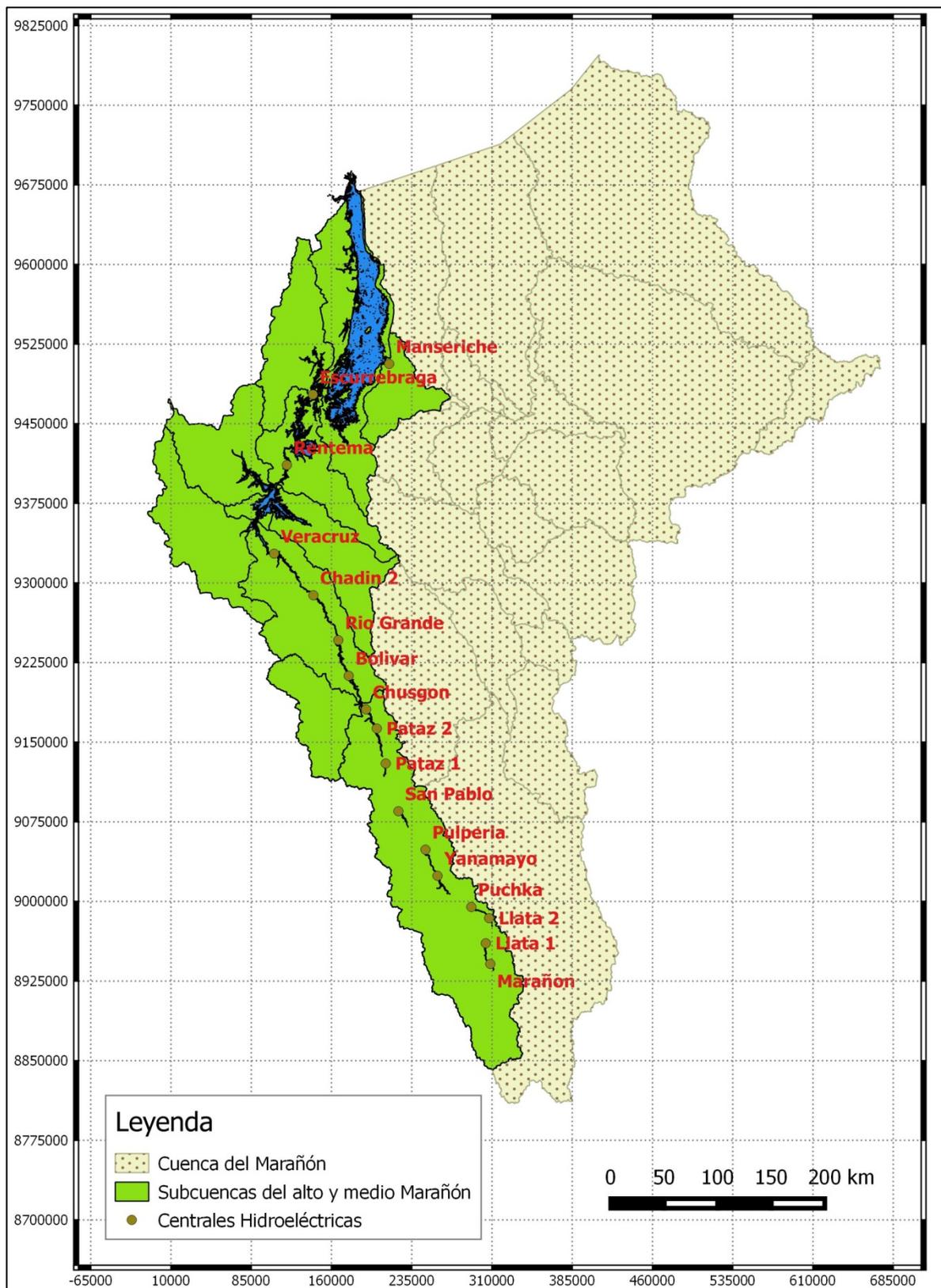
La tabla 5 muestra los valores asignados de acuerdo a las capacidades de producción previstas para cada una de las centrales hidroeléctricas evaluadas. Como puede verse, sólo una de las 17 centrales hidroeléctricas analizadas, la CH Marañón en el departamento de Huánuco, tendría una producción inferior a los 100 MW (88 MW) y por

tanto corresponde a la categoría de menor impacto potencial, 10 proyectos analizados tendrían una producción superior a los 100 MW e inferior a 500 (impactos potenciales moderados), los proyectos Río Grande (Complejo Río Grande), Chadín 2 y Veracruz han sido diseñados considerando un valor de producción entre 500 y 1000 MW (750, 600 y 730 MW respectivamente), por lo cual son ubicadas en la categoría de impactos o riesgos significativos, mientras que los proyectos Manseriche, Escurrebraga y Rentema, con 4500, 1800 y 1525 MW respectivamente, constituyen las iniciativas con el más alto potencial de generación de impactos, considerando su capacidad propuesta de producción energética.

**Tabla 5.** Niveles de significancia de Impacto/Riesgo por proyecto hidroeléctrico, en base a la producción de energía (MW)

Central Hidroeléctrica	Capacidad de producción (MW)	Valor asignado
Manseriche	4500	4
Rentema	1525	4
Escurrebraga	1800	4
Veracruz	730	3
Chadín 2	600	3
Río Grande	750	3
Bolívar	290	2
Chusgón	240	2
Pataz 2	240	2
San Pablo	390	2
Pataz 1	320	2
Yanamayo	160	2
Marañón	88	1
Pulpería	300	2
Llata 1	210	2
Puchka	140	2
Llata 2	200	2

Figura 1. Ubicación de las centrales hidroeléctricas evaluadas



---

## Ubicación relativa del proyecto

Tal como se señala en la sección introductoria, y como puede verse en la figura 1, el ámbito de estudio del presente trabajo se restringe a una sub-unidad hidrográfica de la cuenca del río Marañón (dentro del territorio peruano), compuesta por las sub-cuencas del alto y medio Marañón, y comprendidas entre las nacientes del río en el glaciar del nevado de Yapura, y la salida del pongo de Manseriche. En esta área se encuentran ubicados los 17 proyectos hidroeléctricos pre-seleccionados para éste análisis.

Todo el ámbito de estudio descrito, se ha dividido en cuatro sectores:

1. El sector bajo es aquel que está comprendido entre el Pongo de Manseriche y el poblado de Cumba y alrededores, zona en la que el valle es relativamente amplio, sostiene actividades agrícolas intensivas, y la diferencia altitudinal es pequeña (250 a 500 msnm), lo que promueve que los embalses derivados de la instalación de presas, sean muy amplios, ocupando grandes extensiones de terreno, a menudo económicamente productivo.
2. El sector medio-bajo, es el tramo comprendido entre Cumba y Patatz (500 a 1200 msnm aproximadamente), una zona marcadamente estrecha, con escasos terrenos aluviales en los márgenes del río principal y laderas con una marcada pendiente.
3. El sector medio-alto corresponde al tramo entre Patatz y Chavin de Pariarca (1200 a 3000 msnm).
4. El sector Altoandino es aquel comprendido entre los 3000 msnm, hasta las nacientes del río Marañón.

En estos cuatro sectores se ubican los 17 proyectos de centrales hidroeléctricas evaluados, y a cada sector se le ha asignado un valor relativo a los niveles de significancia o intensidad de los impactos/riesgos, partiendo de la premisa, señalada por Postel & Richter (2003), Arthington (2012), Finer & Jenkins (2012) entre otros, de que cuanto más abajo en la cuenca se ubica una obra hidráulica (represa, bocatoma, etc.) mayor el impacto generado en la totalidad de la cuenca, tanto aguas arriba (reducción de vías migratorias, medios de transporte, conectividad en general) como aguas abajo (reducción en la tasa de transporte de nutrientes, alteración hidrológica, etc.). De esta manera se obtiene el criterio de asignación de impacto/riesgo potencial que puede apreciarse en la tabla 6.

**Tabla 6.** Asignación de valores de Impacto/Riesgo por la ubicación relativa en la cuenca

Valor asignado	Sector de la cuenca
1	Altoandino (por encima de los 3000 m.s.n.m).
2	Cuenca media-alta (1200 a 3000 m.s.n.m).
3	Cuenca media-baja (500 a 1200 m.s.n.m).
4	Cuenca baja (250 a 500 m.s.n.m).

**Tabla 7.** Niveles de significancia de Impacto/Riesgo por proyecto hidroeléctrico, en base a su ubicación relativa

Central Hidroeléctrica	Capacidad de producción (MW)	Valor asignado
Manseriche	Cuenca baja.	4
Rentema	Cuenca baja.	4
Escurrebraga	Cuenca baja.	4
Veracruz	Cuenca media-baja.	3
Chadín 2	Cuenca media-baja.	3
Río Grande	Cuenca media-baja.	3
Bolívar	Cuenca media-baja.	3
Chusgón	Cuenca media-baja.	3
Pataz 2	Cuenca media-baja.	3
San Pablo	Cuenca media-alta.	2
Pataz 1	Cuenca media-alta.	2
Yanamayo	Cuenca media-alta.	2
Marañón	Cuenca media-alta.	2
Pulpería	Cuenca media-alta.	2
Llata 1	Cuenca media-alta.	2
Puchka	Cuenca media-alta.	2
Llata 2	Cuenca media-alta.	2

De acuerdo con su posición relativa en la unidad hidrográfica de estudio (sub-cuencas media y alta del río Marañón), las 17 centrales hidroeléctricas evaluadas se distribuyen de la siguiente manera (tabla 7): Manseriche, Escurrebraga y Rentema se encuentran ubicadas en el sector bajo de la cuenca (zona con probabilidad de generar/experimentar

efectos ambientales más intensivos). Seis proyectos se ubican en el sector medio-bajo de la cuenca: estos son aquellos comprendidos entre Veracruz y Patatz 2. En el sector denominado como cuenca media alta, se ubican los ocho proyectos restantes, desde San Pablo hasta Marañón, que es la CH ubicada más arriba en el ámbito de estudio.

## Área inundada por reservorio

El área total inundada por el reservorio que se genera como producto de la construcción de una represa, sea esta con fines de regulación, producción energética o gestión de los Recursos Hídricos (RRHH) suele ser, en términos generales, uno de los impactos directos más grandes derivados del proyecto, puesto que genera una serie de modificaciones a nivel local, tales como el cambio en el tipo de hábitat acuático y la inundación de áreas habitadas y utilizadas en actividades económicas por parte de las poblaciones locales. Además, la inundación de cantidades importantes de materia orgánica que no puede ser oportunamente desbrozada (o cuyo desbroce no es económicamente viable), suele derivar en el desarrollo de procesos de enriquecimiento de nutrientes del nuevo hábitat léntico<sup>1</sup> generado, llegando a la eutrofización<sup>2</sup> y/o a la posible emisión de gases de efecto invernadero.

**Tabla 8.** Asignación de valores de Impacto/Riesgo por el tamaño del reservorio (en km<sup>2</sup>)

Valor asignado	Tamaño del reservorio (en km <sup>2</sup> )
1	Menor a 10 km <sup>2</sup> , pequeño embalse.
2	Entre 10 y 100 km <sup>2</sup> , embalse mediano.
3	Entre 100 y 1000 km <sup>2</sup> , gran embalse.
4	Mayor a 1000 km <sup>2</sup> , megaembalse.

De acuerdo a estas condiciones, y en función a las áreas de inundación simuladas para los embalses de la cuenca del río Marañón (International Rivers, 2014), se identificaron cuatro (4) posibles categorías en relación al tamaño del embalse (tabla 8):

1. Pequeños embalses, aquellos que ocupan áreas menores a 10 km<sup>2</sup>
2. Embalses medianos, son aquellos que inundan áreas comprendidas entre 10 y 100 km<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hábitat acuático cuya principal característica es la ausencia de una corriente continua, p.ej. lagos, lagunas, embalses.

<sup>2</sup> Proceso caracterizado por el aumento de nutrientes, y consecuente cambio del equilibrio ecológico en los ecosistemas acuáticos.

3. Grandes embalses, se considera a aquellos cuya área de ocupación supera los 100 km<sup>2</sup>, pero se ubican por debajo de los 1000 km<sup>2</sup>
4. Megaembalses, para aquellos (Manseriche en este caso) cuya área de inundación total cubre una extensión superior a los 1000 km<sup>2</sup>

**Tabla 9.** Niveles de significancia de Impacto/Riesgo por proyecto hidroeléctrico, en base a la superficie del reservorio

Central Hidroeléctrica	Área inundada (km <sup>2</sup> )	Valor asignado
Manseriche	5470	4
Rentema	874	3
Escurrebraga	875	3
Veracruz	36	2
Chadín 2	32.5	2
Río Grande	56	2
Bolívar	56	2
Chusgón	25	2
Pataz 2	17	2
San Pablo	9	1
Pataz 1	4	1
Yanamayo	16	2
Marañón	2	1
Pulpería	8	1
Llata 1	9	1
Puchka	6	1
Llata 2	2	1

Al analizar los valores correspondientes al área de los embalses previstos a generarse como producto de la construcción de los proyectos hidroeléctricos (tabla 9), es posible apreciar que habría un megaembalse, que corresponde al proyecto Manseriche. Este reservorio, de más de 5000 km<sup>2</sup> (5470 según el modelo desarrollado por International Rivers (2014)) ocuparía una parte importante del sector bajo del ámbito de estudio, incluyendo prácticamente la totalidad del valle del río Cenepa en territorio peruano (véase la figura 2).

**Figura 2.** Embalse de la central hidroeléctrica Manseriche

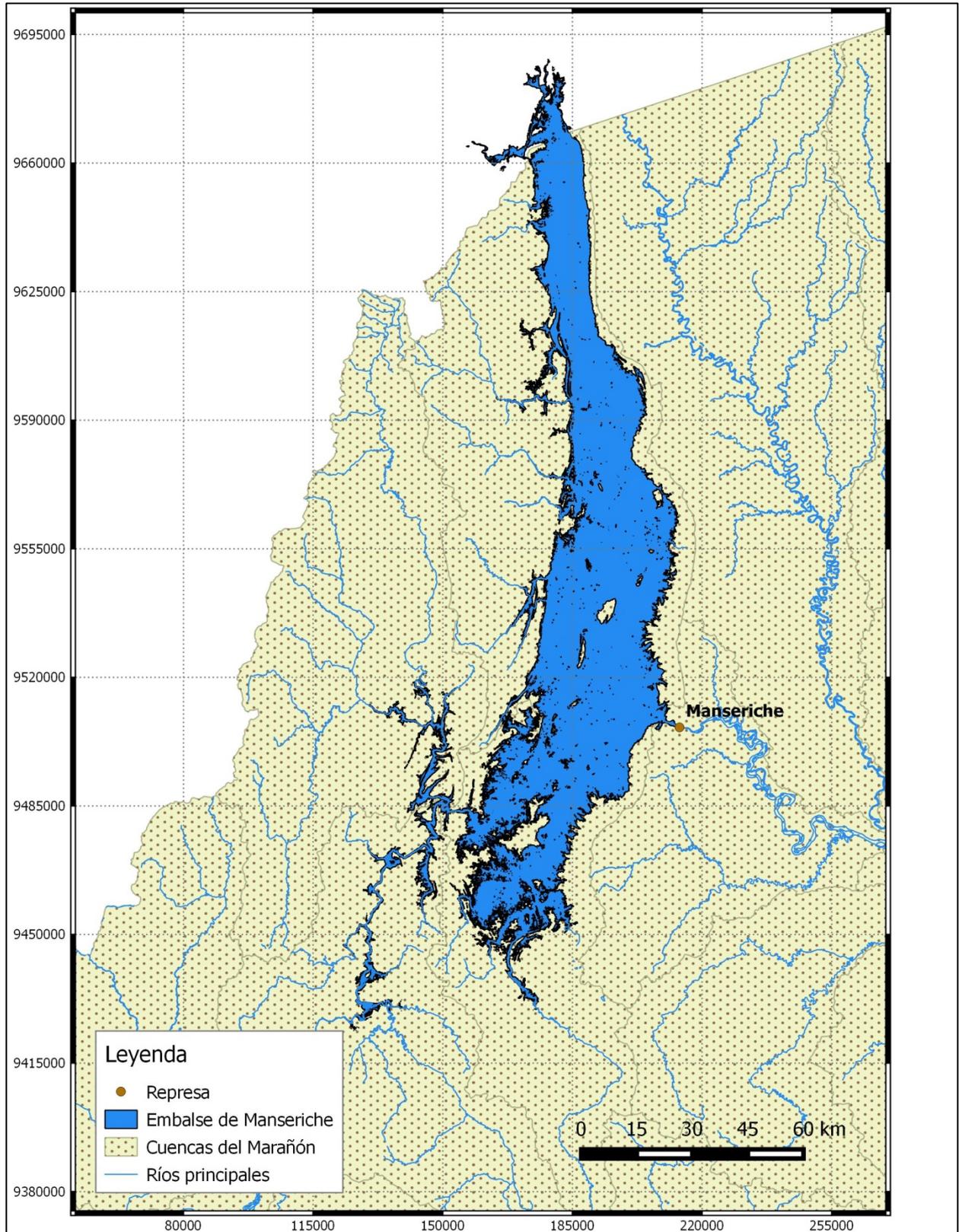
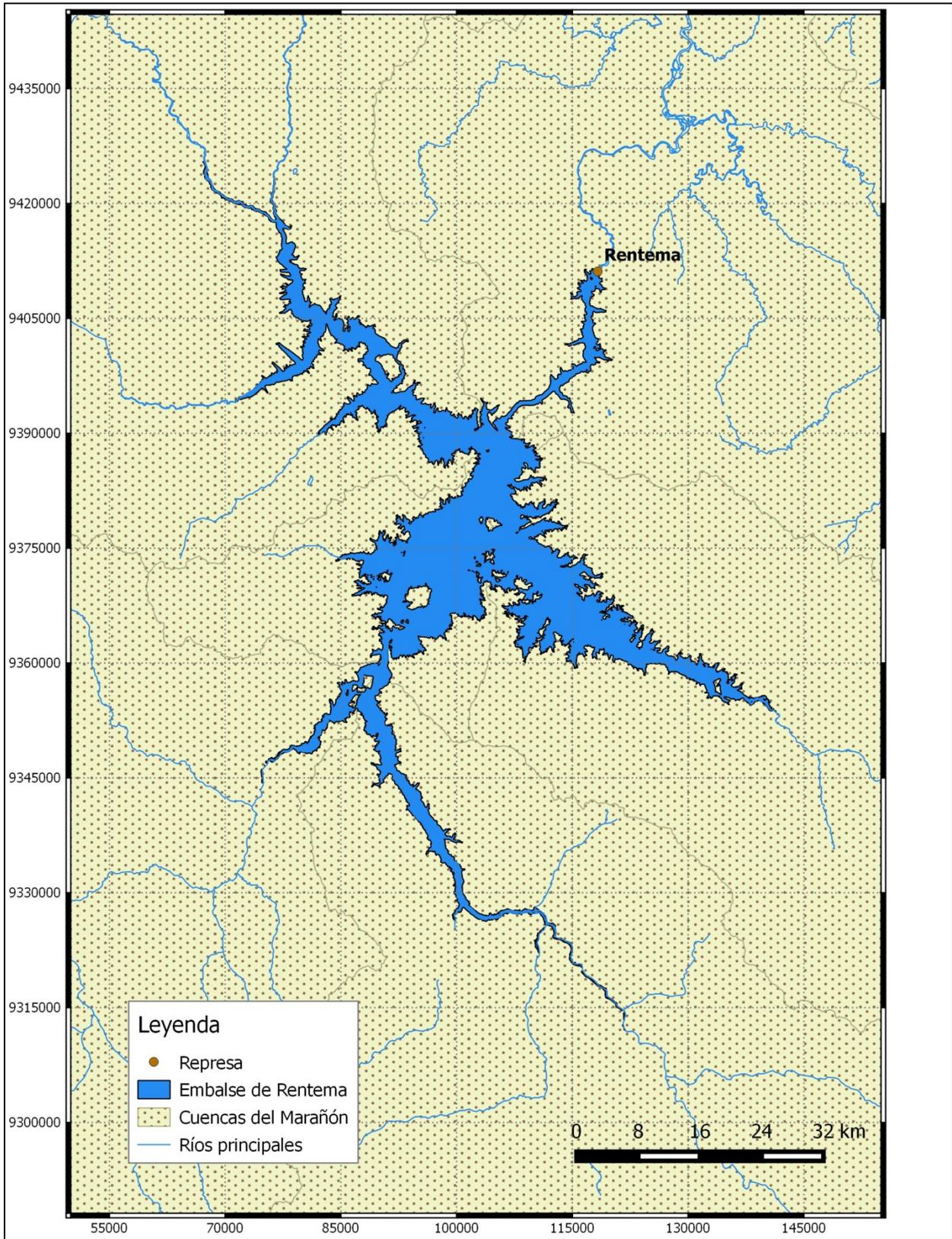
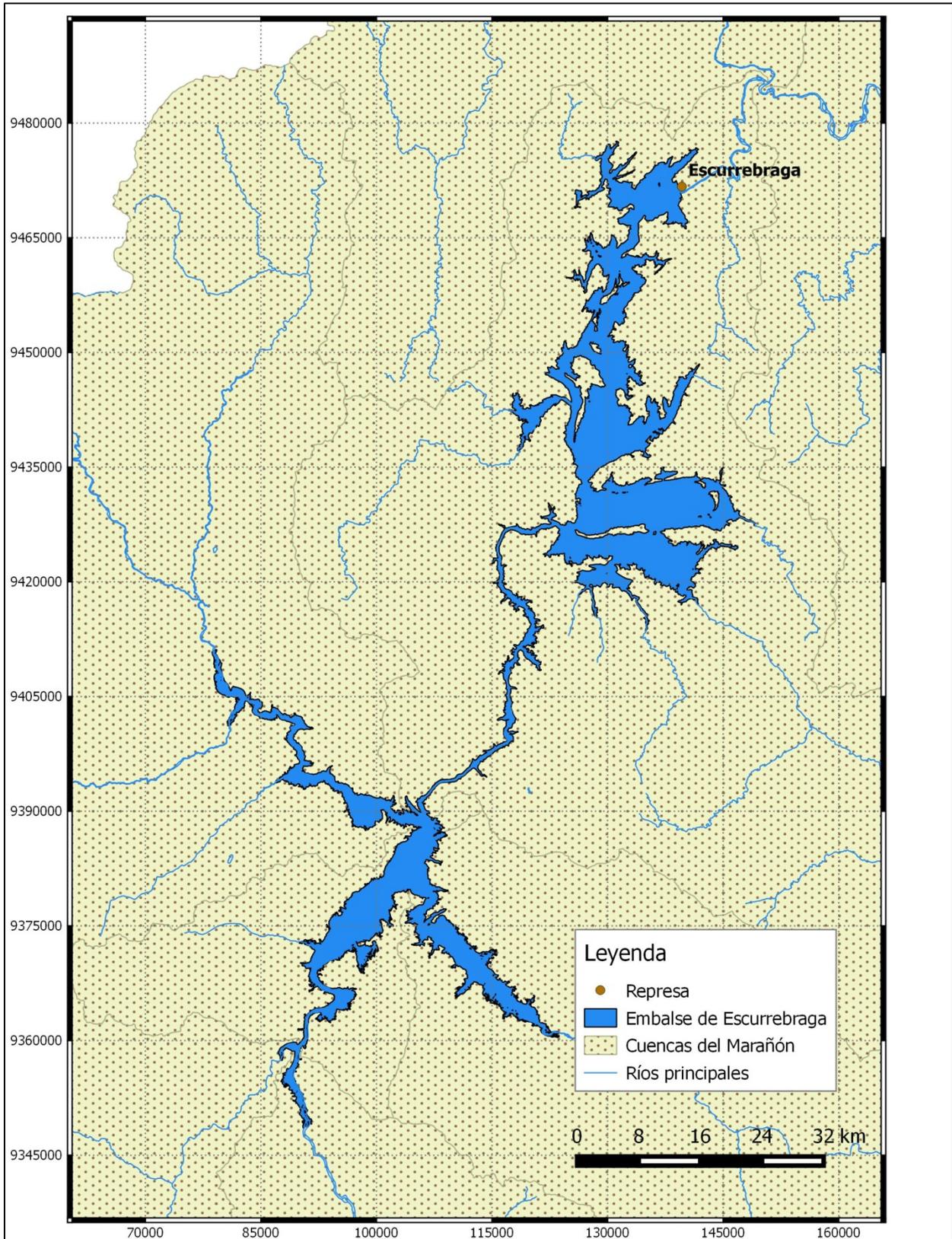


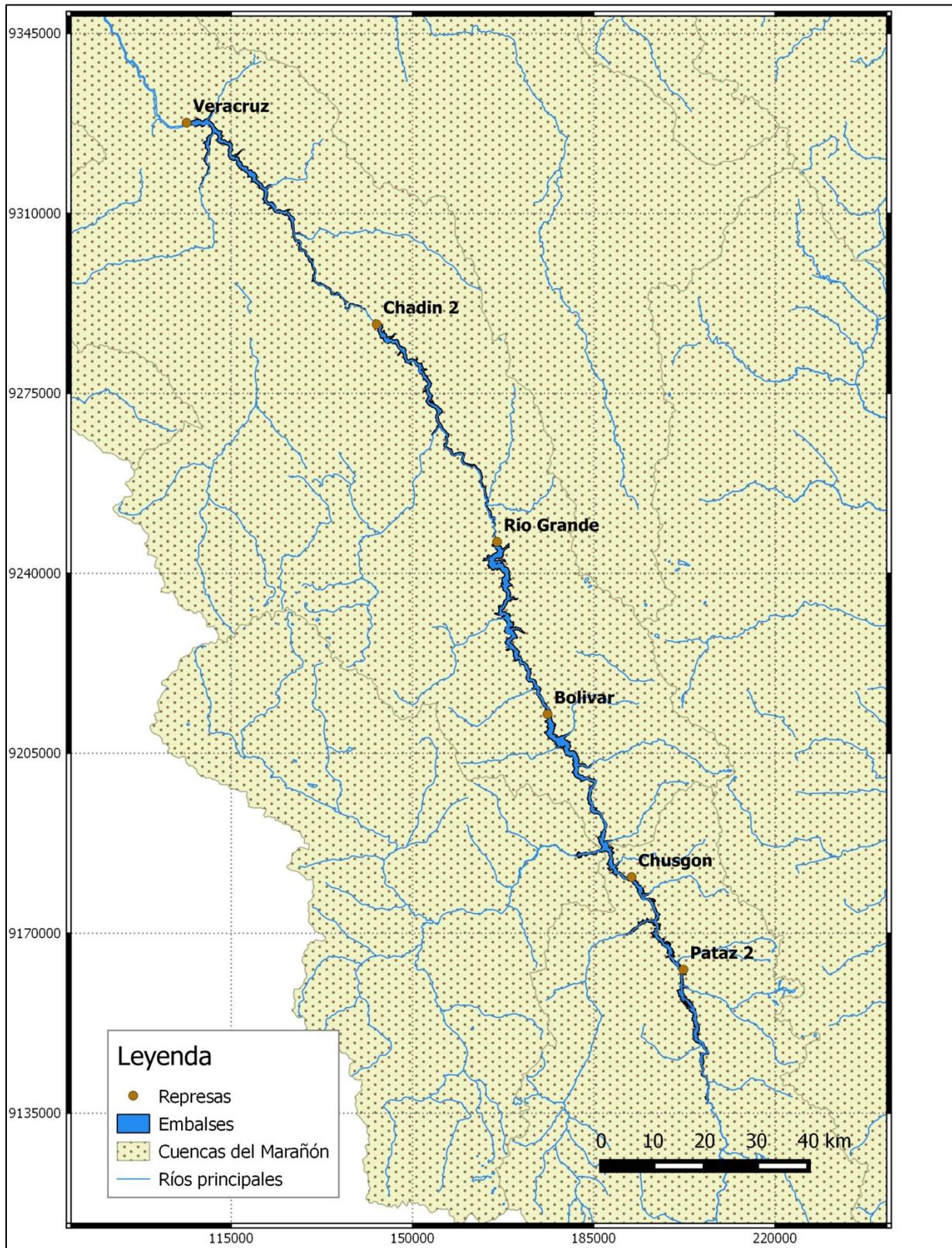
Figura 3. Embalse de la central hidroeléctrica Rentema



**Figura 4.** Embalse de la central hidroeléctrica Escurrebraga



**Figura 5.** Embalses de las centrales hidroeléctricas en el sector medio-bajo



**Figura 6.** Embalses de las centrales hidroeléctricas en el sector medio-alto



También en el sector de cuenca baja se ubican dos grandes embalses pertenecientes a los proyectos hidroeléctricos de Rentema y de Escurrebraga, ambos con más de 800 km<sup>2</sup> de área inundada (figura 3 y figura 4 respectivamente). En el sector medio-bajo de la cuenca analizada, se ubican seis embalses medianos con espejos de agua mayores a 10 km<sup>2</sup> pero por debajo de 100 km<sup>2</sup> (figura 5), mientras que en el sector medio-alto, la extensión de los embalses es significativamente menor, habiendo sólo uno (Yanamayo) superior a los 10 km<sup>2</sup>, mientras que los siete restantes cubren extensiones inferiores (figura 6).

Al recopilar la información de centros poblados inundados por los embalses, se identificaron cuatro categorías, en relación a la magnitud del impacto (tabla 10):

1. El menor nivel de impacto sería generado por represas que inunden menos de 10 Centros poblados.
2. El segundo nivel de impacto lo generarían proyectos hidroeléctricos cuyos embalses alcancen a inundar entre 10 y 100 centros poblados.
3. En la tercera categoría generada con respecto al nivel de impacto por poblados inundados se encuentran los embalses que inunden entre 100 y no más de 200 comunidades.
4. Por último, la categoría de mayor impacto será la comprendida por los proyectos hidroeléctricos que inunden de 200 a más centros poblados.

**Tabla 10.** Asignación de valores de Impacto por número de centros poblados inundados.

Valor asignado	Número de centros poblados inundados
1	Menor a 10 centros poblados inundados.
2	Entre 10 y 100 centros poblados inundados.
3	Entre 100 y 200 centros poblados inundados.
4	Más de 200 centros poblados inundados.

Tal como se ha venido apreciando, los proyectos hidroeléctricos ubicados en la cuenca baja del río Marañón (Manseriche, Rentema y Escurrebraga) son los que generarían los mayores impactos. Consignando un valor de 4 en la escala de impactos, todos ellos generarían embalses que llegan a cubrir más de 200 centros poblados. Cinco centrales hidroeléctricas inundarían entre 10 y 100 centros poblados; tres de estas cinco (Veracruz, Patatz 2 y Llata 1) con valores ligeramente superiores a los 10 centros poblados (11, 13 y 11 centros poblados inundados respectivamente), mientras que Río Grande y Bolívar inundarían 24 y 19 centros poblados cada una. Por último, los restantes 9 embalses inundarían menos de 10 centros poblados. Los datos

correspondientes al número de centros poblados y al valor de impacto asignado por central hidroeléctrica pueden ser revisados en la tabla 11.

**Tabla 11** Niveles de significancia de Impacto por proyecto hidroeléctrico, en base al número de centros poblados inundados

Central Hidroeléctrica	Centros poblados inundados	Valor asignado
Manseriche	338	4
Rentema	290	4
Escurrebraga	217	4
Veracruz	11	2
Chadín 2	9	1
Río Grande	24	2
Bolívar	19	2
Chusgón	9	1
Pataz 2	13	2
San Pablo	6	1
Pataz 1	1	1
Yanamayo	3	1
Maraón	4	1
Pulpería	2	1
Llata 1	11	2
Puchka	0	1
Llata 2	0	1

## Área de cultivos inundados

Las áreas de terrenos de cultivo inundados por los embalses que generarían los proyectos hidroeléctricos evaluados se encuentran directamente relacionadas a las actividades económicas de las poblaciones de la zona. En este sentido, las poblaciones involuntariamente desplazadas no solo pierden su hogar, sino que también se ponen en riesgo las actividades económicas que sostienen a las familias.

Tal como se ha venido desarrollando, para evaluar las áreas de terrenos de cultivo inundados, se identificaron previamente cuatro categorías de impacto en relación a la cantidad de km<sup>2</sup> inundados por embalse:

1. El valor asignado para el menor impacto es para los proyectos que inunden menos de 1 km<sup>2</sup> de área de terreno de cultivo.
2. Un valor superior de impacto es atribuido a aquellos proyectos que afecten un área entre 1 y 10 km<sup>2</sup> de terreno de cultivo.
3. La tercera categoría de impacto es asignada a los embalses que afecten entre los 10 y 100 km<sup>2</sup> de área de terrenos de cultivo.
4. Por último, el mayor valor de impacto es asignado a aquellos embalses que inunden más de 100 km<sup>2</sup> de área de terreno de cultivo.

**Tabla 12.** Asignación de nivel de Impacto por superficie de cultivos inundada (km<sup>2</sup>).

Valor asignado	Terreno de cultivo inundado (en km <sup>2</sup> )
1	Menos de 1 km <sup>2</sup> de área de terreno de cultivo inundado.
2	Entre 1 y 10 km <sup>2</sup> de área de terreno de cultivo inundado.
3	Entre 10 y 100 km <sup>2</sup> de área de terreno de cultivo inundado.
4	Más de 100 km <sup>2</sup> de área de terreno de cultivo inundado.

De esta manera podemos apreciar que los embalses de Manseriche, Rentema y Escurrebraga son los que califican como los de mayor impacto, con áreas inundadas de 598.59, 354.62 y 381.91 km<sup>2</sup> respectivamente. Las cantidades de terrenos de cultivo perdidas por las CHs son grandes, y representan impactos significativos para las poblaciones que se benefician de éstos. Con un nivel de impacto moderado (terreno de cultivo inundado entre 1 y 10 km<sup>2</sup>) podemos encontrar a la mayoría de las centrales hidroeléctricas de la cuenca media-alta del Marañón (Chadín 2, Río Grande, Bolívar, Chusgón, Pataz 2, San Pablo, Marañón y Llata 1), mientras que con el menor impacto posible -medido en términos de área de terreno de cultivo inundado-, se encuentran los embalses de las centrales de Veracruz, Pataz 1, Yanamayo, Pulpería, Puchka y Llata 2. Los valores calculados para el área total de terrenos de cultivo inundados por embalse, así como su valor de impacto, pueden ser revisados y comparados en la tabla 13.

**Tabla 13** Niveles de significancia de Impacto por proyecto hidroeléctrico, en base al área de terreno de cultivo inundado

Central Hidroeléctrica	Área de terreno de cultivo inundado (Km <sup>2</sup> )	Valor asignado
Manseriche	598.59	4
Rentema	354.62	4
Escurrebraga	381.91	4
Veracruz	0.73	1
Chadín 2	2.45	2
Río Grande	5.56	2
Bolívar	3.26	2
Chusgón	1.54	2
Pataz 2	2.19	2
San Pablo	1.72	2
Pataz 1	0.74	1
Yanamayo	0.97	1
Marañón	1.00	2
Pulpería	0.60	1
Llata 1	2.74	2
Puchka	0.31	1
Llata 2	0.30	1

### Relación Área inundada/producción

Tal como se ha descrito previamente, el tamaño del área inundada por el reservorio es uno de los principales problemas ambientales y sociales que genera la construcción de centrales hidroeléctricas. Mientras más grande sea el área del reservorio (p. ej. Manseriche), mayor será la pérdida de hábitats, biodiversidad y la cantidad de personas afectadas. En este sentido, una medida bastante útil para evaluar la calidad de los proyectos (en términos de costos ambientales y beneficios económicos) es usar el ratio área total inundada por megawatt (MW) de energía generado. Es altamente deseable

que este ratio se encuentre por debajo del promedio mundial ( $0.6 \text{ km}^2/\text{MW}$ ) (Ledec & Quintero, 2003).

Teniendo en cuenta las recomendaciones del Banco Mundial (Ledec & Quintero, 2003), se desarrollaron criterios de impacto correspondientes a cuatro niveles del ratio área inundada/producción (tabla 14):

1. El menor impacto sería generado por aquellas estaciones donde el ratio de área inundada/producción sea menor a  $0.1 \text{ km}^2/\text{MW}$ .
2. Un nivel superior de impacto lo generarían estaciones donde el ratio de área inundada /producción se encuentre entre  $0.1$  y  $0.5 \text{ km}^2/\text{MW}$ .
3. Represas con el potencial de generar impactos significativos se ubicarían en el rango de área inundada/producción entre  $0.5$  y  $1.0 \text{ km}^2/\text{MW}$ .
4. Las condición de mayor impacto sería generado por centrales hidroeléctricas cuya relación área inundada/producción se encuentre por encima de  $1.0 \text{ km}^2/\text{MW}$ .

**Tabla 14.** Asignación de valores de Impacto por ratio de área inundada ( $\text{km}^2$ )/producción (MW).

Valor asignado	Área inundada por mega watt generado
1	Valor de la proporción: menor a $0.1 \text{ km}^2/\text{MW}$ .
2	Valor de la proporción: entre $0.1$ y $0.5 \text{ km}^2/\text{MW}$ .
3	Valor de la proporción: entre $0.5$ y $1.0 \text{ km}^2/\text{MW}$ .
4	Valor de la proporción: mayor a $1.0 \text{ km}^2/\text{MW}$ .

Al analizar los valores del ratio área inundada por megawatt (MW) generado, se puede apreciar que la única central hidroeléctrica que supera el valor de  $1.0$  es la CH de Manseriche (ratio igual a  $1.22 \text{ km}^2/\text{MW}$ ), la cual inundaría mucha más área que la energía que producirían sus turbinas. Con un ratio igual a  $0.57 \text{ km}^2$  inundados por MW generado y un impacto menor a la central anterior, se encuentra la CH de Rentema. Así mismo, se puede apreciar que 3 estaciones generarían impactos moderados de acuerdo a este ratio. Estas serían las centrales hidroeléctricas de Escurrebraga, Bolívar y Chusgón, con valores de  $0.49$ ,  $0.19$  y  $0.10 \text{ km}^2/\text{MW}$ . Por último, el resto de centrales generarían menores impactos, todas ellas con valores del ratio por debajo de  $0.1 \text{ km}^2/\text{MW}$ . Estos valores pueden ser revisados y comparados en la tabla 15.

**Tabla 15** Niveles de significancia de Impacto por proyecto hidroeléctrico, en base en base al ratio área inundada (km<sup>2</sup>)/producción (MW).

Central Hidroeléctrica	Área de terreno de cultivo inundada	Valor asignado
Manseriche	1.22	4
Rentema	0.57	3
Escurrebraga	0.49	2
Veracruz	0.05	1
Chadín 2	0.05	1
Río Grande	0.07	1
Bolívar	0.19	2
Chusgón	0.10	2
Pataz 2	0.07	1
San Pablo	0.02	1
Pataz 1	0.01	1
Yanamayo	0.10	1
Maraón	0.02	1
Pulpería	0.03	1
Llata 1	0.04	1
Puchka	0.04	1
Llata 2	0.01	1

### Relación poblados inundados/producción

Al igual que el ratio área inundada/producción, el número de poblados inundados entre la producción energética generada nos brinda información con respecto a la eficiencia del proyecto en términos sociales, pues se encuentra directamente relacionado a las poblaciones desplazadas involuntariamente.

De acuerdo a los ratios calculados, se identificaron cuatro categorías en relación a la magnitud del impacto (tabla 16):

1. El menor impacto sería generado por la construcción y operación de las CH cuyo rango de poblados inundados/producción sea menor a 0.01.

2. Un nivel de impacto superior lo generarían las CH cuyo ratio se encuentre entre el rango de 0.01 y 0.05 poblados inundados por MW generado.
3. Un nivel de impacto significativo sería generado por centrales hidroeléctricas cuyo ratio se encuentre entre 0.05 y 0.1 poblados inundados por MW generado.
4. Por último, la mayor categoría de impacto agruparía a las centrales hidroeléctricas cuyo valor del ratio sea superior a 0.1 poblados inundados por MW generado.

**Tabla 16.** Asignación de valores de Impacto por número de poblados inundados/producción (MW).

Valor asignado	Número de poblados inundados por mega watt generado
1	Proporción de la proporción: menor a 0.01 poblados inundados por MW generado.
2	Proporción de la proporción: entre 0.01 y 0.05 poblados inundados por MW generado.
3	Proporción de la proporción: entre 0.05 y 0.1 poblados inundados por MW generado.
4	Proporción de la proporción: mayor a 0.1 poblados inundados por MW generado.

Como se puede apreciar en la tabla 17, las dos centrales que generarían el mayor impacto, medido en términos del ratio número de poblados inundados/producción (MW), serían las centrales hidroeléctricas Rentema y Escurrebraga. Cuatro centrales: Manseriche, Bolívar, Pataz 2 y Llata 1 generarían impactos significativos. Las centrales hidroeléctricas Veracruz, Chadín 2, Río Grande, Chusgón, San Pablo, Yanamayo y Marañón, generarían impactos moderados al tener un ratio entre 0.01 y 0.05 poblados inundados por MW generado. El resto de estaciones registran valores del ratio por debajo de 0.01 poblados inundados por MW generado.

## Proyectos seleccionados

De los 20 proyectos hidroeléctricos declarados de interés nacional por el D.S N°020-2011-EM (17 revisados en este documento), existen seis que presentan puntajes bastante altos en base al potencial de impacto que podrían generar: Manseriche (28), Rentema (27), Escurrebraga (26) Veracruz (18), Chadín 2 (18) y Río Grande (18).

Sin embargo; si se tiene en cuenta la locación de los embalses, el proyecto hidroeléctrico Escurrebraga cuenta con un embalse que se sobrepone al de otros dos proyectos (Manseriche y Rentema) cuyos embalses no se sobrepone entre sí. El proyecto

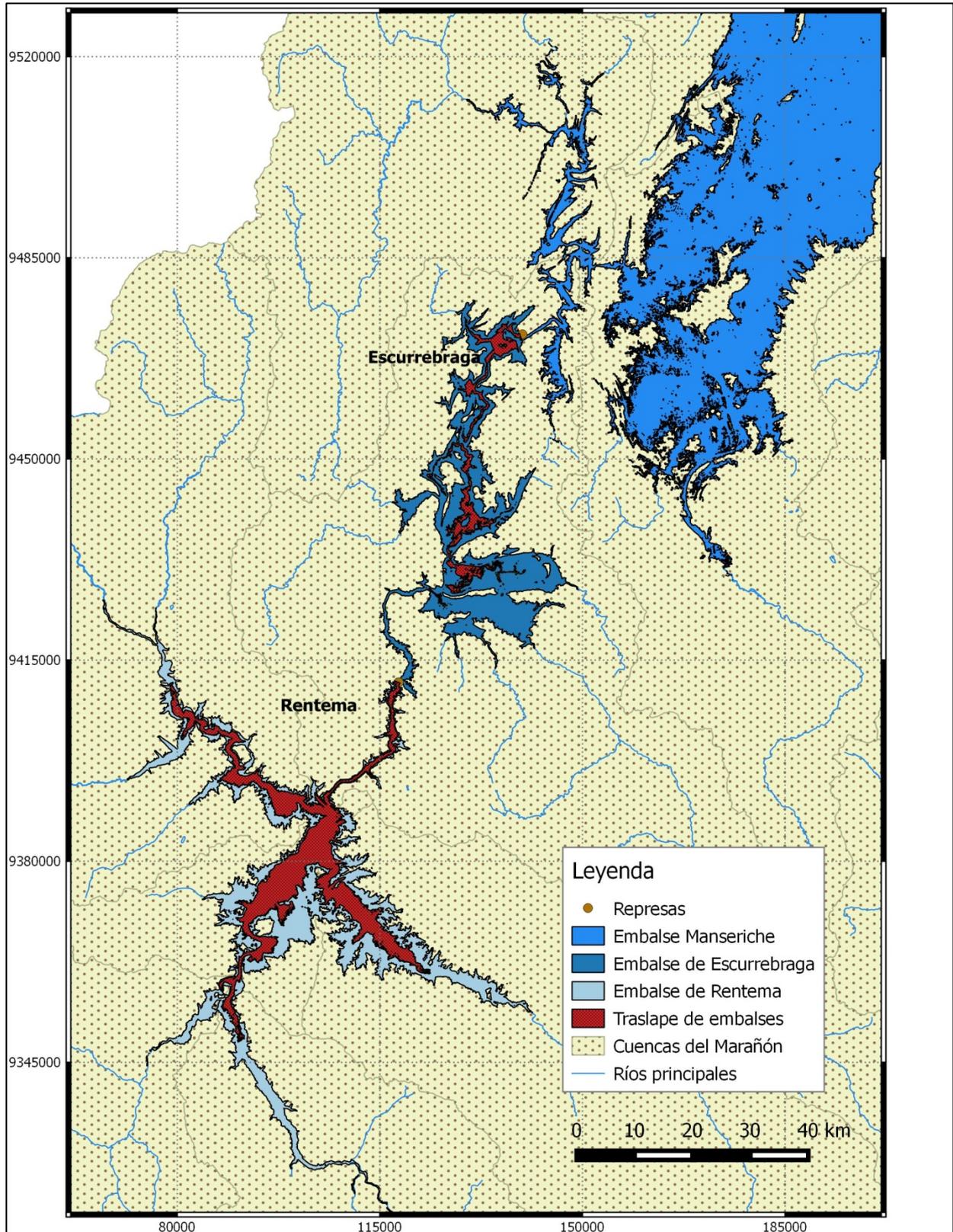
Escurrebraga se sobrepone en 8.04 Km<sup>2</sup> con el proyecto Manseriche, mientras que con el proyecto Rentema la superposición de embalses es de 313.28 Km<sup>2</sup>. En total, un 36.66% del embalse proyectado de Escurrebraga se sobrepone al de los otros 2 proyectos mencionados, por lo cual la ejecución de este proyecto se torna menos probable, lo que conlleva a que no haya sido seleccionado finalmente.

En la figura 7 se puede apreciar el traslape de los proyectos mencionados.

**Tabla 17** Niveles de significancia de Impacto por proyecto hidroeléctrico, en base al número de poblados inundados/producción (MW).

Central Hidroeléctrica	Área de terreno de cultivo inundada	Valor asignado
Manseriche	0.08	3
Rentema	0.19	4
Escurrebraga	0.12	4
Veracruz	0.02	2
Chadín 2	0.02	2
Río Grande	0.03	2
Bolívar	0.07	3
Chusgón	0.04	2
Pataz 2	0.05	3
San Pablo	0.02	2
Pataz 1	0.00	1
Yanamayo	0.02	2
Maraón	0.05	2
Pulpería	0.01	1
Llata 1	0.05	3
Puchka	0.00	1
Llata 2	0.00	1

**Figura 7.** Área de traslape entre los embalses Manseriche, Escurrebraga y Rentema.



## COMPLEJO HIDROELÉCTRICO RÍO GRANDE

El complejo hidroeléctrico Río Grande se ubica aguas arriba del poblado homónimo en la cuenca media del río Marañón. El proyecto ha sido configurado de modo que cuenta con dos embalses, cada uno de los cuales tiene una central hidroeléctrica a pie de presa. El complejo tiene la capacidad de producir 750 MW de energía, e inunda un área total de 56 Km<sup>2</sup>. El proyecto cuenta en la actualidad con un estudio de impacto ambiental en evaluación por parte del Ministerio de Energía y Minas (AMEC-Foster Wheeler, 2015).

Los análisis desarrollados a continuación se basan tanto en la información general disponible sobre el proyecto, como en datos específicos obtenidos de la Línea Base del EIAS.

### Alteración Hidrológica

El análisis hidrológico consistió en el uso de datos de caudal histórico, disponible como parte de la Línea Base Hidrológica en el Estudio de Impacto Ambiental y Social del Proyecto.

Una vez obtenidos los datos, estos fueron ajustados a tres tipos de modelos de distribución:

- Modelo de distribución de Gumbel: Modelo matemático de probabilidad con solo dos parámetros  $\xi$  y  $\alpha$ . La función es la siguiente:

$$F(x) = \exp(-\exp(-(x - \xi)/\alpha))$$

- Modelo de distribución de Weibull: Modelo matemático de probabilidad con tres parámetros ( $\xi$ ,  $\beta$  y  $\delta$ ). La función es la siguiente:

$$F(x) = 1 - \exp[-\{(x - \xi) / \beta\}^\delta]$$

- Modelo de distribución de Pearson Tipo 3: Este modelo contiene los parámetros  $\mu$ ,  $\sigma$  y  $\gamma$ :

$$\begin{aligned} a &= 4/\gamma^2, \\ (1/2) \sigma |\gamma|, \\ \xi &= \mu - 2 \sigma / \gamma. \end{aligned}$$

Si  $\gamma \neq 0$ , entonces la función sería:

$$F(x) = |x - \xi|^{a-1} \exp(-|x - \xi|/\beta) / (\beta^a \Gamma(a))$$

En todas las funciones presentadas:

$F(x)$  es la probabilidad de ocurrencia de un valor particular de caudal, y  $x$  es el valor del caudal registrado.

El análisis gráfico junto con el coeficiente de correlación fueron determinantes para la elección de uno de los modelos. Una vez seleccionado el modelo que mejor se ajuste a la data histórica, cada uno de los meses se ajustó al modelo seleccionado.

Posteriormente se calcularon los valores de caudal para 17 percentiles o persistencias dentro del modelo: 0.01, 0.1, 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99, 99.9 y 99.99 por cada uno de los meses.

Se definieron tres tipos de año hidrológico según la persistencia:

- Año normal: en base a aquellos valores de caudal de cada mes con una persistencia del 50%.
- Año húmedo: se consideraron los valores de caudal mensual con una probabilidad de ocurrencia del 20%.
- Año seco: los años secos se simularon en base a valores de caudal mensual con una persistencia del 90%.

Para evaluar el nivel de alteración hidrológica al que estaría sometido cada uno de los embalses propuestos, se desarrolló un modelo hidrológico de caudal ambiental. Existen diversos métodos hidrológicos disponibles, entre los cuales uno de los más sofisticados es el Método del Desplazamiento de la Curva de Duración (Hughes & Smakhtin, 1996), posteriormente adaptado para la estimación de caudales ambientales por parte de Smakhtin & Anphuthas (2006) y finalmente informatizado en el software GEFC (Global Environmental Flow Calculator), propiedad del International Water Management Institute (Smakhtin & Eriyagama, 2008). No obstante, los algoritmos de cálculo son de libre disponibilidad (se encuentran detallados Hughes & Smakhtin 1996), por lo que es posible su implementación en un entorno de trabajo matemático como el R (Ihaka & Gentleman, 1996; R Development Core Team, 2016), Scilab (The Scilab Consortium, 2010), u otras opciones que permitan resolver ecuaciones complejas mediante métodos numéricos iterativos, lo que ha permitido elaborar los mismos cálculo que el software GEFC. El método del desplazamiento de la curva de duración contempla seis escenarios potenciales de conservación del ambiente fluvial:

Escenario de preservación A, “scA” (natural). Condición prístina o modificaciones menores del hábitat fluvial y ribereño.

- Escenario de preservación B, “scB” (ligeramente modificado). La mayor parte de las condiciones naturales del cauce (y con ellas la biodiversidad contenida en el hábitat) permanecen intactas.
- Escenario de preservación C, “scC” (medianamente modificado). El hábitat y la dinámica de la comunidad hidrobiológica pueden presentar modificaciones, sin embargo, las funciones ecosistémicas básicas se mantienen intactas.
- Escenario de preservación D, “scD” (fuertemente modificado). Cambios importantes en el hábitat natural, la dinámica de la comunidad acuática y funciones ecosistémicas básicas. Se observa una riqueza de especies mucho menor a la esperada.
- Escenario de preservación E, “scE” (seriamente modificado). La diversidad y disponibilidad del hábitat se encuentran seriamente reducidas. Solo permanecen especies nativas muy tolerantes.
- Escenario de preservación F, “scF” (modificación crítica), Las alteraciones inducidas por la reducción en el flujo se tornan críticas, el hábitat se encuentra totalmente modificado y en los casos más graves dichos cambios podrían resultar irreversibles.

La técnica de transposición gráfica (Hughes & Smakhtin, 1996) es usada para determinar los valores de caudal alternativo correspondiente a cada escenario. El modelo original permite de ésta manera generar valores de caudal alternativo a los valores de caudal medio mensual contenidos en el registro histórico. Así, con un correcto análisis de dichos caudales históricos, se pueden implementar diversos regímenes de caudal ambiental ajustados a diferentes escenarios hidrológicos (años secos, años normales, años húmedos p.ej.).

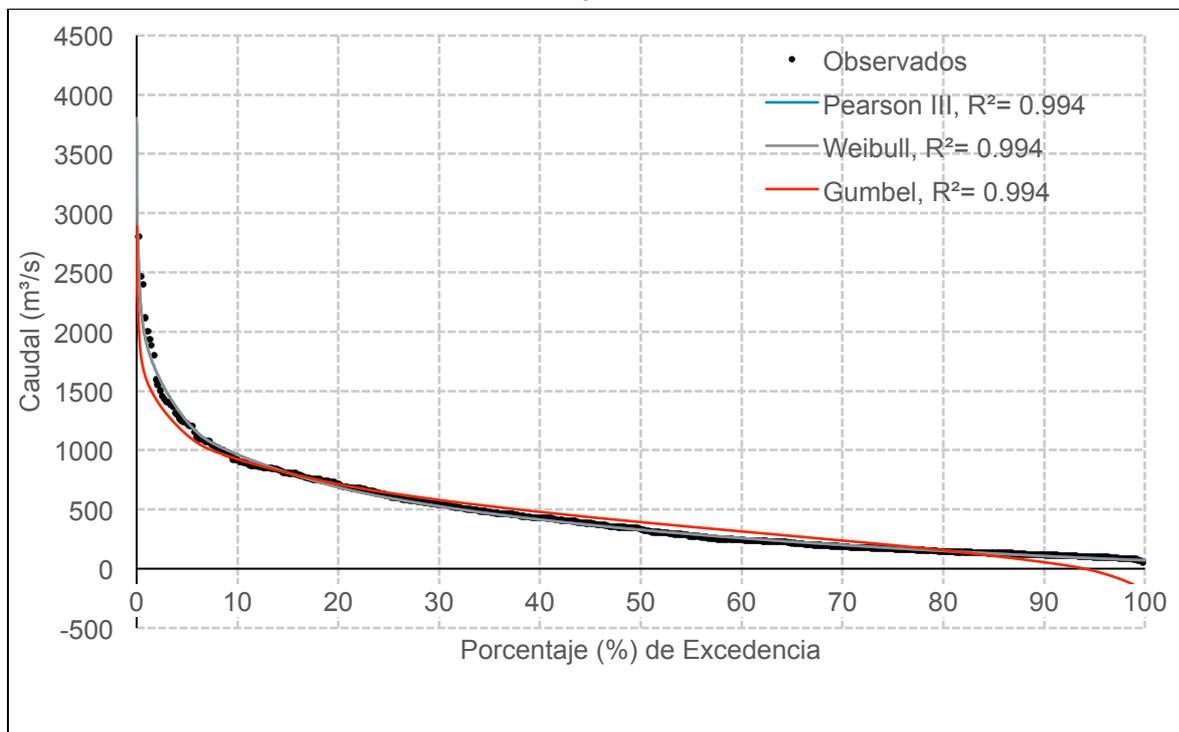
### Condición basal

El análisis hidrológico para las centrales hidroeléctricas Río Grande I y Río Grande II consistió en tratarlas como una sola unidad debido a la cercanía entre ambas. La estación hidrométrica de Balsas comprende valores de caudales histórico desde 1975 hasta 2013, los cuales fueron usados para generar curvas de excedencia de caudales.

Los valores de caudal históricos fueron modelados en tres tipos de distribuciones de probabilidad: (i) distribución de Gumbel, (ii) distribución de Weibull y (iii) distribución de Pearson tipo 3.

Como se observa en el gráfico 1, todas las funciones presentan un ajuste similar, con un  $R^2$  de 0.994. No obstante, se optó por usar la distribución de Weibull, por no tener valores de caudales negativos para las persistencias más altas.

**Gráfico 1.** Curvas de duración de caudales para las distribuciones de Gumbel, Weibull y Pearson Tipo 3 de Rio Grande



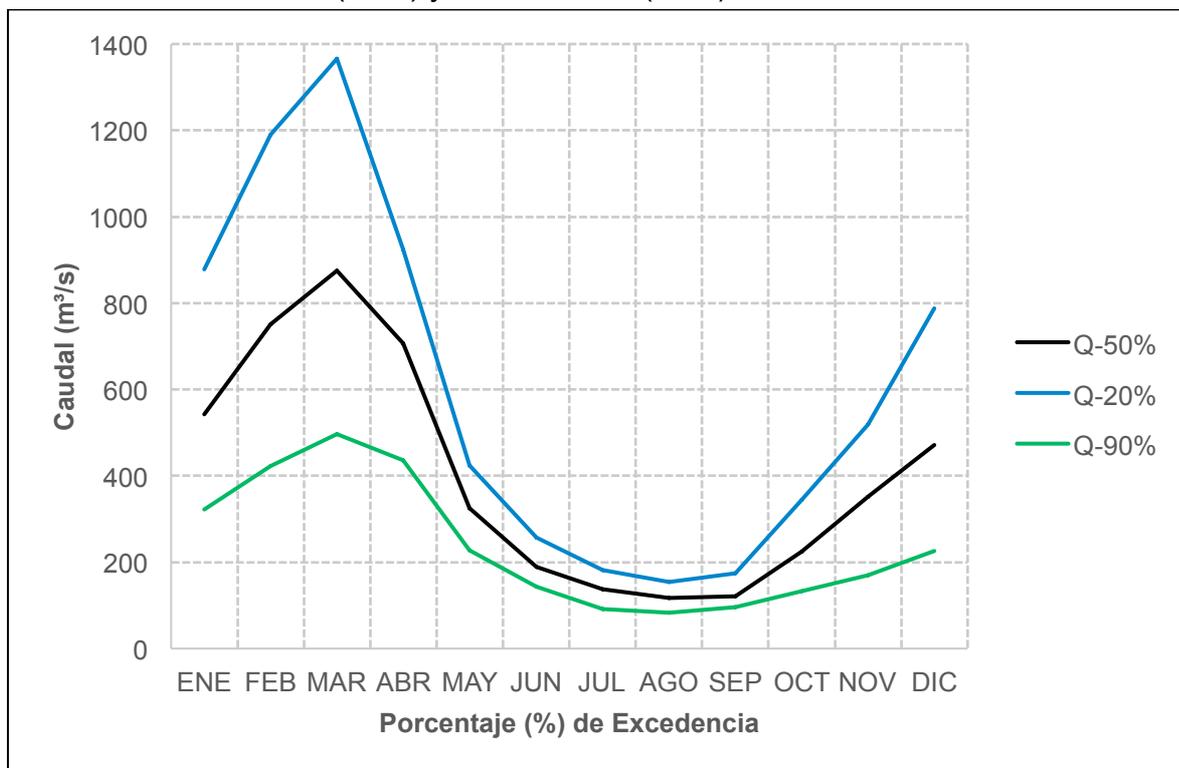
Los valores de caudales fueron modelados para cada uno de los meses de la misma forma, usando la distribución de Weibull como distribución de probabilidad. Diecisiete porcentajes de excedencia fueron seleccionados dentro del modelo de distribución de Weibull: 0.01, 0.1, 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99, 99.9, 99.99. Estos pueden ser revisados en la tabla 18. Las filas resaltadas en esta tabla representan los percentiles usados como escenarios anuales diferentes: (i) año normal (50%), (ii) año seco (90%) y año húmedo (20%).

Las variaciones de caudal mensual para los tres escenarios cumplen con lo esperado para la zona, teniendo valores de caudal más altos durante los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril que corresponden a los meses más húmedos, y los valores más bajos para los meses de mayo, junio, julio, agosto, setiembre y octubre, que corresponden a los meses más secos. Esta variación puede observarse en el gráfico 2.

**Tabla 18** Caudales para los 17 porcentajes de excedencia del modelo de Weibull para cada uno de los meses en Rio Grande.

Persistencia	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>0.01</b>	3,587.48	4,181.13	4,586.69	1,754.05	912.07	762.28	389.21	350.18	795.52	1,140.81	1,251.46	2,865.42
<b>0.1</b>	2,774.26	3,335.18	3,687.49	1,568.53	790.47	613.99	338.67	299.79	586.39	917.55	1,076.97	2,285.72
<b>1</b>	1,955.86	2,449.58	2,738.08	1,344.90	652.84	462.43	280.71	243.78	392.75	682.48	873.95	1,673.41
<b>5</b>	1,379.36	1,794.89	2,028.88	1,148.61	540.93	353.63	232.81	199.23	269.60	507.48	703.24	1,215.80
<b>10</b>	1,129.42	1,499.11	1,705.61	1,046.05	486.10	305.69	209.03	177.81	220.69	427.94	617.21	1,007.13
<b>20</b>	878.04	1,190.88	1,366.14	924.73	424.81	256.80	182.13	154.26	175.06	344.63	518.63	787.93
<b>30</b>	730.09	1,002.44	1,156.91	839.88	384.43	227.59	164.19	139.01	150.29	293.42	451.96	652.77
<b>40</b>	624.57	863.57	1001.61	769.62	352.69	206.49	149.92	127.20	133.79	255.49	398.34	552.42
<b>50</b>	542.30	751.77	875.72	706.26	325.47	189.83	137.57	117.23	121.79	224.82	351.33	471.06
<b>60</b>	474.71	656.77	767.98	645.55	300.75	175.96	126.22	108.30	112.60	198.63	307.62	401.39
<b>70</b>	417.22	572.81	671.96	584.07	277.19	163.98	115.26	99.95	105.39	175.36	264.84	339.28
<b>80</b>	367.03	495.98	583.19	517.48	253.52	153.34	104.08	91.73	99.69	153.91	220.42	281.84
<b>90</b>	322.28	422.67	497.26	436.42	227.68	143.58	91.59	83.04	95.29	133.25	169.57	226.19
<b>95</b>	301.45	385.50	452.87	380.72	212.17	138.89	83.88	78.03	93.58	122.64	137.18	197.42
<b>99</b>	285.26	352.99	413.04	305.29	194.94	135.07	74.96	72.76	92.54	113.19	97.96	171.58
<b>99.9</b>	281.59	343.93	401.42	260.56	187.66	134.13	70.92	70.74	92.39	110.49	78.75	164.02
<b>99.99</b>	281.21	342.69	399.74	244.85	185.98	134.02	69.90	70.33	92.38	110.10	73.43	162.93

**Gráfico 2.** Variación mensual de caudales para un año normal (50%), un año seco (20%) y año húmedo (90%) en Rio Grande.



### Condición modificada

Los caudales naturales y los escenarios de preservación recomendados según el modelo de Caudal Ecológico para cada mes, y para cada uno de los tres escenarios hidrológicos (normal, húmedo y seco), se presentan en las tablas 19 a 21 y en los gráficos 3, 4 y 5.

En años normales (50% de persistencia) el caudal natural variaría entre 117.2 y 875.7 m<sup>3</sup>/s, con una media anual cercana a los 420 m<sup>3</sup>/s (tabla 19 y gráfico 3), los caudales de conservación siguen el mismo patrón de variación a lo largo de los meses, y los dos escenarios más confiables (natura-“scA” y ligeramente modificado-“scB”) constituyen niveles de preservación de caudal entre el 78.45% (escenario A) y el 60.53% (escenario B).

Considerando un escenario hidrológico húmedo (año húmedo, 20% de persistencia) los caudales naturales variarían entre 154.20 y 1366.10 m<sup>3</sup>/s. Este rango de variación mayor se deriva de los mayores picos de caudal obtenidos en época húmeda (diciembre a abril), y en estas condiciones los escenarios de conservación A (natural) y B

(ligeramente modificado) representan (en promedio) el 76.03% y el 58.17% del caudal en condiciones naturales. Estos valores pueden revisarse en la tabla 20.

Finalmente, en el escenario hidrológico seco (años secos, caudales con un 90% de persistencia) los valores de caudal medio mensual varían entre un mínimo de 83.04 m<sup>3</sup>/s (en el mes de agosto) y un máximo de 497.26 m<sup>3</sup>/s (en marzo), y los niveles de preservación de caudal para los escenarios A y B se ubican (en promedio) en el 78.75% y 64.70% del caudal natural (tabla 21).

Debido a que el complejo hidroeléctrico Río Grande (CHs Río Grande I y Río Grande II) está siendo tratado como una sola unidad funcional, el caudal de salida (o caudal de operación final) corresponde al caudal turbinado en Río Grande II. Esta central hidroeléctrica cuenta con una potencia nominal de 150 MW, y estaría equipada con tres (3) turbinas Kaplan de eje vertical cada una de las cuales funciona con un caudal de diseño de 155.30 m<sup>3</sup>/s. Es decir, el caudal descargado final se ubicaría cerca de los 450 m<sup>3</sup>/s en su máxima capacidad de operación. Según se detalla en la descripción del proyecto, la faja normal de operación se ubicará entre el 30 y el 100% de la capacidad máxima, lo que implica el consumo equivalente de agua, es decir que las descargas de la casa de máquinas variarán entre (aprox.) 150 y 450 m<sup>3</sup>/s.

Considerando que los dos embalses combinados tiene una capacidad máxima de almacenamiento de 2,150 Hm<sup>3</sup> (AMEC-Foster Wheeler, 2015), y que el caudal turbinado en la CH Río Grande II varía entre 150 y 450 m<sup>3</sup>/s, la capacidad total de embalse permitiría el funcionamiento de las turbinas Kaplan del Río Grande II al 100% de su productividad nominal (450 m<sup>3</sup>/s) durante 56 días. Sin embargo, a esto debe descontarse una parte del embalse que suele constituir área inefectiva (alrededor del 30% de la capacidad total del embalse), pero se le debe agregar el aporte normal del flujo de caudal en el río Marañón.

**Tabla 19** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Río Grande. Año Normal, Caudales con un 50% de Persistencia.

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Remanente	%ScA	%ScB
<b>ENE</b>	542.30	427.62	338.32	266.59	206.87	155.99	112.03	450.00	78.85	62.39
<b>FEB</b>	751.77	575.30	448.63	354.46	279.65	217.80	165.33	450.00	76.53	59.68
<b>MAR</b>	875.72	647.74	499.55	393.60	311.33	244.29	187.97	733.82	73.97	57.04
<b>ABR</b>	706.26	542.37	425.48	336.68	265.26	205.76	155.04	706.26	76.80	60.24
<b>MAY</b>	325.47	256.32	198.25	148.60	106.27	87.12	73.25	450.00	78.75	60.91
<b>JUN</b>	189.83	141.82	103.24	84.88	72.79	70.35	70.09	300.00	74.71	54.39
<b>JUL</b>	137.57	101.61	83.67	72.54	70.33	70.07	69.86	250.00	73.86	60.83
<b>AGO</b>	117.23	92.48	76.93	71.14	70.20	69.97	69.78	150.00	78.89	65.63
<b>SEP</b>	121.79	94.58	78.49	71.46	70.23	69.99	69.80	150.00	77.66	64.45
<b>OCT</b>	224.82	172.34	126.18	96.23	79.71	71.72	70.25	250.00	76.66	56.12
<b>NOV</b>	351.33	278.74	217.03	164.67	119.55	93.26	77.51	450.00	79.34	61.78
<b>DIC</b>	471.06	374.90	296.19	231.63	177.15	130.34	98.10	450.00	79.59	62.88

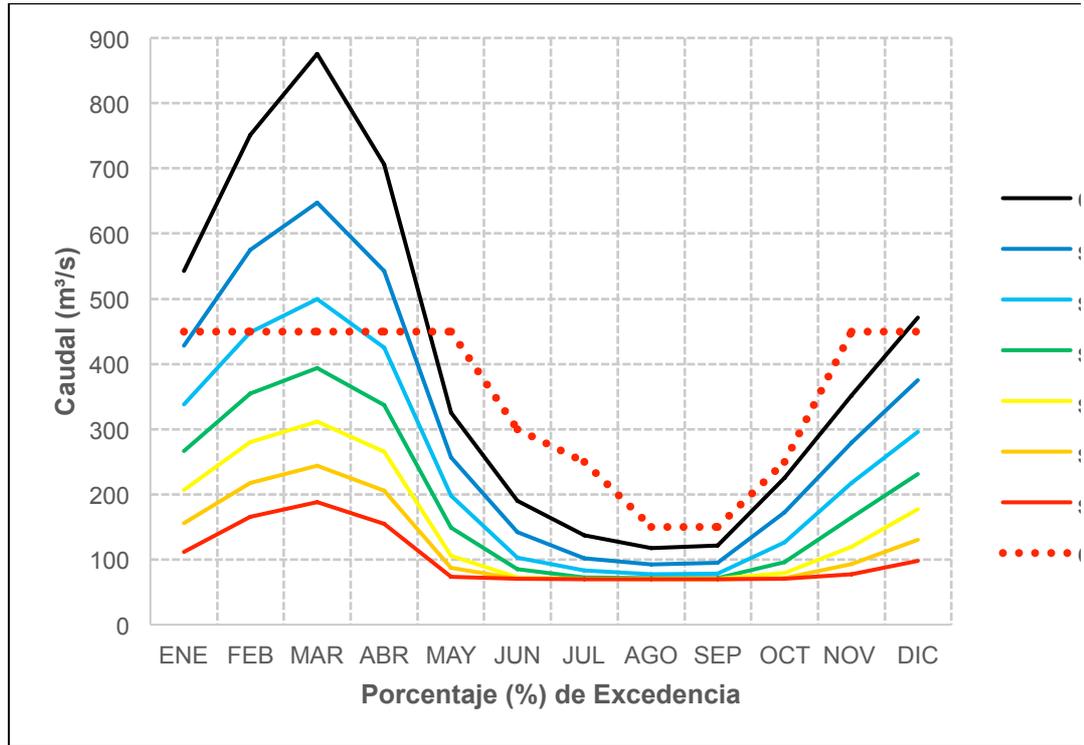
**Tabla 20** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Río Grande. Año Húmedo, Caudales con un 20% de Persistencia.

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Remanente	%ScA	%ScB
ENE	878.04	648.89	500.36	394.22	311.83	244.71	188.33	450.00	73.90	56.99
FEB	1,190.88	925.82	665.25	511.86	403.06	318.98	250.69	450.00	77.74	55.86
MAR	1,366.14	1,055.02	778.19	579.82	451.81	356.91	281.63	733.82	77.23	56.96
ABR	924.73	670.63	515.64	405.97	321.33	252.66	195.12	706.26	72.52	55.76
MAY	424.81	337.28	265.75	206.17	155.39	111.51	89.66	450.00	79.40	62.56
JUN	256.80	198.76	149.04	106.47	87.26	73.28	70.39	300.00	77.40	58.04
JUL	182.13	135.38	100.35	82.75	72.34	70.31	70.05	250.00	74.33	55.10
AGO	154.26	110.79	89.34	74.62	70.66	70.15	69.93	150.00	71.82	57.91
SEP	175.06	129.33	97.65	80.75	71.93	70.27	70.02	150.00	73.88	55.78
OCT	344.63	272.98	212.22	160.56	115.98	91.66	76.34	250.00	79.21	61.58
NOV	518.63	409.08	323.85	254.77	196.92	147.45	105.76	450.00	78.88	62.44
DIC	787.93	598.85	465.19	367.19	289.95	226.42	172.69	450.00	76.00	59.04

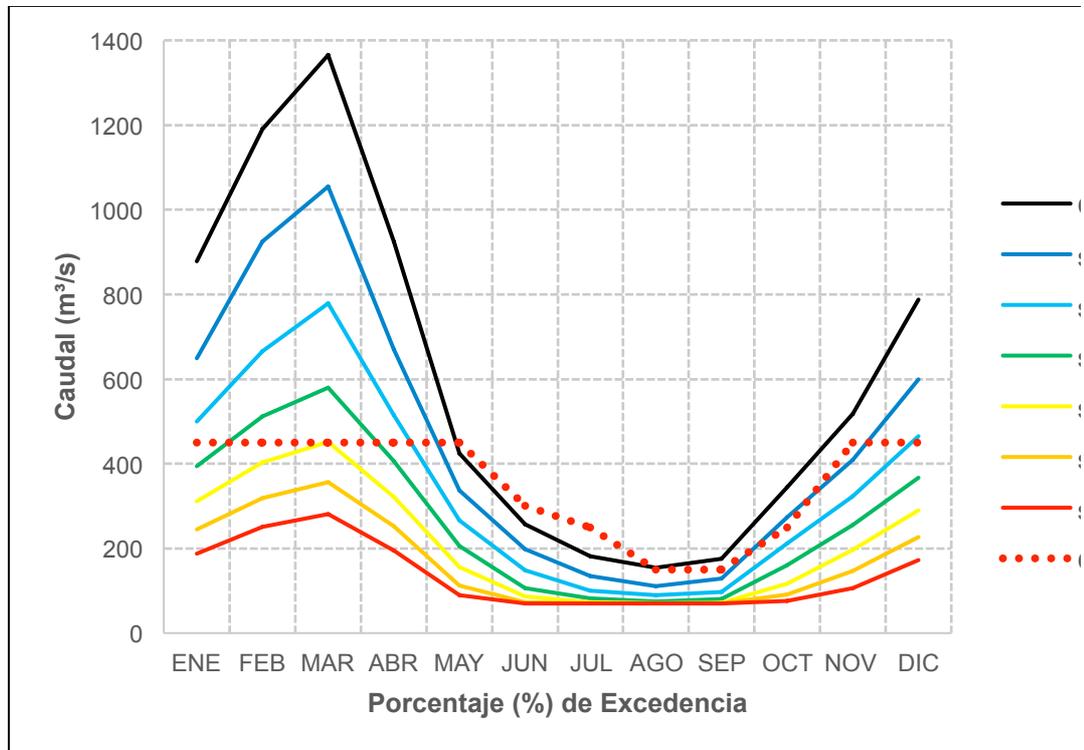
**Tabla 21** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Río Grande. Año Seco, Caudales con un 90% de Persistencia.

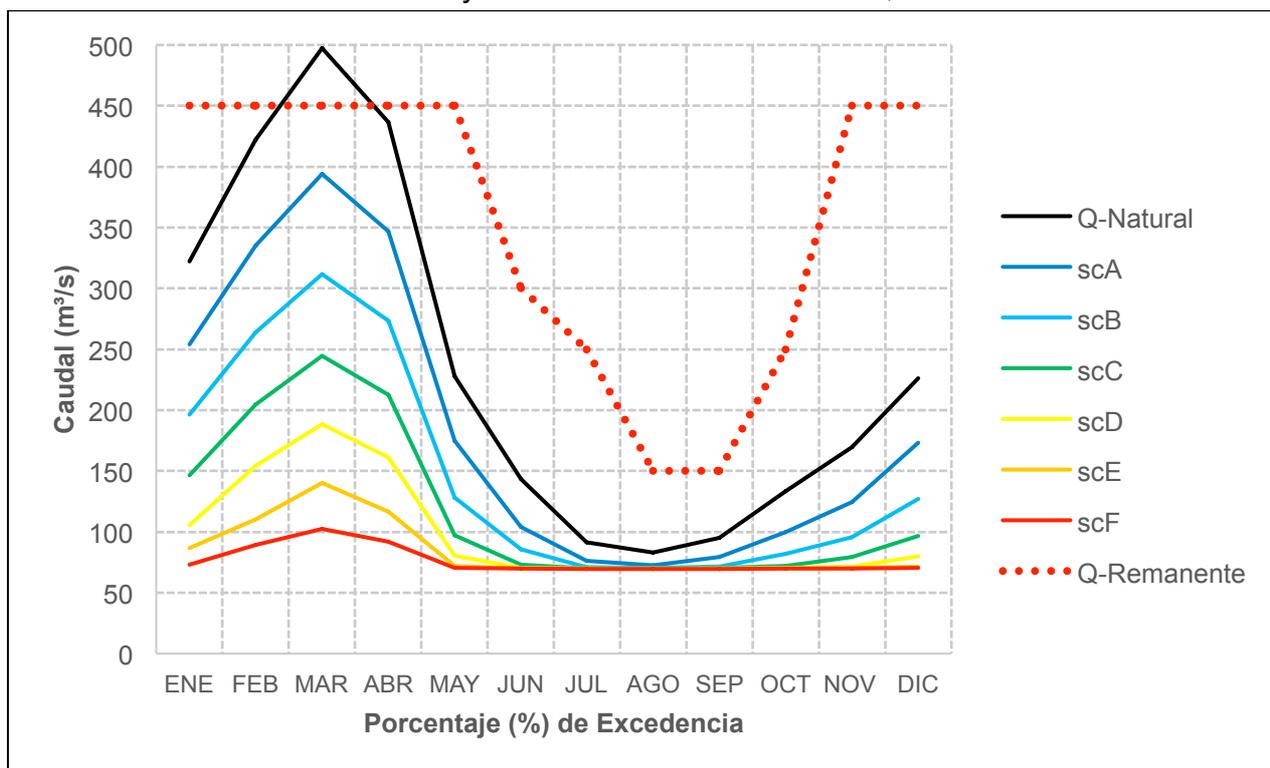
Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Remanente	%ScA	%ScB
ENE	322.28	253.87	196.15	146.78	105.46	86.52	73.13	450.00	78.77	60.86
FEB	422.67	335.43	264.25	204.92	154.32	110.59	89.25	450.00	79.36	62.52
MAR	497.26	394.25	311.85	244.73	188.34	140.03	102.44	733.82	79.29	62.71
ABR	436.42	347.16	273.74	212.86	161.10	116.46	91.88	706.26	79.55	62.73
MAY	227.68	174.80	128.31	97.19	80.41	71.86	70.26	450.00	76.77	56.36
JUN	143.58	104.20	85.58	72.93	70.36	70.10	69.89	300.00	72.57	59.61
JUL	91.59	76.37	71.03	70.19	69.96	69.77	69.63	250.00	83.39	77.55
AGO	83.04	72.43	70.32	70.06	69.86	69.69	69.56	150.00	87.23	84.68
SEP	95.29	79.14	71.60	70.24	70.00	69.81	69.65	150.00	83.06	75.14
OCT	133.25	99.72	82.28	72.25	70.30	70.05	69.85	250.00	74.84	61.75
NOV	169.57	124.55	95.50	79.17	71.60	70.24	70.00	450.00	73.45	56.32
DIC	226.19	173.52	127.20	96.69	80.04	71.79	70.26	450.00	76.71	56.24

**Gráfico 3.** Caudal mensual y escenarios de conservación año normal - I



**Gráfico 4.** Caudal mensual y escenarios de conservación, año húmedo - I



**Gráfico 5.** Caudal mensual y escenarios de conservación, año seco - Río Grande

Si se parte del supuesto de contar con el embalse totalmente lleno al inicio de un año calendario y un escenario hidrológico normal, se aprecia que durante los meses de enero a abril, el caudal que ingresa al sistema es de 719.01 m<sup>3</sup>/s en promedio (542.30 a 875.72). Esto constituye un caudal suficiente para mantener a las turbinas a máxima productividad sin utilizar el agua almacenada. Durante los meses de mayo a noviembre, el caudal que ingresa al sistema es menor al que se requiere para el turbinado a máxima potencia en Río Grande II, por lo que sería necesario utilizar el agua almacenada en los embalses. Para simular las condiciones de operación, se consideró que el volumen útil del sistema de embalses corresponde a (aproximadamente) 1,400 Mm<sup>3</sup>. De este modo se estableció el siguiente régimen de caudales turbinados:

Enero: 450 m<sup>3</sup>/s  
 Febrero: 450 m<sup>3</sup>/s  
 Marzo: 450 m<sup>3</sup>/s  
 Abril: 450 m<sup>3</sup>/s  
 Mayo: 450 m<sup>3</sup>/s  
 Junio: 300 m<sup>3</sup>/s  
 Julio: 250 m<sup>3</sup>/s  
 Agosto: 150 m<sup>3</sup>/s

Setiembre: 150 m<sup>3</sup>/s

Octubre: 250 m<sup>3</sup>/s

Noviembre: 450 m<sup>3</sup>/s

Diciembre: 450 m<sup>3</sup>/s

Considerando este régimen de turbinado, es necesario volver a llenar el embalse a partir del mes de diciembre. Con los caudales naturales, el llenado del embalse hasta su máxima capacidad (que permita mantener el régimen de turbinado durante el siguiente año), comprendería los meses de diciembre, enero, febrero y el primer tercio de marzo. De ésta manera, el régimen de caudales remanentes en el río Marañón, aguas abajo de la presa de Río Grande II, en un año normal, sería el siguiente:

Enero: 450 m<sup>3</sup>/s

Febrero: 450 m<sup>3</sup>/s

Marzo: 450 m<sup>3</sup>/s (durante el primer tercio) y 875,72 m<sup>3</sup>/s (el resto del mes)

Abril: 706 26 m<sup>3</sup>/s

Mayo: 450 m<sup>3</sup>/s

Junio: 300 m<sup>3</sup>/s

Julio: 250 m<sup>3</sup>/s

Agosto: 150 m<sup>3</sup>/s

Septiembre: 150 m<sup>3</sup>/s

Octubre: 250 m<sup>3</sup>/s

Noviembre: 450 m<sup>3</sup>/s

Diciembre: 450m<sup>3</sup>/s

El régimen prescrito de caudal remanente (considerando la operabilidad óptima del sistema), implica que, en los meses de llenado del embalse (diciembre a marzo), el caudal preservado en el río Marañón se ubique entre el 59.86% y el 95.53% del caudal natural. Esto implica que sólo en el mes de febrero (y posiblemente en el primer tercio del mes de marzo) el nivel de preservación del caudal se ubica (ligeramente) por debajo de lo recomendado en el escenario B del modelo de Caudal Ecológico ("ScB"), mientras que en los meses de la época seca, durante los que se consume el agua almacenada en el embalse, el caudal remanente es superior al caudal natural de un año normal en promedio por un 33.55%, alcanzando picos de incremento en los meses de junio y julio, cuando el caudal remanente podría representar un valor adicional del 58.04% y el 81.73% (respectivamente) con respecto al natural.

## **Modificación en los patrones de transporte/deposición de sólidos suspendidos**

Uno de los problemas persistentes en relación a la construcción de embalses es la retención de sedimentos en los mismos. Esto no sólo significa limitaciones en la producción de energía y costos relacionados, ya que la acumulación de sedimentos en el embalse reduce la eficiencia del mismo y lo colmatan eventualmente (Verstraeten & Poesen, 2000), sino que representan un problema ambiental con consecuencias a varios niveles (Bednarek, 2001).

La retención de sedimentos suspendidos reduce el transporte de nutrientes en la cuenca del río, afectando varios procesos naturales dependientes de la disponibilidad y calidad de nutrientes. Así mismo, las comunidades humanas pueden verse afectadas a través del empobrecimiento de suelos de valle destinados a la agricultura.

Por otra parte, el agua clarificada que sale del embalse tiene otras cualidades (como la menor densidad) que afectan la hidráulica del río, pudiendo modificar el cauce e incrementar los procesos de erosión en orillas. A este fenómeno se le conoce como “hungry waters” o “aguas hambrientas” (Kondolf, 1997).

El agua que pierde sus condiciones naturales de turbidez y densidad también presenta características distintas a las que están adaptados los organismos que habitan esas zonas de la cuenca. Por ejemplo, el incremento en la velocidad de corriente (debido a la menor densidad del agua), reduciría el hábitat de numerosas especies de macroinvertebrados, afectando subsecuentemente a los peces. Condiciones de mayor luminosidad en la columna de agua también podría incrementar el riesgo de predación en algunos organismos.

La eficiencia de retención de sedimentos en un reservorio depende de varios factores, tales como el ratio entre la capacidad de almacenamiento y el caudal de ingreso, la edad del reservorio, la forma de la cuenca que lo alberga, el diseño de operación y tipos de descarga, las características de los sedimentos y su comportamiento bajo variadas condiciones (Brune, 1953). Existen numerosos modelos que pueden emplearse para calcular la eficacia en retención de sedimentos de un embalse, sin embargo muchas veces éstos requieren de gran cantidad de información no siempre disponible (Gill, 1979), por lo que una alternativa es usar modelos más simples que relacionen la eficiencia de almacenamiento a un solo parámetro (Verstraeten & Poesen, 2000). Entre los métodos más comúnmente empleados están las siguientes ecuaciones empíricas:

La ecuación propuesta por Brown (1943), que calcula la eficiencia de retención en función al ratio entre la capacidad del embalse y el área de drenaje de la cuenca,

$$TE = 100 \times \left[ 1 - \frac{1}{\left( 1 + D \times \frac{C}{A} \right)} \right]$$

Donde “TE” corresponde a la eficiencia de retención (%), “C” se refiere a la capacidad de almacenamiento del reservorio (m<sup>3</sup>), “A” al área de drenaje de la cuenca hasta el dique del embalse (km<sup>2</sup>), y “D” es una constante que toma valores entre 0.09 y 2.1.

La curva desarrollada por Brune (1953), quien relaciona la eficiencia de retención al ratio entre la capacidad del embalse y el ingreso anual de agua al mismo:

$$E = 100 \times \left[ \frac{C/I}{0.012 + 1.02 \times \frac{C}{I}} \right]$$

Donde “E” corresponde a la eficiencia de retención (%), “C” se refiere a la capacidad de almacenamiento del reservorio (m<sup>3</sup>), e “I” representa la totalidad del flujo que ingresa al embalse en un año.

Estas ecuaciones fueron empleadas para calcular la eficiencia de retención de sedimentos en cada uno de los embalses evaluados. Para todos los cálculos se empleó el volumen útil de los embalses evaluados. Para los cálculos de sedimentos retenidos y liberados se tomaron como referencia los promedios de valores de sólidos totales suspendidos registrados en época húmeda y seca en las estaciones de muestreo más cercanas a los diques de los proyectos evaluados.

Como ya se mencionó, el complejo hidroeléctrico Río Grande incluye dos centrales hidroeléctricas con sus respectivos embalses: Río Grande I y Río Grande II. Se trata de embalses consecutivos, con una distancia aproximada de 4.1 km entre el pie de presa del embalse Río Grande I y la cola del embalse Río Grande II. Por lo tanto, puede asumirse que sus efectos serán acumulativos en cuanto a retención de sedimentos. Sin embargo, en el tramo que separa ambos embalses existe un ingreso adicional de sólidos totales suspendidos (STS) provenientes de otros afluentes y de la erosión provocada por el río, por lo que el valor real de STS retenidos y STS devueltos al río luego de pasar por el embalse Río Grande II sería ligeramente mayor a lo calculado. Considerando esto, se realizaron cálculos tomando ambos reservorios como uno solo (Río Grande Total). En la

tabla 22 se especifican algunas características de los embalses usadas para el cálculo de la eficiencia de retención, obtenidas a partir de información publicada en el EIA del proyecto.

**Tabla 22** Características de embalse – Río Grande

Características	Río Grande I	Río Grande II	Río Grande Total
Capacidad de reservorio (m <sup>3</sup> )	2,050.0 * 10 <sup>6</sup>	100 * 10 <sup>6</sup>	2,150 * 10 <sup>6</sup>
Volumen inefectivo (m <sup>3</sup> )	683.3 * 10 <sup>6</sup>	33.3 * 10 <sup>6</sup>	716.7 * 10 <sup>6</sup>
Volumen útil (m <sup>3</sup> )	1,366.7 * 10 <sup>6</sup>	66.7 * 10 <sup>6</sup>	1,433.3 * 10 <sup>6</sup>
Área de drenaje de la cuenca (km <sup>2</sup> )	27,850	28,747	28,747
Ingreso anual de agua al embalse (m <sup>3</sup> )	13,408 * 10 <sup>6</sup>	13,841 * 10 <sup>6</sup>	13,841 * 10 <sup>6</sup>

Como puede observarse en la tabla 23, los resultados obtenidos usando la ecuación de Brown superan el 99% de eficiencia de retención. Es decir los embalses (por separado o en conjunto), retienen casi la totalidad de STS que transporta el río. Usando este criterio, se calculó que al año se retendrían aproximadamente 9.8 millones de toneladas de sedimentos en el complejo de embalses Río Grande I y II, mientras si asumimos Río Grande Total como un solo embalse, se retendrían 9.6 millones de toneladas aproximadamente.

**Tabla 23** Retención de sedimentos - Río Grande (en mg/L)

	Río Grande I	Río Grande II	Río Grande Total
Ingreso de sólidos totales suspendidos promedio	733.50	*	692.50
Eficiencia de retención (%) (Brown 1943)	99.98	99.52	99.98
Salida de sólidos totales suspendidos promedio	0.17	0.00	0.15
Eficiencia de retención (%) (Brune 1953)	88	28	88
Salida de sólidos totales suspendidos promedio	88.79	63.51	82.84

Pese a que los valores obtenidos mediante la ecuación de Brune son algo menores, superan el 87% de eficiencia de retención (Río Grande I y Río Grande Total), y aunque en el caso de Río Grande II este valor sea de 28.5%, hay que considerar que el agua que ingresaría a este embalse ya habría sido en gran medida clarificada. Con estas eficiencias de retención, se calculó que anualmente casi 9 millones de toneladas de sedimentos serían retenidos en el complejo de embalses Río Grande I y II, mientras si asumimos Río Grande como un solo embalse, se retendrían 8.4 millones de toneladas aproximadamente.

Los altos niveles de retención de sedimentos en el complejo hidroeléctrico Río Grande están considerados en su EIA, donde se menciona que el embalse tiene la capacidad para retener la totalidad de sólidos que lleguen a él, teniendo un impacto alto sobre las condiciones del medio acuático. Como medida de manejo, se considera la descarga de sedimentos de fondo con aperturas mensuales, trimestrales y semestrales para la mitigación de los efectos. No obstante, no se especifica el alcance de estas medidas de mitigación en cuanto a porcentajes de reducción en la colmatación de embalses, ni porcentajes de sedimentos que se plantea devolver al río. Además, medidas planteadas como de “mitigación” desde una perspectiva económica (evitar la colmatación del embalse) pueden tener un efecto adverso sobre el ecosistema aguas abajo (Ligon *et al* 1995). Por ejemplo, la descarga de sedimentos de fondo podría implicar que una cantidad de sedimentos anormal sea liberada de golpe al río, enturbiándolo y causando sofocación y abrasión de organismos y hábitats.

### **Alteración de rutas migratorias**

Dentro de la gran variedad de peces que podemos encontrar en la Amazonía peruana, los peces migratorios son unos de los más importantes en términos ecológicos y socioeconómicos, dado que conforman parte de la dieta de los pobladores que viven en las riberas, constituyendo de esta manera la principal fuente proteica para estas personas. La construcción de los proyectos hidroeléctricos seleccionados, afectaría de manera directa al segmento poblacional de peces migrantes reproductores (p.ej. Boquichico y Doncella, entre otros), impidiéndoles alcanzar las zonas altas de la cuenca, sus lugares naturales de desove (Cañas & Pine, 2011). Así mismo, la construcción de una serie de represas en la cuenca alta y media del Marañón, afectaría la sincronización y frecuencia de los caudales, factores que se consideran son cruciales para activar la migración reproductiva en adultos y el viaje río abajo de la generación previa en épocas de avenida (Araujo-Lima, 1994; Welcomme & Halls, 2001; Junk & Wantzen, 2004; Agostinho *et al.*, 2008; Cañas & Pine, 2011). Todo esto generaría problemas en el reclutamiento y la subsecuente disminución de poblaciones de este tipo de peces y/o su extinción local. Finalmente, la migración de peces, en ambos sentidos, es un factor importante para mantener la productividad de la cuenca a través del transporte de nutrientes, dispersión de semillas y oportunidades de forrajeo para las especies piscívoras (Cañas & Pine, 2011).

Debido a que la mayor cantidad de información que se cuenta sobre consumo de peces en la Amazonía está relacionada a desembarques pesqueros en puertos principales (Dirección Regional de la Producción de Loreto, 2005; Garcia *et al.*, 2008; Garcia *et al.*, 2012), y a la escasa información de inventarios en la zona de estudio, para la selección

de las especies migrantes potencialmente impactadas se procedió a buscar una correspondencia entre las principales especies migrantes consumidas en la región y las reportadas en los EIA de los proyectos de Veracruz, Chadín 2 y Río Grande, para estimar tanto el rango de distribución como las especies que verán limitada su migración para reproducción.

Los resultados de los EIA en la zona de estudio para las 3 hidroeléctricas con mayor estado de desarrollo (Veracruz, Chadín y Río Grande), muestran varias especies de consumo. Una lista de las especies migrantes de consumo identificadas para las zonas de influencia de las hidroeléctricas Veracruz, Chadín y Río Grande, puede ser revisada en la tabla 24.

**Tabla 24** Lista de especies migrantes de consumo identificadas por proyecto.

<b>Especie</b>	<b>Veracruz</b>	<b>Chadín 2</b>	<b>Río Grande</b>
<i>Colossoma macropomum</i>	•		•
<i>Brycon stoltzmani</i>		•	
<i>Brycon falcatus</i>			•
<i>Brycon sp.</i>	•		
<i>Salminus iquitensis</i>			•
<i>Salminus sp.</i>	•		
<i>Prochilodus nigricans</i>	•	•	•
<i>Pimelodus ornatus</i>	•		•
<i>Pimelodus sp.</i>	•		
<i>Pseudoplatystoma punctifer</i>			•
<i>Zungaro zungaro</i>	•	•	•

Teniendo en cuenta la ubicación del proyecto Río Grande (más cercano a la cabecera) y la buena resolución taxonómica de su EIA, se realizó una selección de las especies migratorias potencialmente impactadas en términos de pérdidas de rutas migratorias de reproducción. Estas pueden ser revisadas en la tabla 25.

**Tabla 25** Lista de especies migratorias y de consumo registradas a mayor altitud

<b>Especie</b>	<b>Nombre Común</b>
<i>Brycon stoltzmanni</i>	Sábalo
<i>Brycon falcatus</i>	Sábalo
<i>Salminus iquitensis</i>	Sábalo macho
<i>Prochilodus nigricans</i>	Boquichico
<i>Pimelodus ornatus</i>	Bagre
<i>Pseudoplatystoma punctifer</i>	Doncella
<i>Zungaro zungaro</i>	Zungaro

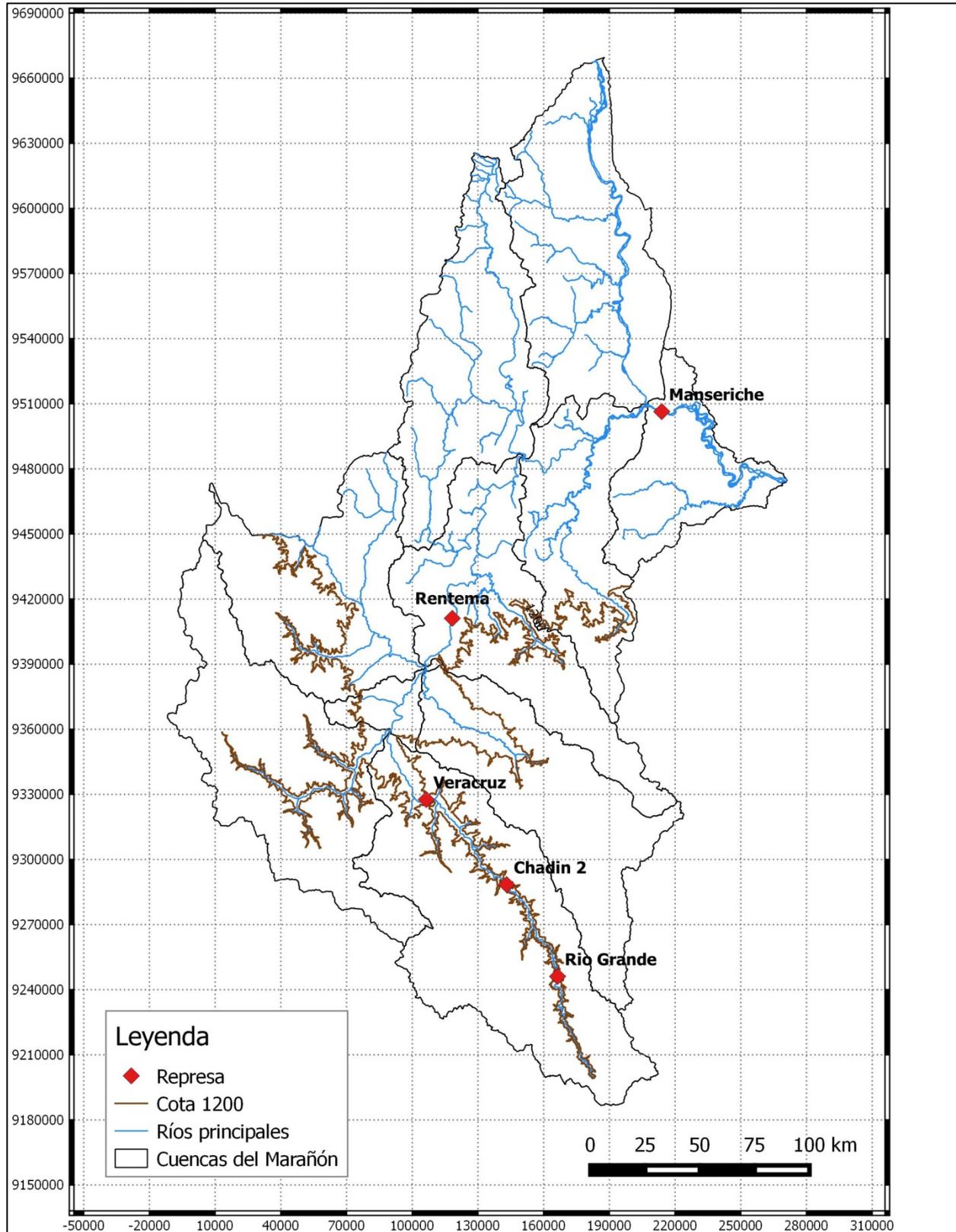
Una vez identificadas las especies que serán afectadas, se procedió a estimar el porcentaje de tramos fluviales potencialmente útiles que se perderán por la instalación de cada una de las represas seleccionadas en la primera sección de este documento (selección de proyectos a evaluar), comenzando por la más cercana a la cabecera – la de menor pérdida relativa- (proyecto Río Grande), hasta llegar al proyecto más aguas abajo en el ámbito de estudio –mayor impacto potencial- (proyecto Manseriche).

Un aspecto difícil de precisar cuándo se estudian peces migratorios del Amazonas es definir con certeza la cota de altura máxima que alcanzan y sus lugares de desove, debido principalmente a que existen muy pocas comunidades pesqueras en o cerca del piedemonte andino que puedan aportar este conocimiento directo, además de lo complicado de la pesca por lo turbulento de los tributarios y los costos en términos monetarios y de tiempo que tomaría realizar esta investigación (Goulding et al., 2010). No obstante, con el fin de acotar un límite máximo de altura al desplazamiento de los peces migrantes identificados en el estudio, se tomó como referencia la cota de 1,200 m.s.n.m. Dicha cota es considerada un valor conservador, puesto que en el Museo de Historia Natural de la UNMSM existen registros de especímenes de *Prochilodus nigricans* “Boquichico” y *Brycon* sp. “Sábalo” colectados en los 1,900 m.s.n.m (datos no publicados), lo que sugeriría que pudieran distribuirse por encima del área seleccionada (AMEC (Perú) S.A., 2011).

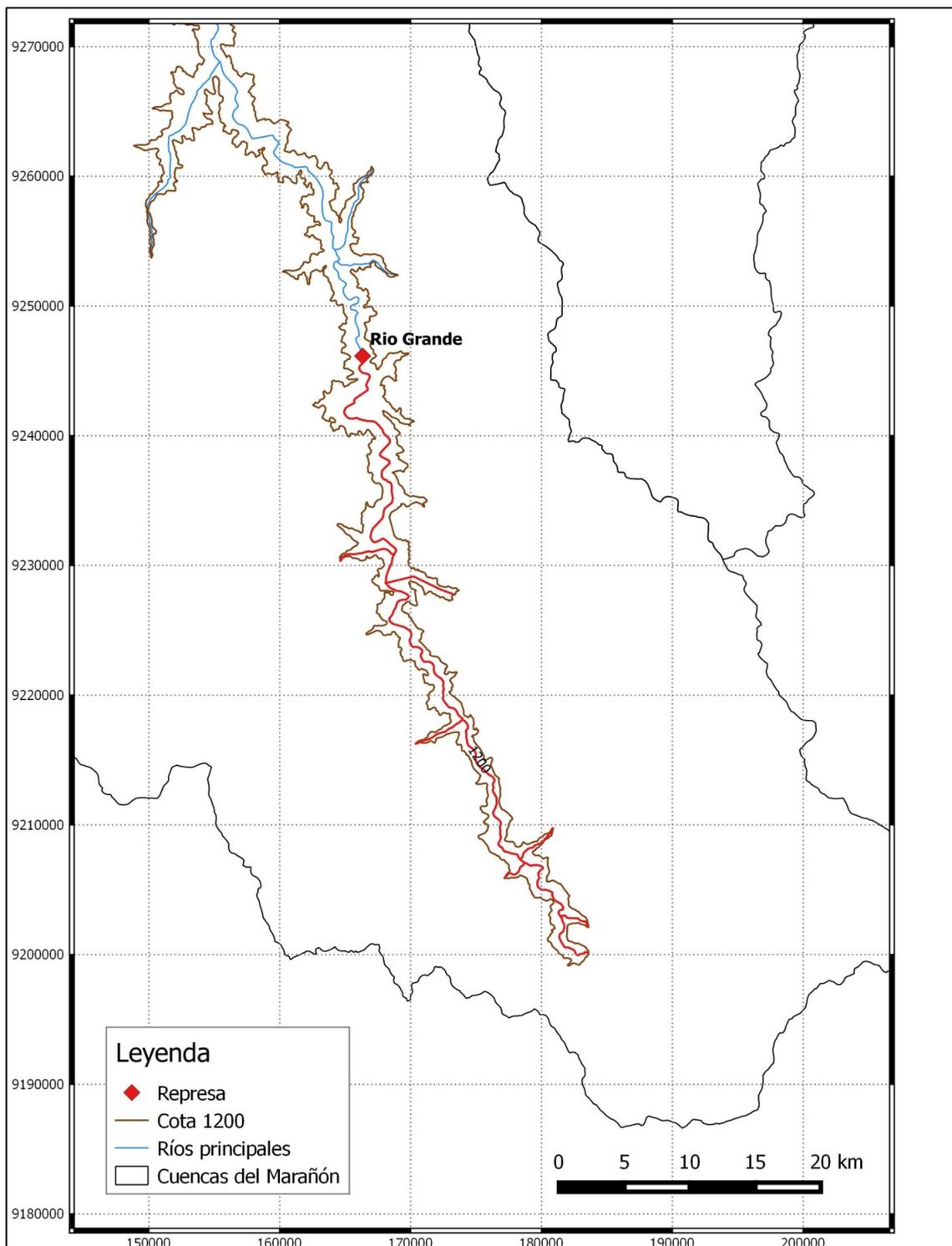
Para este trabajo se hizo uso de la red hidrográfica de ríos principales, mapa de mesocuenas nacionales, información de los estudios ambientales de los proyectos Veracruz, Chadín 2 y Río Grande, información recopilada por la Dirección General de Electricidad y la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (Dirección General de Electricidad et al., 1982) y de un modelo de elevación digital del territorio nacional (figura 8). Los resultados son presentados para cada proyecto hidroeléctrico.

En lo que respecta al proyecto Río Grande, el número de kilómetros de ríos principales perdidos, desde el último dique (Río Grande II) del conjunto de represas que componen el proyecto hasta la cota de 1,200 metros, sería de 90 Km. De construirse este proyecto, los embalses afectarían el libre movimiento de los peces debido al efecto de barrera que generaría el dique. En general, los efectos negativos de la construcción de este proyecto sobre las migraciones y movimientos de los peces se encuentran listados en el EIA, abarcando desde migraciones reproductivas y movimientos laterales entre hábitat durante el periodo de creciente, hasta la alteración de los caudales y el pulso hidrológico normal, esté último de importancia como señal abiótica para los procesos de migración de especies acuáticas (Cañas & Pine, 2011).

**Figura 8.** Ríos principales bajo la cota de 1200 m.s.n.m.



**Figura 9.** Alteración de rutas migratorias por la CH Río Grande.



En la figura 9 se puede observar (en rojo) los kilómetros de ríos principales que perderían conectividad desde el dique más aguas abajo del proyecto, hasta la cota de 1,200 metros sobre el nivel del mar.

## Áreas agrícolas inundadas

Uno de los principales impactos socioeconómicos generados por la creación de represas es la pérdida de áreas agrícolas, que debido a las características de la zona evaluada pueden ser altamente productivas, y son principalmente aprovechadas para el sustento familiar y el comercio.

En este estudio se realizó una aproximación en el cálculo del área de tierras agrícolas que serían inundadas por cada proyecto hidroeléctrico seleccionado. Para esto se utilizó el mapa de cobertura vegetal nacional, e imágenes Bind en Qgis para corroborar y actualizar la información de estas áreas.

El proyecto Río Grande inundaría un total de 556 hectáreas de área agrícola aprovechable (figura 10), afectando principalmente a los poblados de Río Grande, Huanabamba y Huaroc.

## CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHADÍN 2

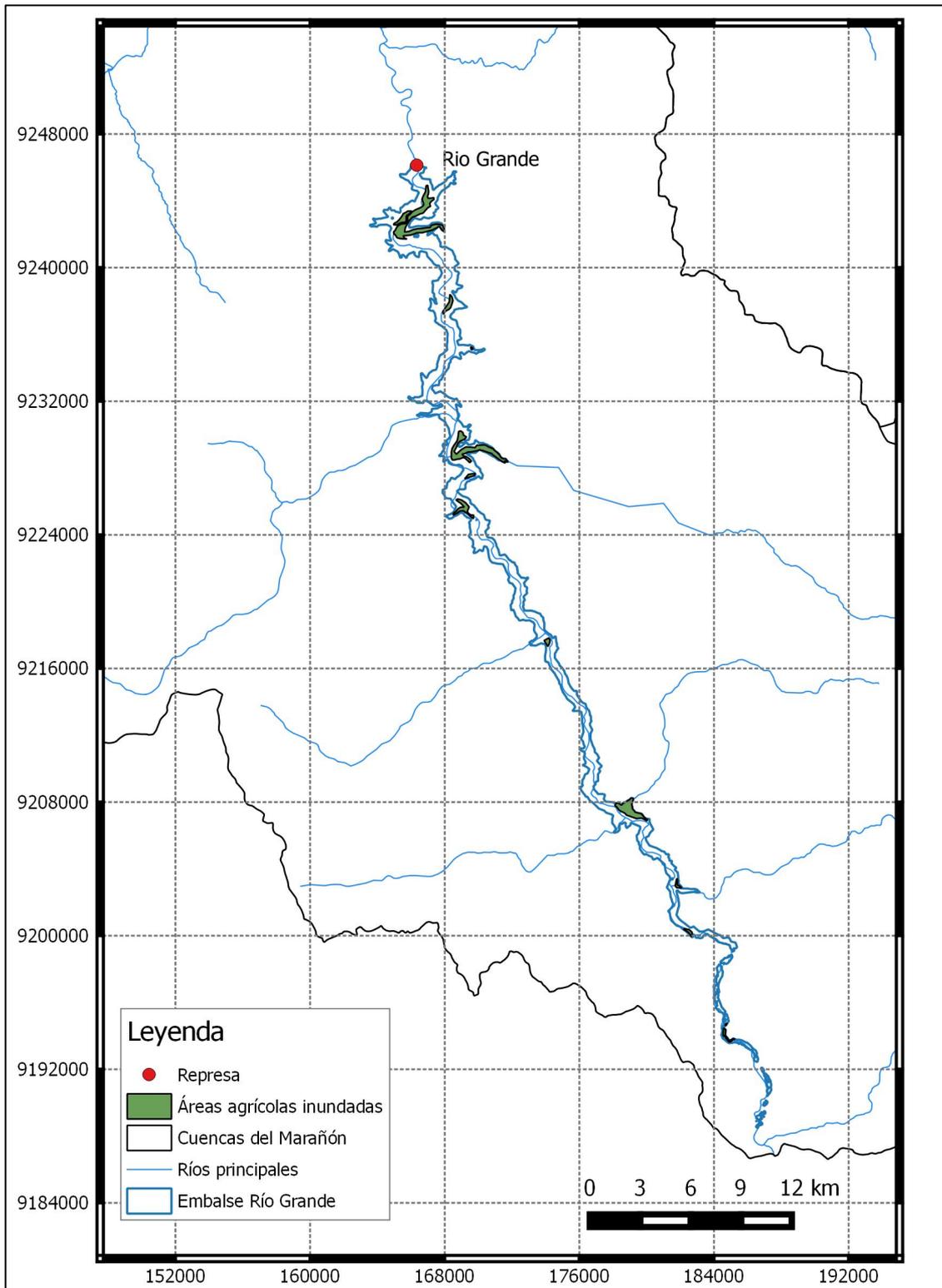
La central hidroeléctrica Chadín 2 se encuentra situada casi en el punto medio entre los proyectos de Río Grande y Veracruz, limitando de esta manera con los poblados de Cumba por el Norte y Río Grande por el Sur. Esta CH contará con la capacidad de producir un total de 600 MW de energía, para lo cual dispondrá de un reservorio que tendrá una superficie de 32.5 Km<sup>2</sup>. El Proyecto cuenta en la actualidad con el EIA aprobado y una concesión definitiva.

Los análisis desarrollados a continuación se basan tanto en la información general disponible sobre el proyecto, como en datos específicos obtenidos de la Línea Base del EIAS.

### Alteración Hidrológica

Como en el caso de Río Grande, y de manera similar a cómo se desarrollará el análisis de alteración hidrológica para las restantes centrales hidroeléctricas, la evaluación se basa en la identificación del régimen natural de caudales, para un año hidrológico normal (50% de persistencia), húmedo (20%) y seco (90%). Luego, en base a estos valores, se genera un modelo de preservación de caudales (usando los algoritmos del Global Environmental Flow Calculator –GEFC– implementados en un script en R) y éstos se comparan con el régimen de caudal remanente en condiciones de operación.

**Figura 10.** Áreas agrícolas inundadas por la CH Río Grande.

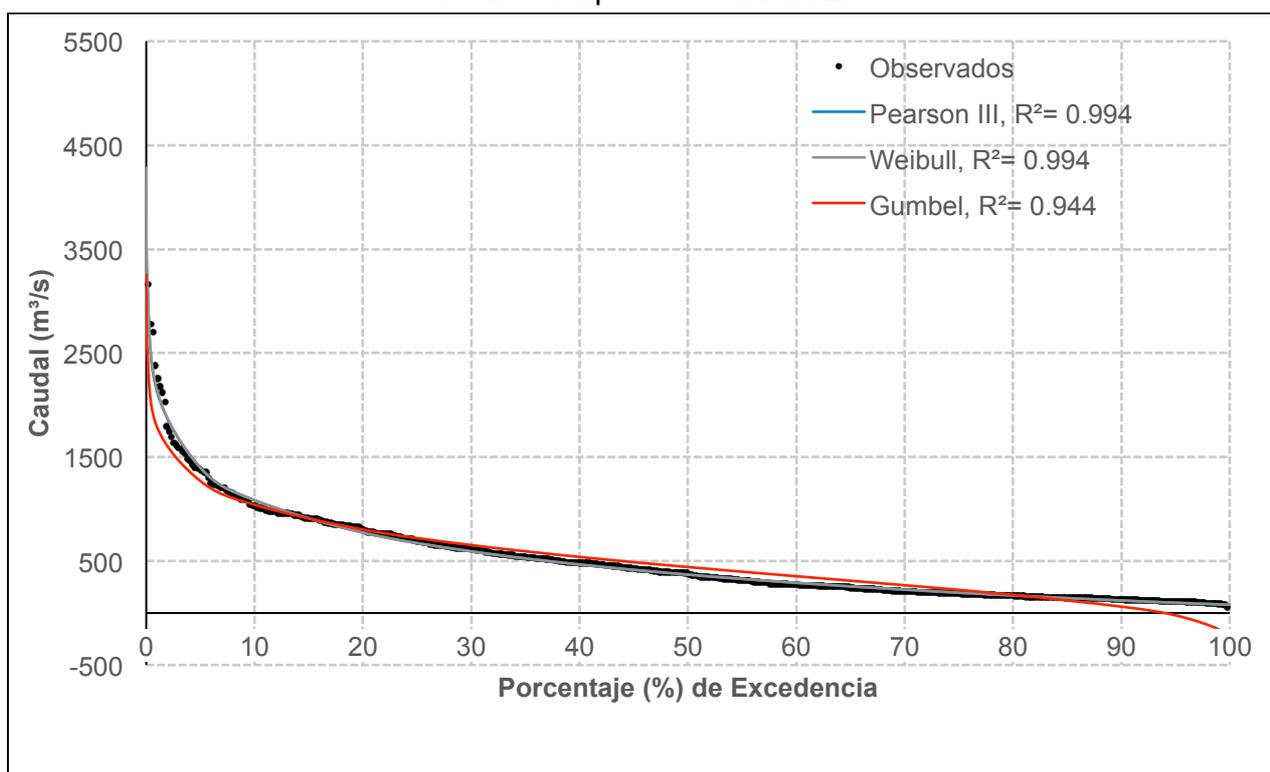


### Condición basal

Los datos de caudal históricos de Chadín 2 fueron obtenidos a partir de los datos medidos en la estación hidrométrica de Balsas. Una vez obtenida la relación entre ambas cuencas, los registros de caudales se transformaron en valores para Chadín 2.

Los datos históricos fueron ajustados a cada uno de los modelos de probabilidad. Los ajustes de cada uno fueron: (i)  $R^2$  de la distribución de Gumbel =0.944, (ii)  $R^2$  de la distribución de Weibull =0.994 y (iii) distribución de Pearson Tipo 3 =0.994, como se observa en el gráfico 6. Se optó por usar la distribución de Weibull debido a que no presenta valores negativos de caudal en las persistencias más altas, como es el caso en la distribución de Gumbel. Los parámetros de la distribución obtenida fueron zeta=43.099, beta=463.297 y delta=0.996.

**Gráfico 6.** Curvas de duración de caudales para las distribuciones de Gumbel, Weibull y Pearson Tipo 3 de Chadín 2.

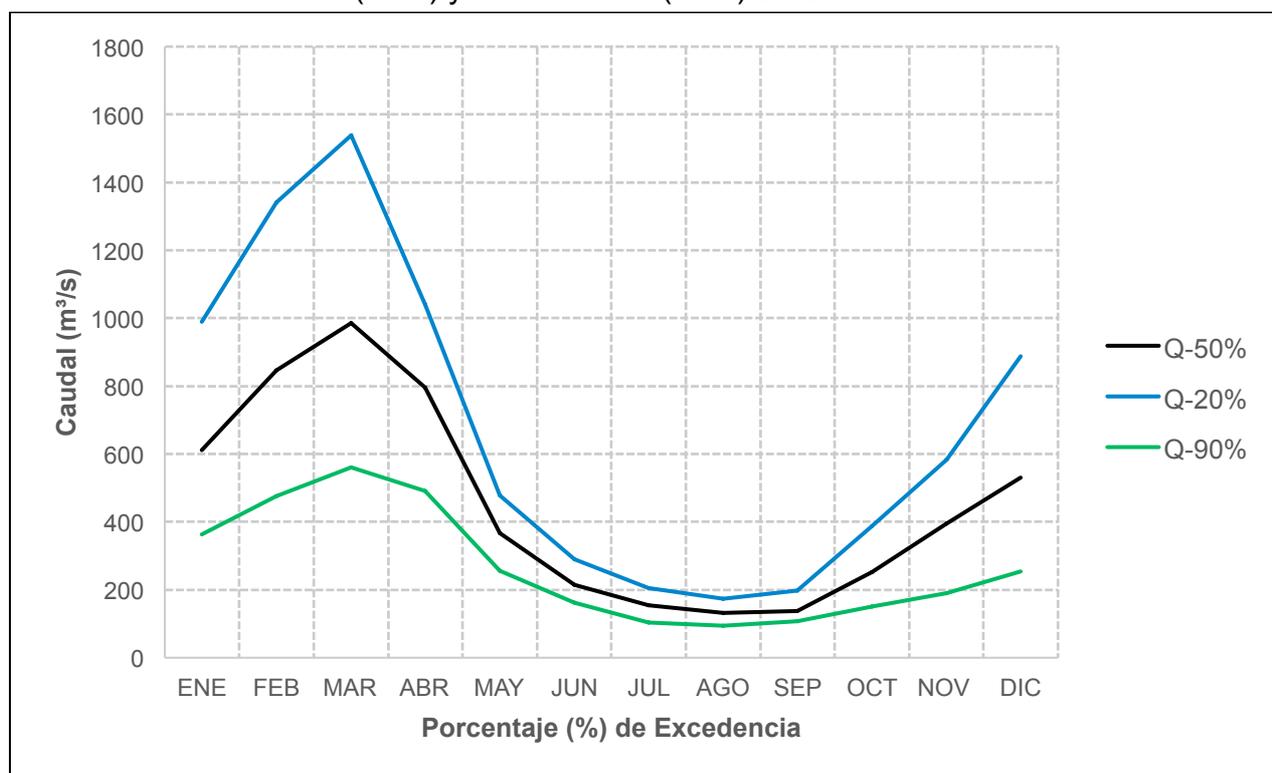


El ajuste del modelo de Weibull fue aplicado para cada mes, obteniendo los 17 percentiles para cada uno de ellos, como se aprecia en la tabla 26. Los caudales que corresponden a un año normal, año húmedo y año seco se encuentran resaltados en amarillo dentro de la tabla.

El gráfico 7 muestra la variación mensual de los caudales para las tres temporadas definidas. Para un año normal se tiene un caudal promedio de  $451.85 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los meses de mayo a noviembre tienen un caudal por debajo de este promedio, y son considerados los meses más secos. Por otro lado, los meses restantes son considerados como parte de la época húmeda del año.

En un año húmedo típico (caudales con un 20% de persistencia a nivel mensual), el caudal promedio es de  $676.02 \text{ m}^3/\text{s}$ . De forma similar, en los años secos (persistencia del 90%), los meses húmedos corresponden al período entre diciembre y abril, y el período seco al resto del año. Por último, el caudal promedio anual con una persistencia del 90% (años secos) es de  $276.33 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Gráfico 7.** Variación mensual de caudales para un año normal (50%), un año seco (20%) y año húmedo (90%) en Chadín 2.



**Tabla 26.** Curvas de Duración Generadas para los 6 escenarios de conservación de Chadín 2

<b>Persistencia</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>0.01</b>	4,039.74	4,708.22	5,164.92	1,975.18	1,027.05	858.38	438.28	394.33	895.81	1,284.63	1,409.22	3,226.65
<b>0.1</b>	3,124.00	3,755.64	4,152.36	1,766.27	890.13	691.40	381.37	337.58	660.31	1,033.22	1,212.74	2,573.87
<b>1</b>	2,202.42	2,758.39	3,083.26	1,514.45	735.14	520.73	316.09	274.51	442.27	768.51	984.13	1,884.37
<b>5</b>	1,553.25	2,021.17	2,284.65	1,293.42	609.12	398.21	262.16	224.35	303.59	571.45	791.90	1,369.07
<b>10</b>	1,271.80	1,688.10	1,920.63	1,177.92	547.38	344.23	235.38	200.23	248.52	481.89	695.02	1,134.10
<b>20</b>	988.74	1,341.01	1,538.37	1,041.31	478.37	289.17	205.09	173.71	197.13	388.08	584.01	887.26
<b>30</b>	822.14	1,128.82	1,302.76	945.75	432.90	256.28	184.88	156.54	169.23	330.41	508.93	735.07
<b>40</b>	703.31	972.43	1,127.88	866.65	397.15	232.52	168.82	143.24	150.67	287.70	448.55	622.07
<b>50</b>	610.67	846.54	986.12	795.29	366.50	213.76	154.91	132.00	137.14	253.16	395.62	530.44
<b>60</b>	534.56	739.57	864.79	726.93	338.67	198.14	142.13	121.96	126.80	223.67	346.40	451.99
<b>70</b>	469.81	645.02	756.67	657.70	312.13	184.66	129.79	112.55	118.68	197.46	298.23	382.05
<b>80</b>	413.30	558.50	656.72	582.71	285.48	172.67	117.20	103.30	112.27	173.31	248.21	317.37
<b>90</b>	362.91	475.96	559.95	491.44	256.38	161.68	103.14	93.51	107.30	150.05	190.95	254.70
<b>95</b>	339.45	434.10	509.96	428.71	238.91	156.40	94.46	87.86	105.38	138.10	154.47	222.31
<b>99</b>	321.22	397.49	465.11	343.78	219.51	152.10	84.41	81.93	104.21	127.47	110.31	193.21
<b>99.9</b>	317.09	387.28	452.02	293.40	211.32	151.04	79.86	79.66	104.03	124.41	88.68	184.70
<b>99.99</b>	316.66	385.90	450.14	275.71	209.43	150.92	78.71	79.20	104.02	123.98	82.69	183.47

### Condición modificada

Los caudales naturales y los escenarios de preservación recomendados según el modelo de Caudal Ecológico para cada mes, en cada uno de los tres escenarios hidrológicos (normal, húmedo y seco), se presentan en las tablas del 27 al 29 y en los gráficos del 8 al 10.

Los caudales de conservación siguen el mismo patrón de variación a lo largo de los meses, sin embargo, presentan valores más bajos conforme se acercan al nivel de conservación F (modificación crítica).

El caudal para el funcionamiento de la central hidroeléctrica tiene dos regímenes que se diferencian en los meses más secos de la época seca (junio a octubre), definiéndose en esta temporada dos diferentes períodos en un día: (i)  $Q_{7h}$ , es el caudal de regulación diaria de 7 horas de generación continua, que oscila entre  $192.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $346.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y (ii)  $Q_{17h}$ , es el caudal para 17 horas de embalse (AMEC (Perú) S.A., 2011), que es menor y oscila entre  $76.28 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $283.28 \text{ m}^3/\text{s}$ . Estos valores se encuentran dentro de las tablas 27, 28 y 29, en donde también pueden ser comparados los caudales naturales versus los caudales de los diferentes escenarios de conservación.

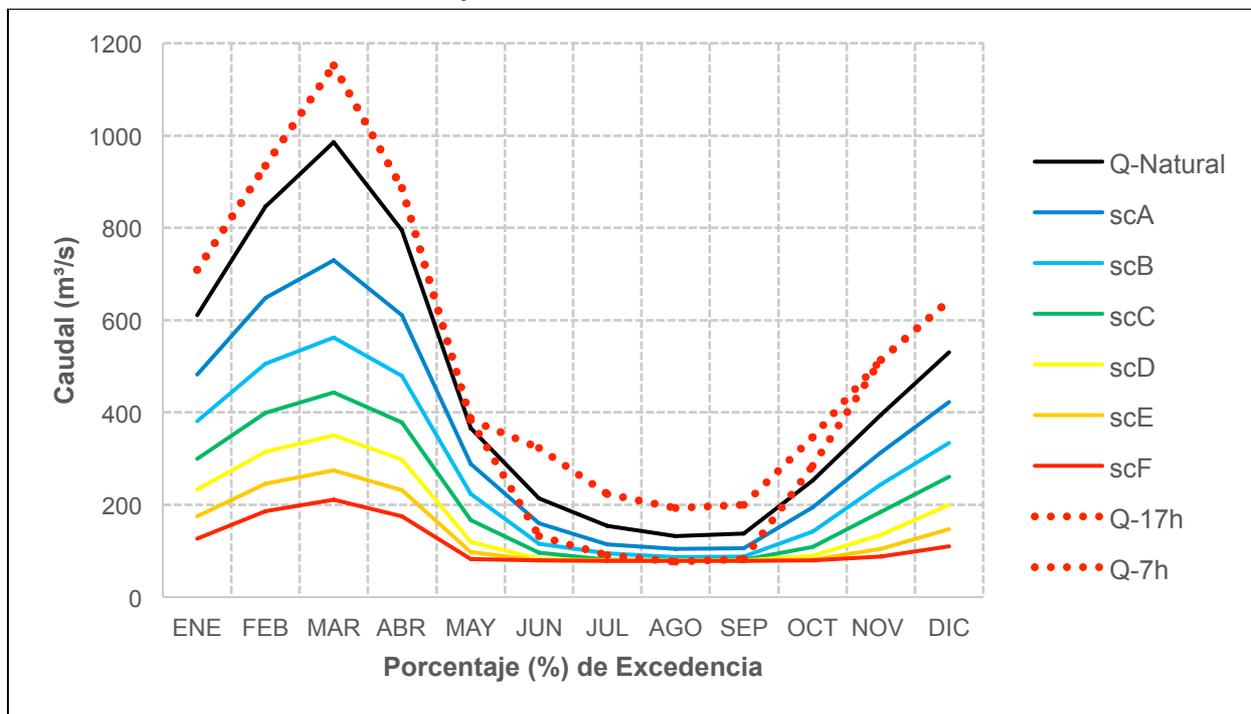
Para un **año normal**, la combinación de valores de caudal turbinado continuo de 7 y 17 horas en época seca, junto con la capacidad de almacenamiento del embalse permitirían la satisfacción de la demanda de producción. El caudal de descarga propuesto en la época húmeda es muy similar al caudal natural (ligeramente superior debido a que en su planteamiento se utilizó un modelo hidrológico derivado de una serie temporal más corta), sin embargo la gran variabilidad diaria que se generaría en la época seca (caudales de 7 y 17 horas), constituye una fuente de perturbación ambiental muy importante, puesto que (como puede verse en la tablas 27 y en el gráfico 8), durante una parte del día los caudales serían cercanos al caudal natural (7 horas) sin embargo el resto del tiempo (las horas de menor demanda), el caudal se encontrará cerca de los escenarios de preservación C, D o E.

En el caso de un **año húmedo**, el caudal de operación se encuentra muy próximo del escenario de conservación A (natural) en los meses con mayor precipitación. En los meses secos, el caudal de descarga continua por 7 horas (7h) se aproxima a los valores de caudal natural, mientras que el caudal de 17 horas, se acerca a un escenario de conservación D o F.

El régimen de descargas debería ser modificado en los años secos. Durante los meses húmedos (de diciembre a abril) de este tipo de años, lo propuesto en el EIA supera

largamente los caudales naturales, al igual que en los meses secos (de mayo a noviembre) con el caudal de descarga de 7 horas. No obstante, con el caudal de 17 horas en esta temporada (seca), los valores de descarga terminan acercándose a un escenario de conservación D o F (ambiente acuático seriamente impactado).

**Gráfico 8.** Caudal mensual y escenarios de conservación año normal – Chadín 2.



**Tabla 27.** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Chadín 2. Año Normal, Caudales con un 50% de Persistencia.

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Caudal-17h	Caudal-7h
ENE	610.67	481.52	380.97	300.19	232.95	175.65	126.15	708.49	708.49
FEB	846.54	647.82	505.18	399.15	314.91	245.26	186.17	934.63	934.63
MAR	986.12	729.40	562.52	443.22	350.57	275.09	211.66	1,151.65	1,151.65
ABR	795.29	610.74	479.12	379.12	298.70	231.70	174.58	886.86	886.86
MAY	366.50	288.63	223.24	167.33	119.67	98.10	82.48	383.79	383.79
JUN	213.76	159.70	116.25	95.58	81.96	79.22	78.92	132.05	323.40
JUL	154.91	114.42	94.22	81.68	79.19	78.90	78.67	91.00	223.30
AGO	132.00	104.13	86.63	80.11	79.05	78.79	78.58	76.28	192.50
SEP	137.14	106.50	88.38	80.47	79.08	78.81	78.60	81.78	200.20
OCT	253.16	194.07	142.09	108.36	89.76	80.76	79.11	283.78	346.50
NOV	395.62	313.87	244.39	185.43	134.62	105.02	87.29	514.14	514.14
DIC	530.44	422.16	333.53	260.83	199.48	146.77	110.46	643.31	643.31

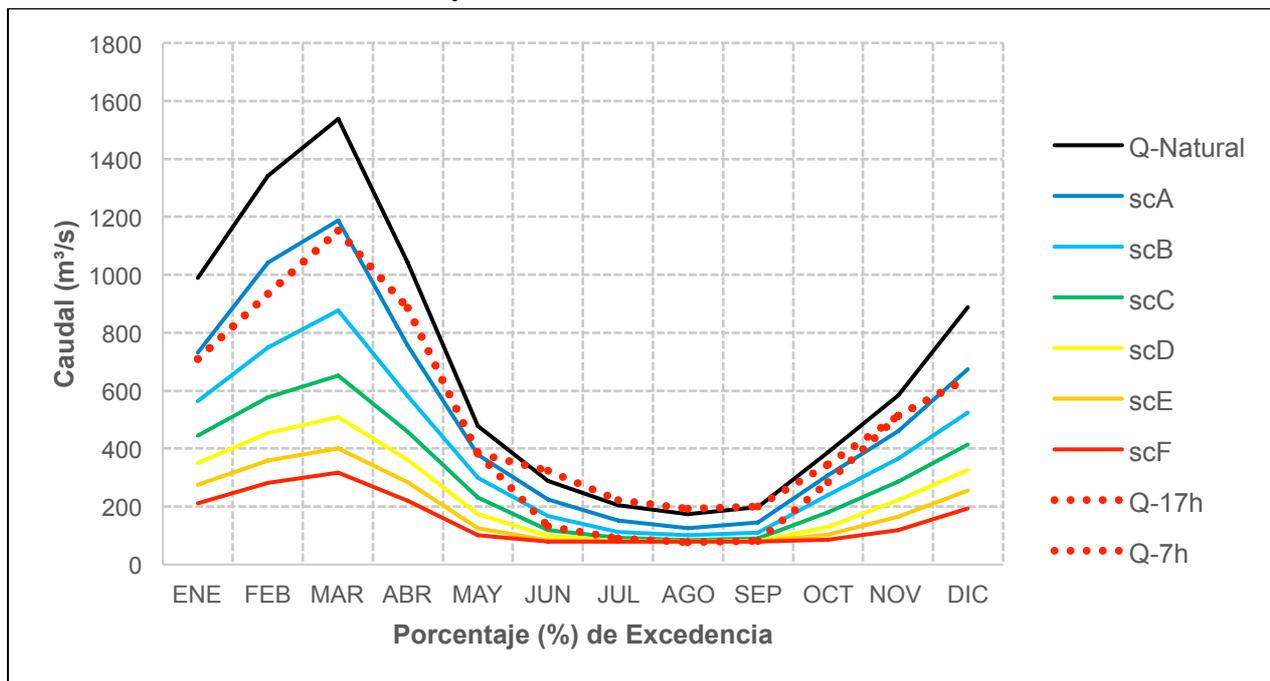
**Tabla 28.** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Chadín 2. Año Húmedo, Caudales con un 20% de Persistencia.

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Caudal-17h	Caudal-7h
ENE	988.74	730.69	563.43	443.92	351.14	275.56	212.07	708.49	708.49
FEB	1,341.01	1,042.54	749.12	576.38	453.88	359.20	282.30	934.63	934.63
MAR	1,538.37	1,188.02	876.30	652.92	508.77	401.91	317.14	1,151.65	1,151.65
ABR	1,041.31	755.17	580.64	457.15	361.84	284.51	219.72	886.86	886.86
MAY	478.37	379.80	299.25	232.16	174.98	125.57	100.97	383.79	383.79
JUN	289.17	223.82	167.83	119.90	98.26	82.52	79.27	132.05	323.40
JUL	205.09	152.45	113.00	93.18	81.47	79.17	78.89	91.00	223.30
AGO	173.71	124.75	100.60	84.03	79.57	79.00	78.75	76.28	192.50
SEP	197.13	145.64	109.95	90.93	81.00	79.13	78.85	81.78	200.20
OCT	388.08	307.39	238.97	180.80	130.61	103.22	85.96	283.78	346.50
NOV	584.01	460.65	364.68	286.88	221.75	166.04	119.09	514.14	514.14
DIC	887.26	674.35	523.83	413.48	326.51	254.96	194.46	643.31	643.31

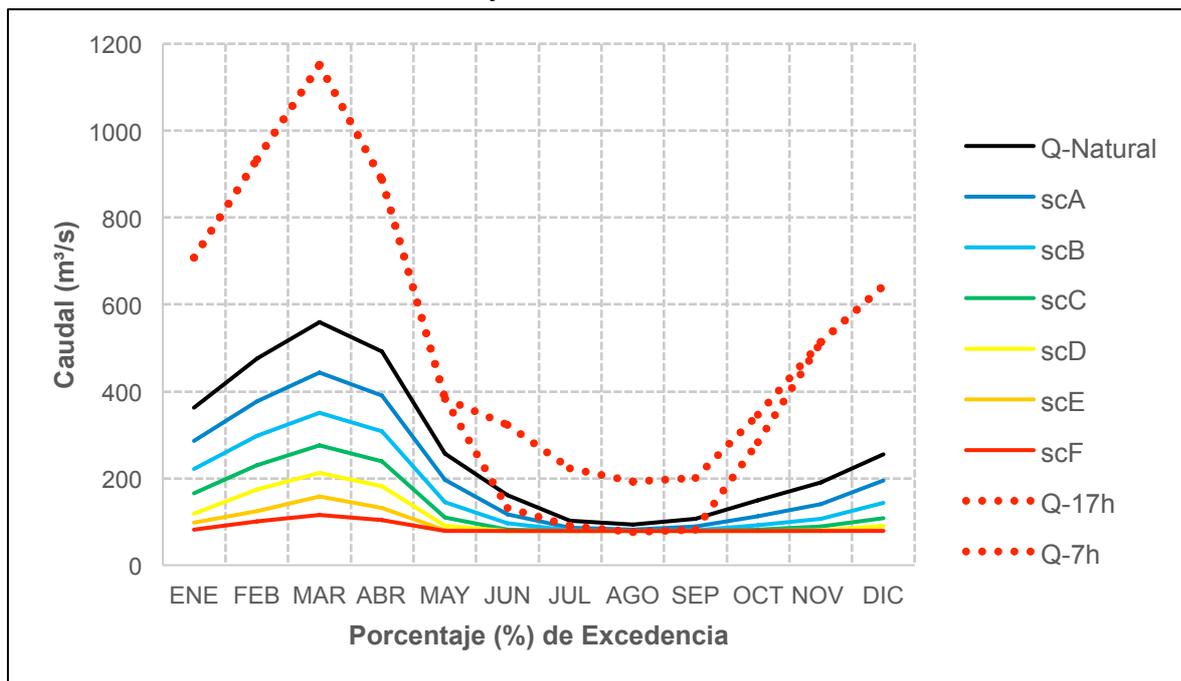
**Tabla 29.** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Chadín 2. Año Seco, Caudales con un 90% de Persistencia

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Caudal-17h	Caudal-7h
<b>ENE</b>	362.91	285.87	220.88	165.29	118.76	97.42	82.34	708.49	708.49
<b>FEB</b>	475.96	377.71	297.56	230.75	173.77	124.53	100.50	934.63	934.63
<b>MAR</b>	559.95	443.96	351.17	275.58	212.09	157.68	115.35	1,151.65	1,151.65
<b>ABR</b>	491.44	390.92	308.25	239.69	181.41	131.14	103.46	886.86	886.86
<b>MAY</b>	256.38	196.83	144.48	109.44	90.55	80.92	79.12	383.79	383.79
<b>JUN</b>	161.68	117.33	96.37	82.13	79.23	78.93	78.70	132.05	323.40
<b>JUL</b>	103.14	86.00	79.98	79.03	78.78	78.57	78.40	91.00	223.30
<b>AGO</b>	93.51	81.56	79.18	78.89	78.66	78.48	78.33	76.28	192.50
<b>SEP</b>	107.30	89.12	80.63	79.09	78.82	78.61	78.43	81.78	200.20
<b>OCT</b>	150.05	112.29	92.65	81.36	79.16	78.88	78.65	283.78	346.50
<b>NOV</b>	190.95	140.25	107.54	89.15	80.63	79.09	78.82	514.14	514.14
<b>DIC</b>	254.70	195.39	143.24	108.88	90.14	80.84	79.11	643.31	643.31

**Gráfico 9.** Caudal mensual y escenarios de conservación año húmedo – Chadín 2.



**Gráfico 10.** Caudal mensual y escenarios de conservación año seco – Chadín 2



## Modificación en los patrones de transporte/deposición de sólidos suspendidos

La central hidroeléctrica Chadín incluye un reservorio con capacidad de almacenamiento en volumen útil de casi 1,307 Mm<sup>3</sup>, siendo uno de los embalses con menor capacidad proyectada entre los evaluados. Los parámetros empleados para el cálculo de su eficiencia de retención pueden revisarse en la tabla 30.

**Tabla 30.** Características de embalse – Chadín 2

	<b>Chadín 2</b>
<b>Capacidad de reservorio (m<sup>3</sup>)</b>	1,960 * 10 <sup>6</sup>
<b>Volumen inefectivo (m<sup>3</sup>)</b>	653.3 * 10 <sup>6</sup>
<b>Volumen útil (m<sup>3</sup>)</b>	1,306.7 * 10 <sup>6</sup>
<b>Área de drenaje de la cuenca (km<sup>2</sup>)</b>	26,575
<b>Ingreso anual de agua al embalse (m<sup>3</sup>)</b>	15,976.3* 10 <sup>6</sup>

Las eficiencias de retención obtenidas pueden revisarse en la tabla 31. Empleando el modelo de Brown, la eficiencia de retención del embalse de Chadín supera el 99 %. Bajo estas condiciones se retendrían aproximadamente 10.1 millones de toneladas al año en el embalse. Por otro lado, el modelo de Bruner arroja casi un 86% de eficiencia de retención. En este caso el embalse retendría 8.7 millones de toneladas de sedimentos al año.

**Tabla 31** Retención de sedimentos – Chadín 2 (en mg/L)

	<b>Chadín 2</b>
<b>Ingreso de sólidos totales disueltos promedio</b>	635
<b>Eficiencia de retención (%) (Brown 1943)</b>	99.98
<b>Salida de sólidos totales suspendidos promedio</b>	0.14
<b>Eficiencia de retención (%) (Brune 1953)</b>	86
<b>Salida de sólidos totales suspendidos promedio</b>	90.74

Los resultados obtenidos demuestran una retención de casi todos los sólidos suspendidos al pasar por el embalse, lo que coincide con información brindada en el EIA realizado para Chadín, donde se menciona que el embalse retendría la totalidad de sólidos que lleguen al embalse. En el EIA también se menciona que el efecto de la operación del proyecto sobre los sedimentos generará cambios en el aspecto del río y en las condiciones promedio del medio acuático, limitándose al área de influencia directa, aunque de manera continua y con una duración limitada a 50 años. Los efectos descritos anteriormente están clasificados como un impacto alto. La mitigación mencionada en el EIA, incluye el mantenimiento de un nivel adecuado de sólidos suspendidos en el

Marañón, pero no aclara si esto se hará a través de un sistema de descargas u otros. Debido a la falta de información al respecto, es imposible concluir sobre si la mitigación en este caso será adecuada, o tendrá un efecto adverso sobre la biota del río.

### **Alteración de rutas migratorias**

El proyecto Chadín 2 contempla la construcción de un embalse, cuyo diseño y operación generarían un impacto negativo en los patrones de desplazamiento de las especies migratorias que utilizan el área (o zonas en aguas más arriba) como lugares de desove, afectando sus patrones reproductivos, reclutamiento poblacional (Cañas & Pine, 2011), y a la larga, generando la desaparición de estas especies en la zona.

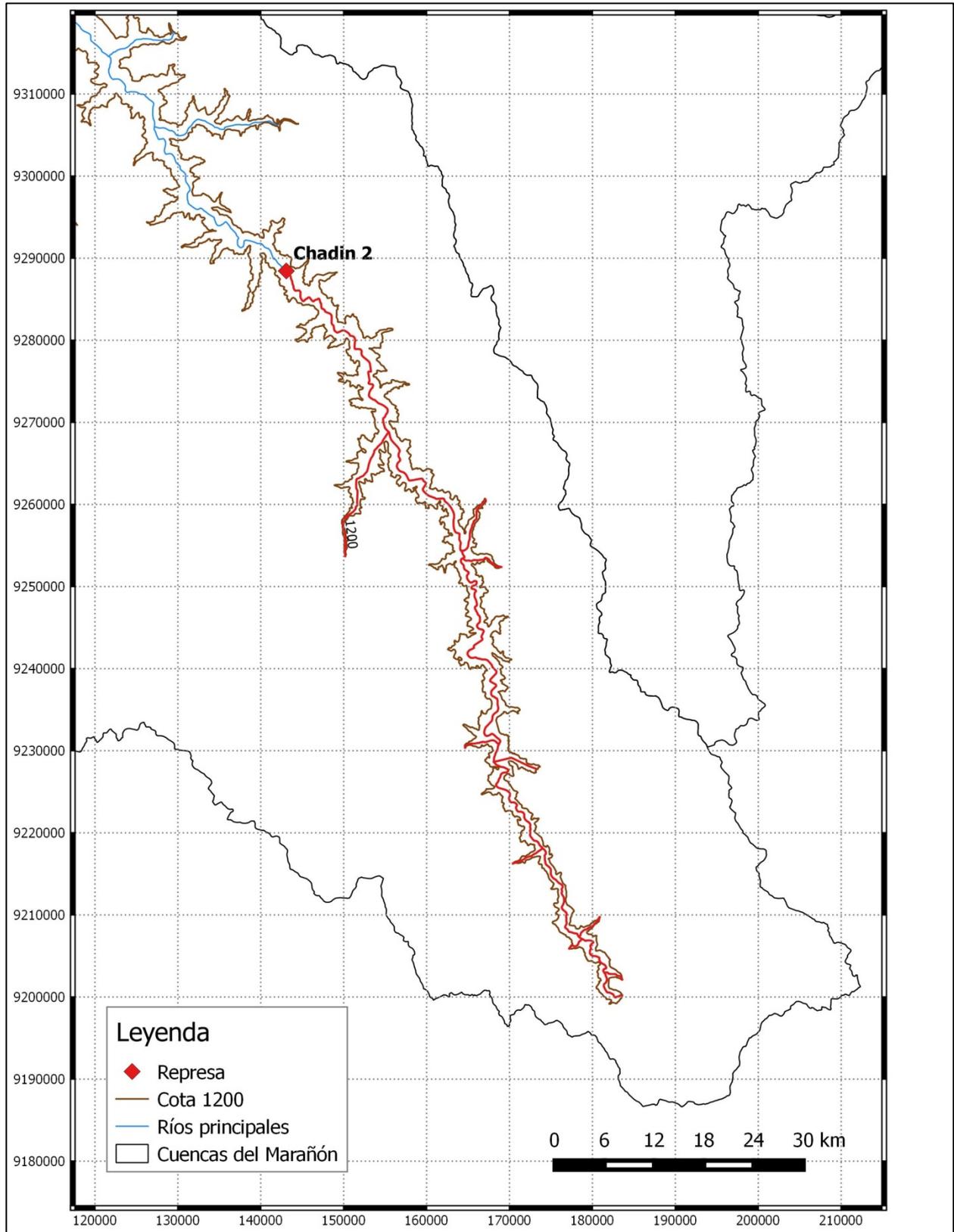
Estos efectos negativos se encuentran registrados en el EIA del proyecto, y reconocidos como impacto “fuerte negativo”. No obstante, las medidas de manejo propuestas (monitoreos hidrobiológicos y de hábitat, manejo de caudales ambientales, el marcaje y recaptura de peces, y translocación de estos si fuera necesario (AMEC (Perú) S.A., 2011); llevan a criterio de AC Energía S.A (propietaria del proyecto y empresa propiedad Odebrecht), a disminuir la significancia del impacto a “baja”.

De construirse el proyecto Chadín 2 y considerando una cota superior de desplazamiento de peces migratorios de 1,200 m.s.n.m, se perdería un total de 182 kilómetros de segmentos de río principales aguas arriba del proyecto. En la figura 11 se puede observar un mapa con los segmentos de río a perderse por la construcción del proyecto Chadín 2 (en rojo).

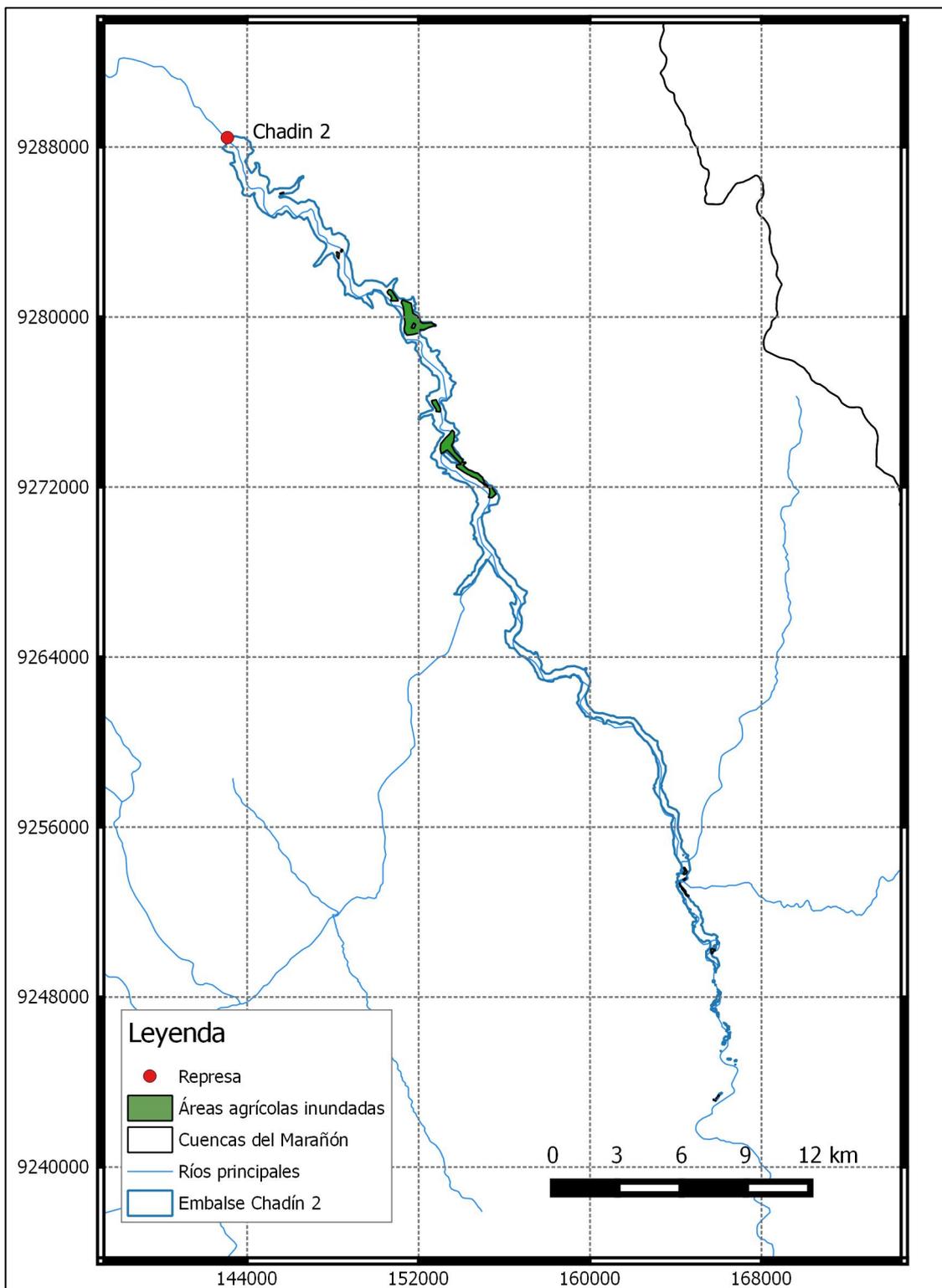
### **Áreas agrícolas inundadas**

Tal como se ha mencionado previamente, la inundación de áreas agrícolas es uno de los principales impactos de la construcción de embalses para la generación de energía. En este sentido, la construcción del proyecto Chadín 2 impactaría un total de 245 hectáreas de terreno agrícola circundante, afectando asimismo a diversos poblados de la zona (Tupen Grande, Choropampa y San Lucas). Las áreas agrícolas inundadas por el proyecto Chadín 2 pueden ser observadas en la figura 12.

Figura 11. Alteración de rutas migratorias por la CH Chadín 2.



**Figura 12.** Áreas agrícolas inundadas por la CH Chadín 2.



## CENTRAL HIDROELÉCTRICA VERACRUZ

El complejo hidroeléctrico Veracruz se encuentra situado en los departamentos de Amazonas y Cajamarca. El diseño de este proyecto dota a la central con una potencia generadora de 730 MW de energía. Para este fin se plantea contar con una superficie de reservorio de 36 Km<sup>2</sup>. Al igual que Chadín 2, el complejo hidroeléctrico de Veracruz cuenta en la actualidad con su EIA aprobado y una concesión definitiva.

Los análisis desarrollados a continuación, se basan tanto en la información general disponible sobre el proyecto, como en datos específicos obtenidos de la Línea Base del EIAS.

### Alteración Hidrológica

El caudal simulado para la central hidroeléctrica de Veracruz, en el EIA del proyecto, se basa únicamente en datos de la estación hidrométrica de Cumba. Sin embargo estos datos presentan una cobertura temporal muy reducida (de 1961 a 1985), y esto resulta en algunas inconsistencias (como la presencia de meses o años típicos con caudales simulados inferiores a los de Chadín y Río Grande). Es por ello que para este análisis se generaron datos en base a la interpolación de información de las estaciones hidrométricas de Balsas y de Cumba.

### *Condición basal*

En el desarrollo de las curvas de persistencia (insumo para el análisis probabilístico), se obtuvieron valores de correlación muy altos para todas las funciones de distribución: (i)  $R^2$  de la distribución de Gumbel =0.994, (ii)  $R^2$  de la distribución de Weibull =0.994 y (iii) distribución de Pearson Tipo 3 =0.994. El gráfico 11 muestra cómo los valores observados de caudal se ajustan. El modelo elegido fue el de Weibull debido a no presentar valores de caudal negativo para las persistencias más altas. Los parámetros del modelo de Weibull son: zeta=88.023, beta=405.984 y delta=1.013.

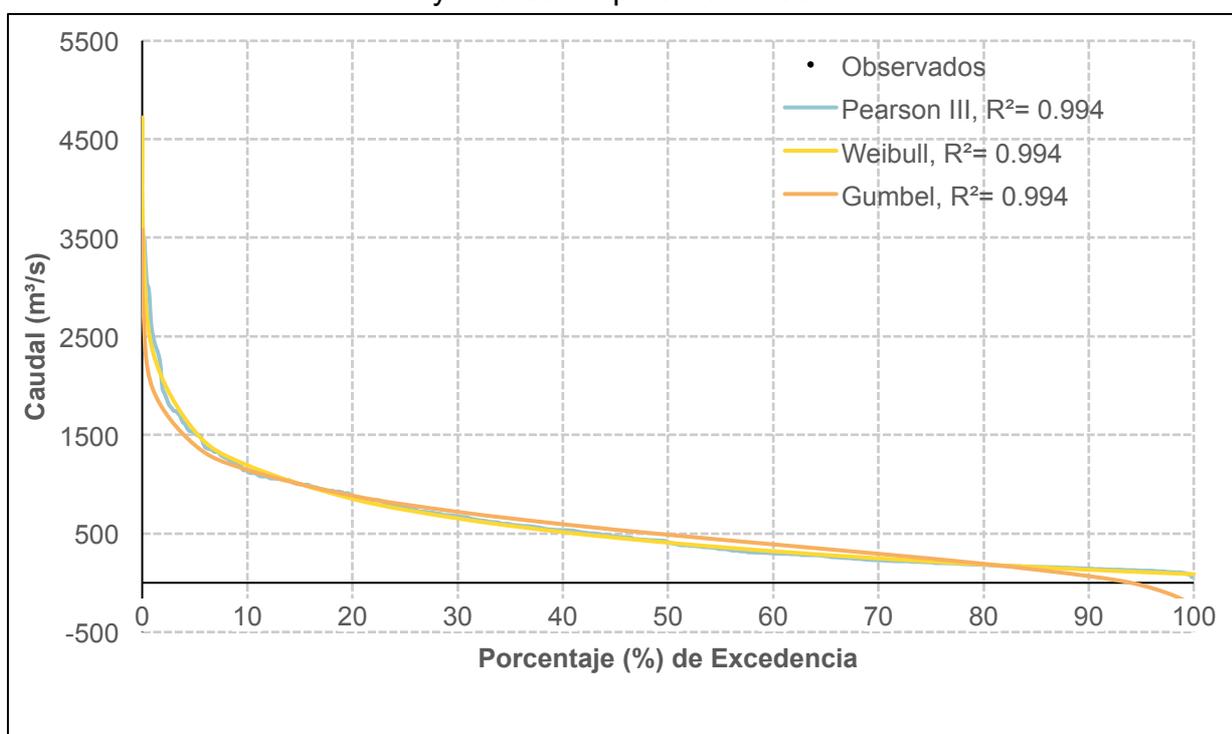
Los valores de caudal para cada uno de los meses fueron ajustados al modelo de Weibull, obteniendo valores de caudal para las 17 persistencias seleccionadas, como se observa en la tabla 32.

Para el año normal (50% de persistencia), el caudal natural más bajo corresponde al mes de agosto, con 145.30 m<sup>3</sup>/s, mientras que marzo tiene el caudal natural más elevado, con 1,085.42 m<sup>3</sup>/s. El caudal promedio para este tipo de año es de 497.34 m<sup>3</sup>/s.

Los caudales para la temporada húmeda (20% de persistencia) presentaron un promedio de 744.09 m<sup>3</sup>/s, siendo agosto (con un caudal de 191.20 m<sup>3</sup>/s) el mes más seco, y marzo (con un caudal de 1,693.26 m<sup>3</sup>/s), el mes más lluvioso.

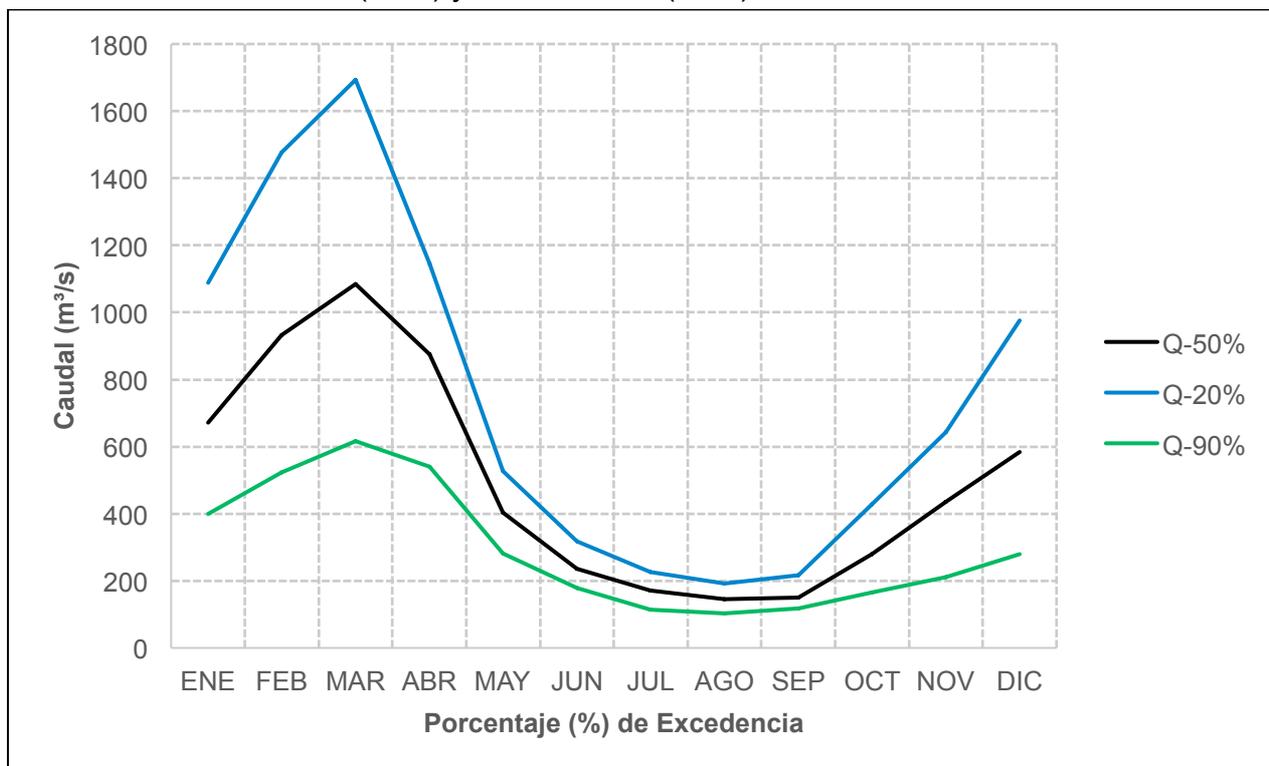
La temporada seca (90% de persistencia) tiene a los meses de marzo y agosto como los meses con caudales más extremos. En marzo, se tuvo un caudal de 616.33 m<sup>3</sup>/s, mientras que en agosto se tuvo un caudal de 102.93 m<sup>3</sup>/s.

**Gráfico 11.** Curvas de duración de caudales para las distribuciones de Gumbel, Weibull y Pearson Tipo 3 de Veracruz



El Gráfico 12 muestra las variaciones mensuales para el año normal, húmedo y seco, mostrando la misma variación en cada uno de ellos y con los mismos meses lluviosos (diciembre, enero, febrero, marzo y abril) y secos (mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre).

**Gráfico 12.** Variación mensual de caudales para un año normal (50%), un año seco (20%) y año húmedo (90%) en Veracruz



### Condición modificada

Los escenarios de conservación se generaron para cada época (normal, húmeda y seca), y se encuentran en las tablas del 33 al 35 y gráficos del 13 al 15.

El escenario de conservación A en un año normal, presenta valores de caudal con un promedio de 382.76 m<sup>3</sup>/s. Por el contrario, el escenario de conservación F tiene los valores más bajos, teniendo en promedio 125.91 m<sup>3</sup>/s. Se ha asumido como caudal remanente del proyecto el valor de caudal turbinado: 630 m<sup>3</sup>/s (O. Y. Ingeniería E.I.R.Lta., 2009), el cual se encuentra entre los escenarios de conservación A y B para los meses de febrero, marzo y abril, y supera largamente los valores de flujo natural el resto del año.

Para un año húmedo (20% de persistencia), se tuvo que en los meses más lluviosos, el caudal remanente se encuentra muy cerca del escenario de conservación C, con excepción de diciembre y enero, meses en que el caudal se aproxima más a un escenario de clase B. En los meses más secos, el caudal remanente está -nuevamente- por encima de los valores del caudal natural.

**Tabla 32** Caudales para los 17 porcentajes de excedencia del modelo de Weibull para cada uno de los meses en Veracruz

Persistencia	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0.01	4,446.50	5,182.29	5,684.97	2,174.06	1,130.46	944.81	482.41	434.03	986.01	1,413.98	1,551.12	3,551.54
0.1	3,438.55	4,133.79	4,570.45	1,944.11	979.75	761.01	419.76	371.57	726.80	1,137.25	1,334.85	2,833.03
1	2,424.18	3,036.13	3,393.71	1,666.94	809.16	573.16	347.92	302.15	486.80	845.89	1,083.22	2,074.10
5	1,709.64	2,224.68	2,514.69	1,423.65	670.45	438.31	288.56	246.94	334.16	628.99	871.63	1,506.93
10	1,399.85	1,858.07	2,114.01	1,296.52	602.50	378.89	259.08	220.39	273.54	530.41	765.00	1,248.29
20	1,088.29	1,476.03	1,693.26	1,146.16	526.53	318.29	225.74	191.20	216.98	427.15	642.82	976.60
30	904.92	1,242.48	1,433.93	1,040.98	476.49	282.09	203.50	172.30	186.27	363.67	560.18	809.08
40	774.13	1,070.34	1,241.44	953.91	437.14	255.93	185.82	157.66	165.84	316.67	493.72	684.70
50	672.15	931.78	1,085.42	875.37	403.41	235.28	170.51	145.30	150.95	278.65	435.45	583.85
60	588.38	814.03	951.87	800.13	372.77	218.09	156.44	134.24	139.56	246.19	381.28	497.50
70	517.12	709.97	832.86	723.92	343.56	203.25	142.86	123.88	130.63	217.35	328.26	420.52
80	454.91	614.74	722.84	641.39	314.22	190.05	129.00	113.70	123.57	190.77	273.20	349.33
90	399.45	523.88	616.33	540.92	282.19	177.96	113.52	102.93	118.11	165.15	210.17	280.35
95	373.63	477.81	561.31	471.88	262.97	172.15	103.97	96.71	115.99	152.01	170.02	244.70
99	353.57	437.52	511.94	378.40	241.61	167.41	92.91	90.18	114.70	140.31	121.42	212.66
99.9	349.01	426.28	497.53	322.95	232.59	166.25	87.90	87.68	114.51	136.94	97.61	203.29
99.99	348.54	424.75	495.46	303.47	230.52	166.11	86.64	87.17	114.50	136.47	91.02	201.94

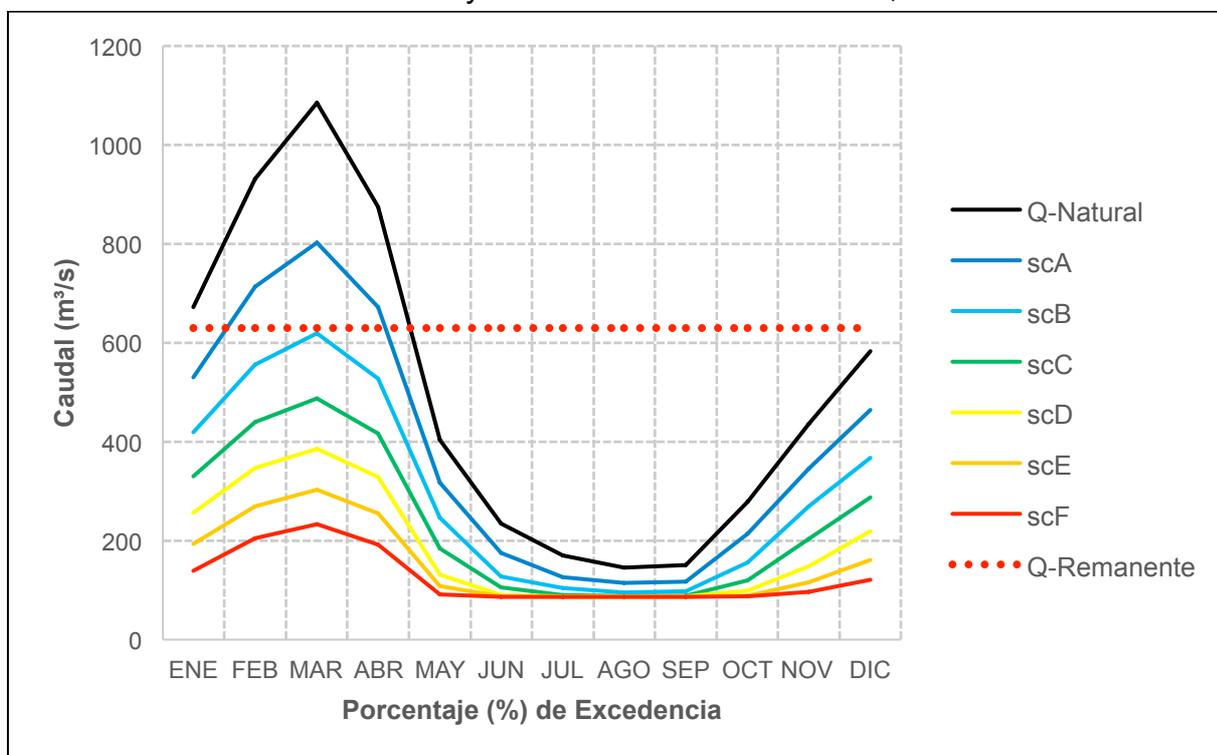
En un año seco (90% de persistencia), el caudal remanente de 630 m<sup>3</sup>/s se encuentra por encima de todos los valores de caudal natural y de los escenarios de conservación. Esta época es un evento con poca disponibilidad de agua, reflejándose en la insuficiencia para cumplir las demandas del proyecto.

Aunque el proyecto cuenta con un valor teórico de caudal ecológico (10% del caudal medio anual) este valor no fue usado en el análisis. Esto debido a que el proyecto contempla la construcción de una hidroeléctrica con la casa de máquinas a pie de presa, por lo que el caudal remanente en el río será igual al caudal turbinado.

Por el análisis realizado, es evidente que en años húmedos la combinación de flujo natural y operación del embalse podrán satisfacer las demandas del proyecto. Sin embargo en años normales o secos se deberá modificar el régimen de turbinado/descarga, puesto que el agua disponible será insuficiente para lo planteado en el EIA.

El mayor impacto en términos hidrológicos consiste en la eliminación de la variabilidad natural, puesto que el proyecto, en su actual configuración, contempla una descarga continua con un caudal constante (630 m<sup>3</sup>/s) (O. Y. Ingeniería E.I.R.Lta., 2009).

**Gráfico 13.** Caudal mensual y escenarios de conservación, año normal – Veracruz.



**Tabla 33.** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Veracruz. Año Normal, Caudales con un 50% de Persistencia

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Remanente
ENE	672.15	530.01	419.32	330.42	256.41	193.34	138.86	630.00
FEB	931.78	713.05	556.05	439.34	346.62	269.95	204.92	630.00
MAR	1,085.42	802.84	619.16	487.85	385.87	302.78	232.98	630.00
ABR	875.37	672.24	527.36	417.29	328.78	255.03	192.16	630.00
MAY	403.41	317.69	245.72	184.18	131.72	107.98	90.79	630.00
JUN	235.28	175.78	127.96	105.20	90.21	87.19	86.87	630.00
JUL	170.51	125.94	103.71	89.91	87.16	86.85	86.59	630.00
AGO	145.30	114.62	95.36	88.18	87.01	86.72	86.49	630.00
SEP	150.95	117.22	97.28	88.57	87.04	86.75	86.51	630.00
OCT	278.65	213.61	156.39	119.27	98.79	88.89	87.07	630.00
NOV	435.45	345.48	269.00	204.10	148.17	115.59	96.07	630.00
DIC	583.85	464.66	367.11	287.09	219.56	161.55	121.58	630.00

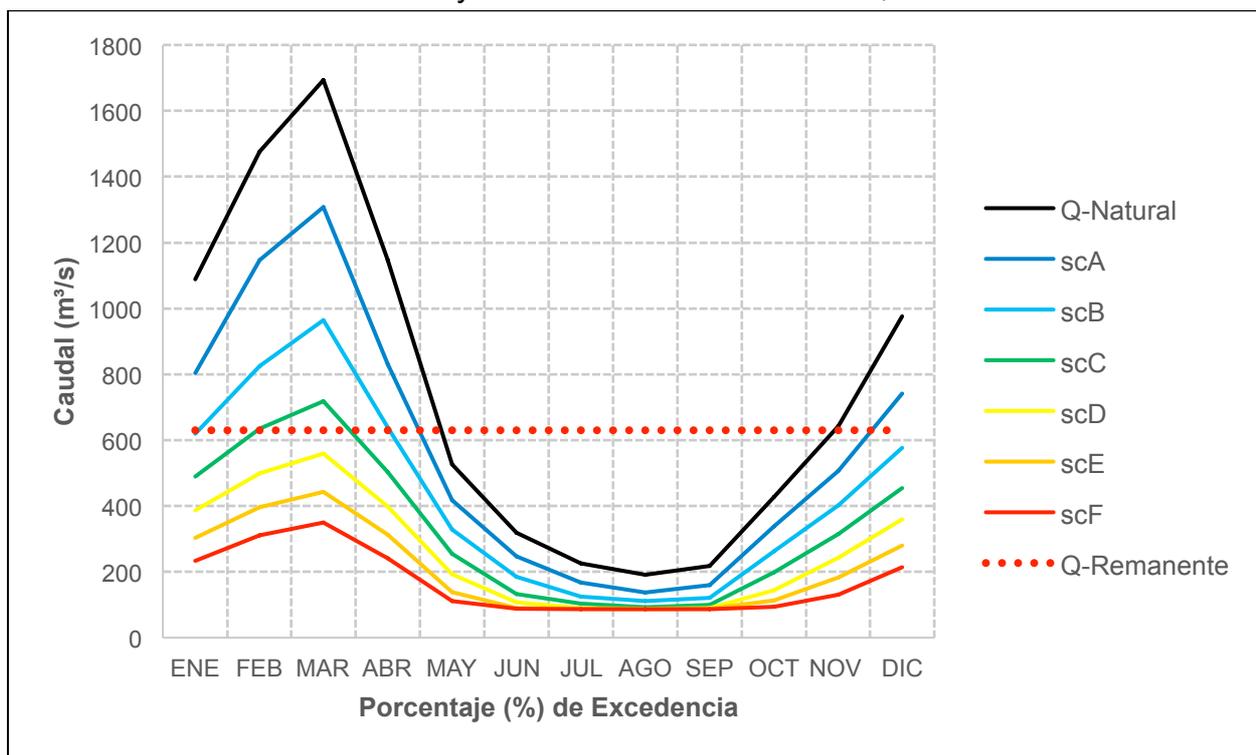
**Tabla 34.** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Veracruz. Año Húmedo, Caudales con un 20% de Persistencia.

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Remanente
ENE	1,088.29	804.26	620.17	488.62	386.50	303.31	233.42	630.00
FEB	1,476.03	1,147.51	824.54	634.42	499.58	395.36	310.72	630.00
MAR	1,693.26	1,307.64	964.53	718.66	559.99	442.37	349.07	630.00
ABR	1,146.16	831.21	639.11	503.18	398.28	313.16	241.84	630.00
MAY	526.53	418.04	329.38	255.54	192.60	138.21	111.13	630.00
JUN	318.29	246.35	184.73	131.97	108.16	90.83	87.25	630.00
JUL	225.74	167.79	124.38	102.56	89.67	87.14	86.83	630.00
AGO	191.20	137.31	110.73	92.49	87.58	86.95	86.67	630.00
SEP	216.98	160.30	121.03	100.09	89.16	87.10	86.79	630.00
OCT	427.15	338.34	263.03	199.00	143.76	113.61	94.62	630.00
NOV	642.82	507.04	401.40	315.77	244.07	182.76	131.08	630.00
DIC	976.60	742.25	576.57	455.12	359.38	280.63	214.04	630.00

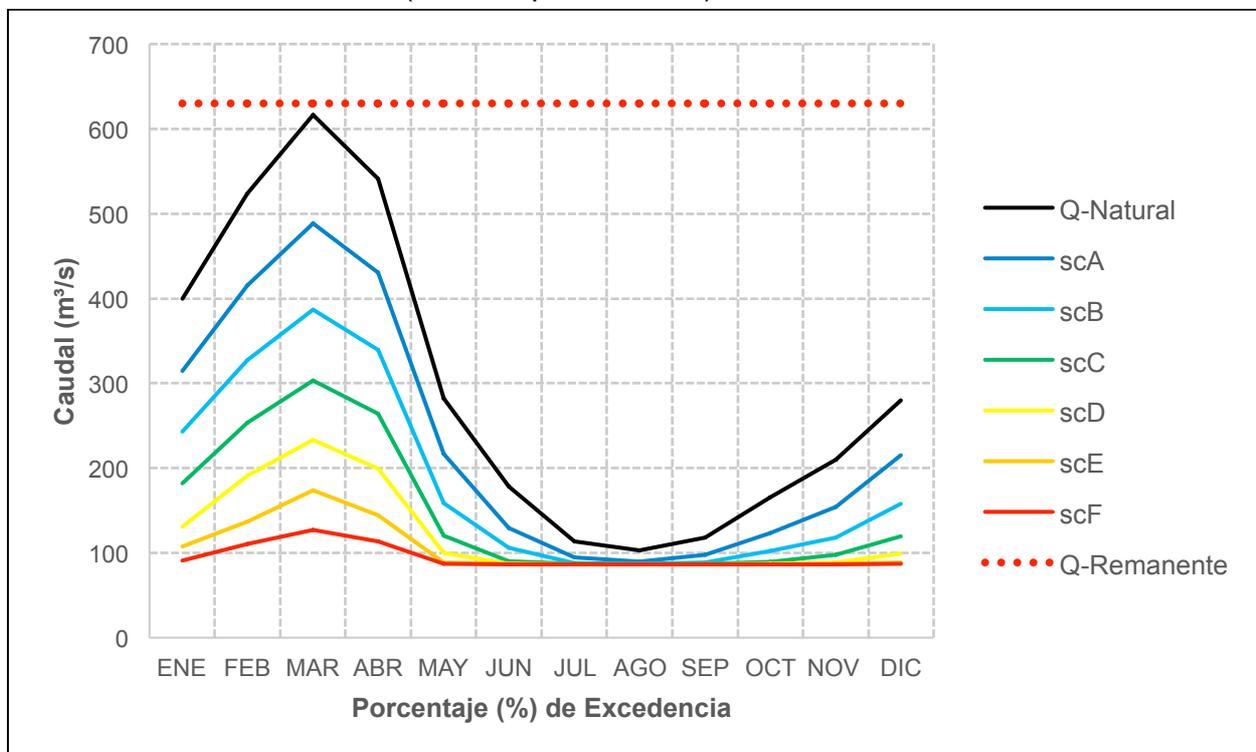
**Tabla 35.** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Veracruz. Año Seco, Caudales con un 90% de Persistencia.

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Remanente
ENE	399.45	314.65	243.12	181.93	130.71	107.23	90.63	630.00
FEB	523.88	415.74	327.52	253.98	191.27	137.06	110.62	630.00
MAR	616.33	488.66	386.53	303.33	233.44	173.56	126.96	630.00
ABR	540.92	430.28	339.29	263.83	199.68	144.34	113.88	630.00
MAY	282.19	216.65	159.03	120.46	99.66	89.07	87.09	630.00
JUN	177.96	129.15	106.08	90.40	87.21	86.88	86.62	630.00
JUL	113.52	94.66	88.03	86.99	86.71	86.48	86.30	630.00
AGO	102.93	89.78	87.15	86.84	86.58	86.38	86.22	630.00
SEP	118.11	98.10	88.74	87.06	86.76	86.52	86.33	630.00
OCT	165.15	123.60	101.98	89.55	87.13	86.82	86.57	630.00
NOV	210.17	154.37	118.37	98.12	88.75	87.06	86.76	630.00
DIC	280.35	215.07	157.66	119.84	99.21	88.97	87.08	630.00

**Gráfico 14.** Caudal mensual y escenarios de conservación, año húmedo – Veracruz.



**Gráfico 15.** Caudal mensual y escenarios de conservación para una temporada seca (90% de persistencia) – Veracruz.



## Modificación en los patrones de transporte/deposición de sólidos suspendidos

El proyecto hidroeléctrico Veracruz incluirá un reservorio de 2 mil millones de metros cúbicos de volumen útil. Los parámetros empleados para el cálculo de su eficiencia de retención pueden revisarse en la tabla 36 (O. Y. Ingeniería E.I.R.Lta., 2009).

**Tabla 36.** Características de embalse – Veracruz.

Características	Veracruz
Capacidad de reservorio (m <sup>3</sup> )	3,000 * 10 <sup>6</sup>
Volumen inefectivo (m <sup>3</sup> )	1,000 * 10 <sup>6</sup>
Volumen útil (m <sup>3</sup> )	2,000 * 10 <sup>6</sup>
Área de drenaje de la cuenca (km <sup>2</sup> )	35,818
Ingreso anual de agua al embalse (m <sup>3</sup> )	17,585 * 10 <sup>6</sup>

Las eficiencias de retención obtenidas pueden revisarse en la tabla 37. La eficiencia de retención del embalse de Veracruz supera el 99 % si se calcula con el método de Brown. Bajo estas condiciones se retendrían aproximadamente 10.3 millones de toneladas de sedimentos al año. Por otro lado, el modelo de Bruner arroja casi un 89% de eficiencia de retención. En este caso el embalse retendría 9.2 millones de toneladas de sedimentos al año.

**Tabla 37.** Retención de sedimentos – Veracruz (en mg/L).

Características	Veracruz
Ingreso de sólidos totales disueltos promedio	587.50
Eficiencia de retención (%) (Brown 1943)	99.98
Salida de sólidos totales suspendidos promedio	0.12
Eficiencia de retención (%) (Brune 1953)	89
Salida de sólidos totales suspendidos promedio	65.51

El EIA de Veracruz no incluye una discusión del impacto que produciría la retención de los sedimentos en el embalse. Sin embargo, de los resultados puede deducirse que la mayor cantidad de STS serán retenidos, teniendo necesariamente un efecto adverso aguas abajo del dique. No se conocen medidas de mitigación para este proyecto.

## Alteración de rutas migratorias

El proyecto Veracruz, propiedad de la compañía energética Veracruz S.A, plantea la construcción de un dique para la generación de energía en la cuenca media del Marañón. A diferencia de otros estudios realizados en la zona (aguas arriba de este

proyecto) (AMEC (Perú) S.A., 2011; Amec Foster Wheeler, 2015), el EIA del proyecto Veracruz (O. Y. Ingeniería E.I.R.Lta., 2009) cuenta con pocas estaciones de muestreo (3 en el río Marañón) y matrices de especies bastantes pobres para el componente de hidrobiología, en especial para el de macroinvertebrados (un Taxón) y peces (19 Taxa). En este EIA se menciona que existen especies migratorias en el área (Zúngaro, Boquichico y Sábalo) pero no se plantea medida de manejo alguna.

Considerando la información de otros estudios ambientales de proyectos aguas arriba del proyecto Veracruz (Chadín 2 y Río Grande), se puede inferir que las especies ya identificadas como potencialmente impactadas en este documento también se encuentran en la zona de influencia del proyecto Veracruz, y también verán restringido su movimiento en su proceso de migración y desove por la construcción de esta represa.

Una vez construido este proyecto, considerando solamente los ríos principales y una cota de desplazamiento de especies migrantes de 1,200 metros (valor conservador), generará una pérdida de 334 kilómetros de río. Esta pérdida puede ser observada en la figura 13 (en rojo).

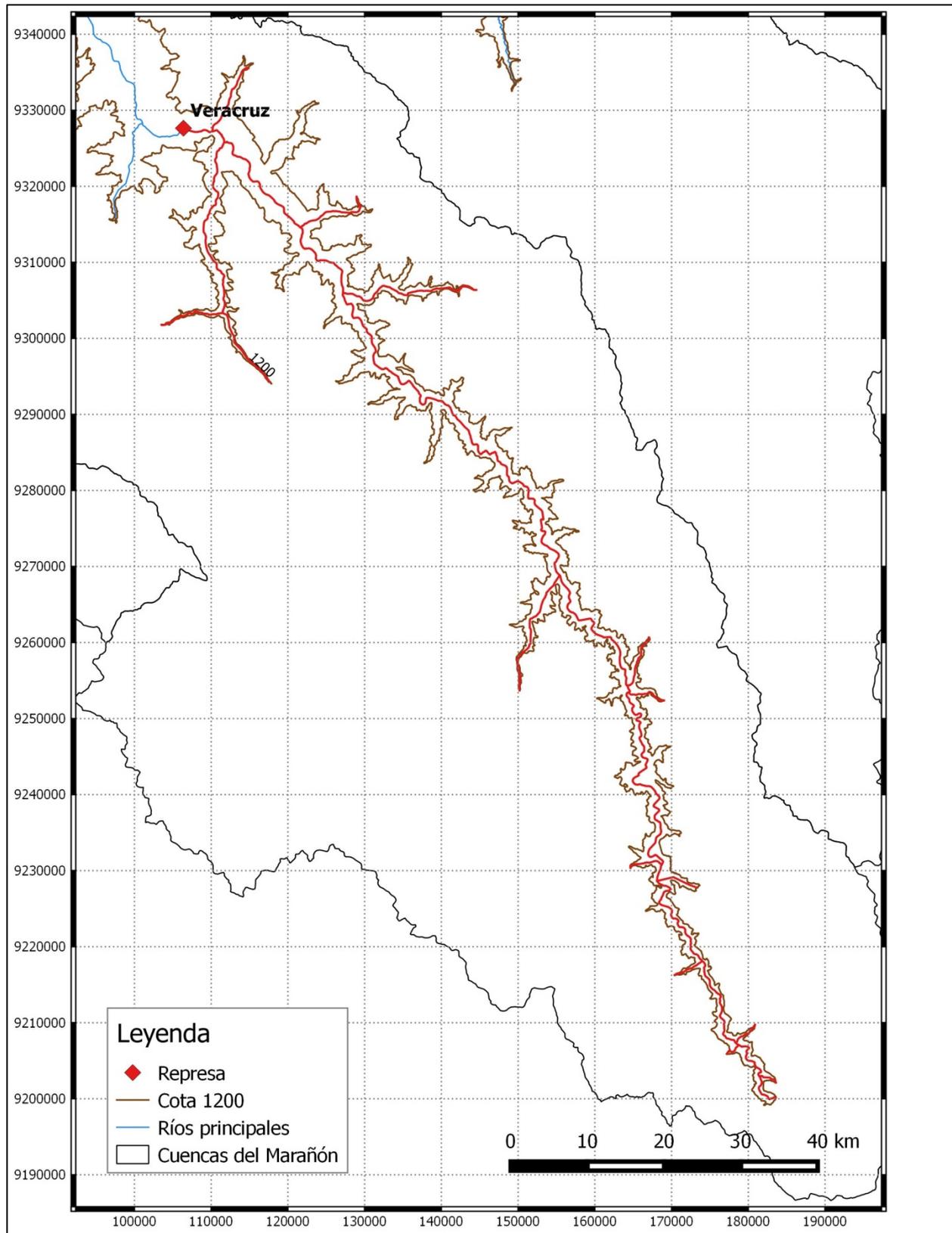
### Áreas agrícolas inundadas

El proyecto Veracruz se ubica en una zona de la cuenca donde, dada sus características geográficas, se realiza poca agricultura. En términos de áreas agrícolas inundadas, es el proyecto que menos impactos tiene en este sentido. De construirse este embalse, inundaría sólo 73 hectáreas de áreas agrícolas. Las áreas agrícolas inundadas por este proyecto pueden ser revisadas en la figura 14.

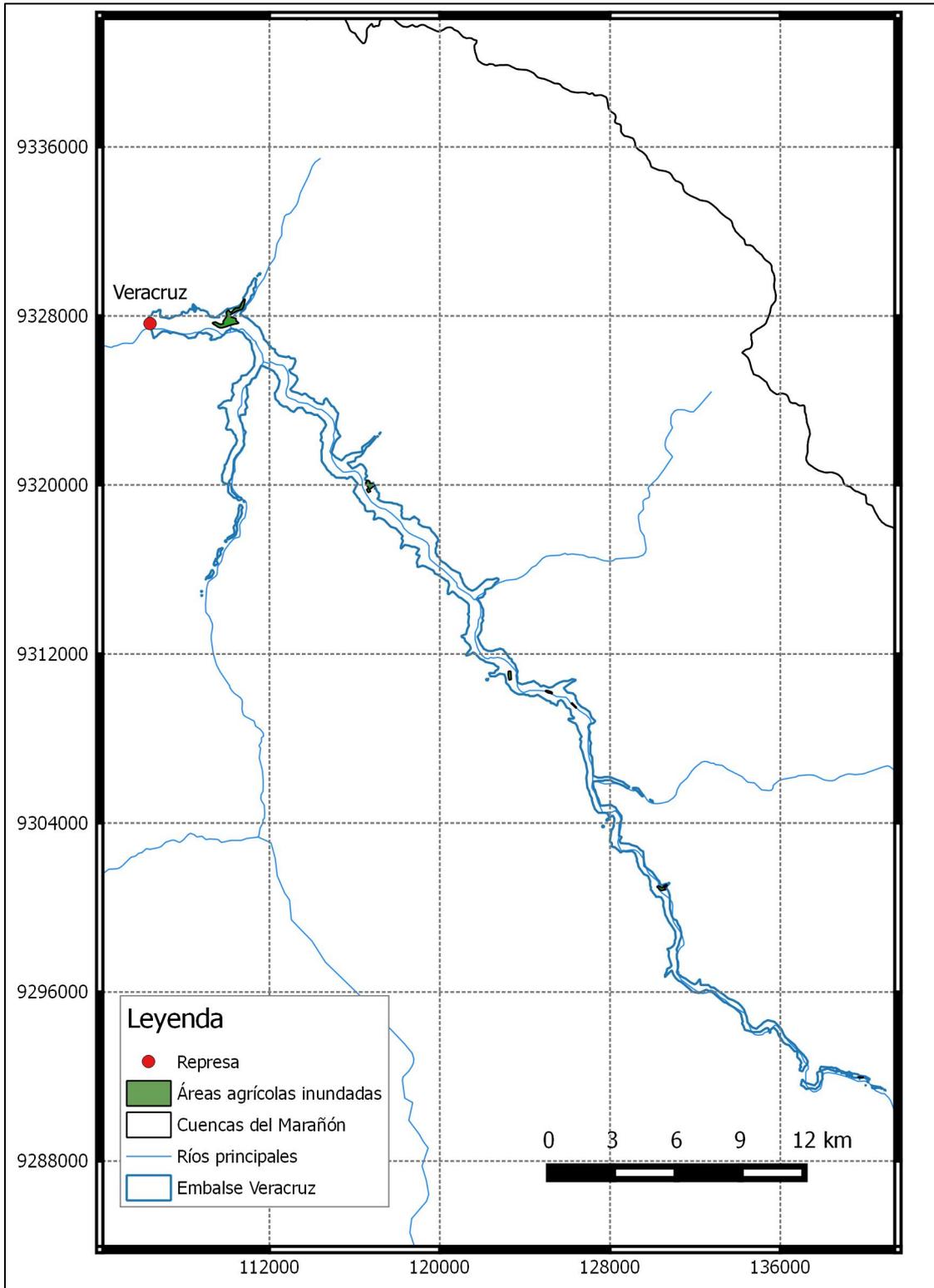
## CENTRAL HIDROELÉCTRICA RENTEMA

El proyecto de la central hidroeléctrica de Rentema se encuentra ubicado en la zona conocida como Pongo de Rentema. Esta ubicación busca aprovechar el caudal del río Marañón, sustancialmente incrementado por los aportes de dos importantes afluentes: Utcubamba y Chinchipe. Este proyecto contará con una potencia instalada de 1,525 MW, y un área de superficie de reservorio igual a 874 Km<sup>2</sup>. En la actualidad este proyecto se encuentra en la cartera del ministerio de Energía y Minas (MINEM), por lo que no cuenta aún con EIA.

Figura 13. Alteración de rutas migratorias por la CH Veracruz.



**Figura 14.** Áreas agrícolas inundadas por la CH Veracruz.



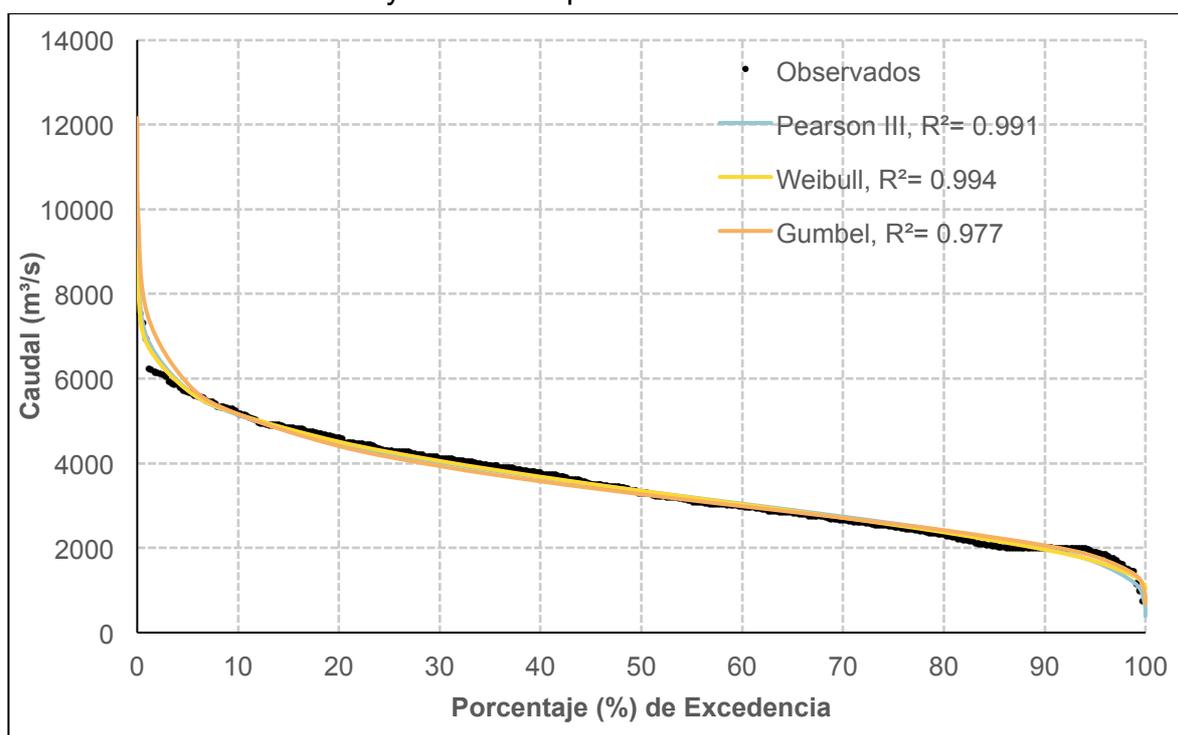
## Alteración Hidrológica

El proyecto hidroeléctrico Rentema es, entre los cinco elegidos como objeto del presente estudio, aquel para el que se cuenta con menor información. Sin embargo existen algunos datos de estaciones hidrométricas cercanas. Estos datos fueron utilizados para la modelación de caudales en base a una aproximación geográfica (interpolación).

### Condición basal

El análisis hidrológico del proyecto Rentema consistió en el uso de datos generados a partir de la interpolación de los datos de Balsas, Cumba y Manseriche (Borja). Los coeficientes de determinación del ajuste de los datos de caudal históricos a los modelos de distribución de probabilidad fueron: (i) 0.977 para la distribución de Gumbel, (ii) 0.994 para la distribución de Weibull y (iii) 0.991 unidades para Pearson tipo III. El modelo con el mejor ajuste fue Weibull, como se observa en el gráfico 16. Los parámetros de la función del modelo de Weibull fueron: zeta=1009.652, beta=2786.658 y delta=2.09.

**Gráfico 16.** Curvas de duración de caudales para las distribuciones de Gumbel, Weibull y Pearson Tipo 3 de Rentema.

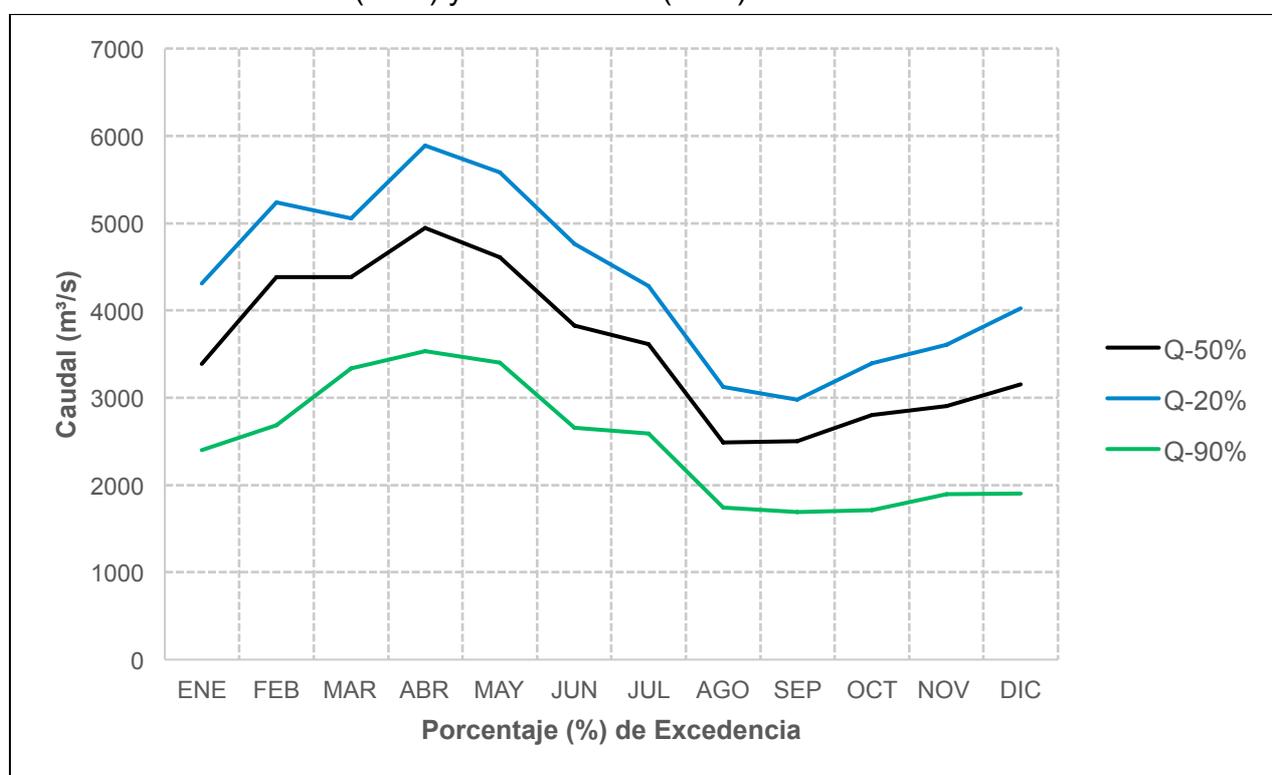


Para un año hidrológicamente normal (50% de persistencia) se tuvo un caudal promedio de 3,583.33 m<sup>3</sup>/s, abril como el mes más húmedo con un caudal de 4,947.74 m<sup>3</sup>/s y agosto como el mes con menor precipitación, con un caudal de 2,487.50 m<sup>3</sup>/s. En un año

húmedo (20% de persistencia) se tuvo un caudal promedio de 4,353.68 m<sup>3</sup>/s, mientras que para el año seco (90% de persistencia) se tuvo un caudal promedio de 2,462.29 m<sup>3</sup>/s. El mes de abril es el mes con mayor disponibilidad de caudal para las tres temporadas, mientras que el mes de agosto es el de menor caudal. El gráfico 17 muestra los caudales mensuales para las tres temporadas.

En la tabla 38 se presentan los caudales simulados para diferentes valores de persistencia en la locación de la futura CH Rentema, y se resaltan en amarillo los valores correspondientes a años normales (50%), húmedos (20%) y secos (90%).

**Gráfico 17.** Variación mensual de caudales para un año normal (50%), un año seco (20%) y año húmedo (90%) en Rentema.



**Tabla 38.** Caudales para los 17 porcentajes de excedencia del modelo de Weibull para cada uno de los meses en Rentema.

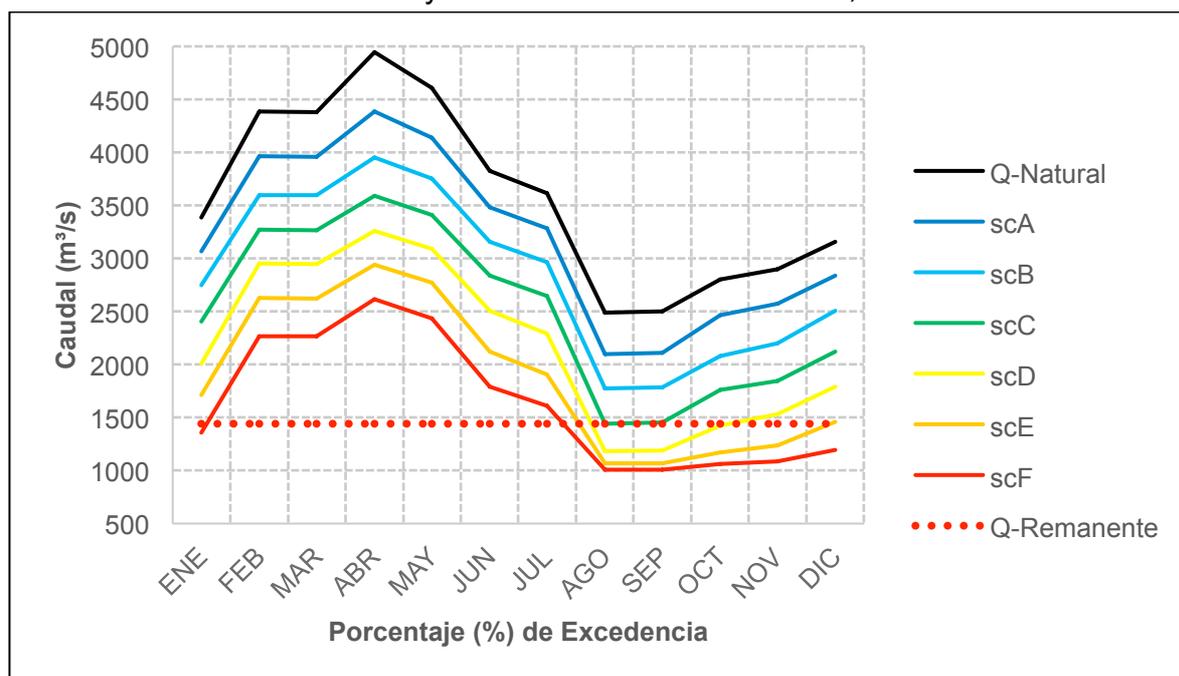
Persistencia	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0.01	8,462.88	7,196.53	7,094.21	8,772.41	9,270.54	8,278.52	6,257.89	5,729.70	4,252.85	4,847.83	5,911.87	6,803.80
0.1	7,463.96	6,853.28	6,686.07	8,187.69	8,446.40	7,496.15	5,862.27	5,130.00	4,010.83	4,583.47	5,431.52	6,228.43
1	6,308.50	6,383.21	6,164.20	7,444.21	7,452.49	6,550.32	5,355.50	4,419.17	3,692.35	4,228.05	4,829.89	5,504.81
5	5,343.88	5,901.68	5,672.16	6,748.00	6,579.61	5,717.17	4,876.67	3,807.84	3,381.46	3,871.99	4,276.72	4,836.13
10	4,860.68	5,615.35	5,399.14	6,363.89	6,123.27	5,280.51	4,610.51	3,493.84	3,203.87	3,664.16	3,976.17	4,471.29
20	4,309.93	5,235.58	5,058.63	5,887.24	5,583.27	4,762.67	4,278.03	3,127.99	2,976.61	3,393.02	3,608.24	4,022.98
30	3,939.52	4,935.97	4,806.80	5,536.58	5,205.41	4,399.46	4,031.72	2,876.14	2,803.91	3,182.78	3,341.38	3,696.57
40	3,643.07	4,660.63	4,587.96	5,233.28	4,892.45	4,098.03	3,817.37	2,670.50	2,650.28	2,992.46	3,113.40	3,416.76
50	3,384.41	4,385.58	4,381.02	4,947.74	4,610.06	3,825.51	3,614.39	2,487.50	2,501.62	2,805.11	2,901.36	3,155.64
60	3,145.13	4,091.98	4,172.58	4,661.50	4,339.40	3,563.76	3,409.63	2,314.66	2,348.20	2,608.22	2,691.50	2,896.30
70	2,912.24	3,755.85	3,949.15	4,356.33	4,065.17	3,297.94	3,189.77	2,142.42	2,179.15	2,386.76	2,470.98	2,622.72
80	2,672.14	3,331.77	3,689.46	4,004.02	3,767.98	3,009.01	2,933.70	1,959.58	1,975.80	2,113.45	2,220.95	2,310.97
90	2,400.04	2,686.66	3,339.12	3,533.37	3,405.91	2,655.50	2,587.16	1,743.41	1,687.35	1,710.92	1,895.62	1,902.40
95	2,228.91	2,104.48	3,065.96	3,170.79	3,156.86	2,411.05	2,315.95	1,600.12	1,448.23	1,361.63	1,652.95	1,594.93
99	2,025.53	907.95	2,618.56	2,587.72	2,819.13	2,076.96	1,869.16	1,416.19	1,017.86	686.64	1,281.37	1,117.79
99.9	1,929.04	0.00	2,251.62	2,124.15	2,618.26	1,875.58	1,499.12	1,316.59	603.86	0.00	1,009.55	760.69
99.99	1,903.35	0.00	2,060.27	1,891.35	2,547.50	1,803.47	1,303.86	1,285.35	342.29	0.00	886.16	594.03

### Condición modificada

Utilizando el modelo del GEFC se identificaron los seis escenarios de conservación potencial en base a datos hidrológicos. Estos se presentan en las tablas 39, 40 y 41, y en los gráficos 18, 19 y 20.

Para obtener los valores de caudal remanente, se recurrió al valor de caudal turbinado teórico, incluido en los estudios de pre-factibilidad del proyecto, presentados por parte del Ministerio de Energía y Minas (2007). Este valor corresponde a  $1,440 \text{ m}^3/\text{s}$ , esto equivale a la operación de seis turbinas tipo Pelton de eje vertical, con  $240 \text{ m}^3/\text{s}$  cada una. Como puede verse en los gráficos y tablas correspondientes, el caudal natural disponible es suficiente para satisfacer la demanda del proyecto en todos los escenarios hidrológicos simulados, por lo cual su ejecución no debería afectar el régimen hidrológico en términos significativos. Sin embargo, si se aprobara finalmente un proyecto de mayor capacidad, el régimen hidrológico podría verse afectado de manera significativa.

**Gráfico 18.** Caudal mensual y escenarios de conservación, año normal – Rentema.



**Tabla 39.** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Rentema. Año Normal, Caudales con un 50% de Persistencia

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Remanente
<b>ENE</b>	3,384.41	3,066.05	2,747.13	2,407.67	2,005.18	1,713.57	1,359.04	1,440.00
<b>FEB</b>	4,385.58	3,963.17	3,599.80	3,269.78	2,951.73	2,626.99	2,268.17	1,440.00
<b>MAR</b>	4,381.02	3,959.63	3,596.64	3,266.77	2,948.70	2,623.75	2,264.29	1,440.00
<b>ABR</b>	4,947.74	4,384.41	3,952.85	3,590.56	3,260.98	2,942.90	2,617.53	1,440.00
<b>MAY</b>	4,610.06	4,140.49	3,752.34	3,410.96	3,090.18	2,771.36	2,433.65	1,440.00
<b>JUN</b>	3,825.51	3,482.17	3,157.90	2,839.38	2,506.56	2,123.76	1,793.54	1,440.00
<b>JUL</b>	3,614.39	3,285.77	2,967.79	2,644.21	2,288.82	1,904.88	1,611.03	1,440.00
<b>AGO</b>	2,487.50	2,095.69	1,774.61	1,439.45	1,180.59	1,066.38	1,007.19	1,440.00
<b>SEP</b>	2,501.62	2,112.41	1,785.89	1,454.30	1,189.00	1,069.17	1,009.41	1,440.00
<b>OCT</b>	2,805.11	2,468.57	2,078.20	1,762.82	1,423.91	1,171.80	1,063.47	1,440.00
<b>NOV</b>	2,901.36	2,571.78	2,201.96	1,846.29	1,533.87	1,234.03	1,084.08	1,440.00
<b>DIC</b>	3,155.64	2,837.96	2,505.04	2,121.94	1,792.32	1,462.77	1,193.79	1,440.00

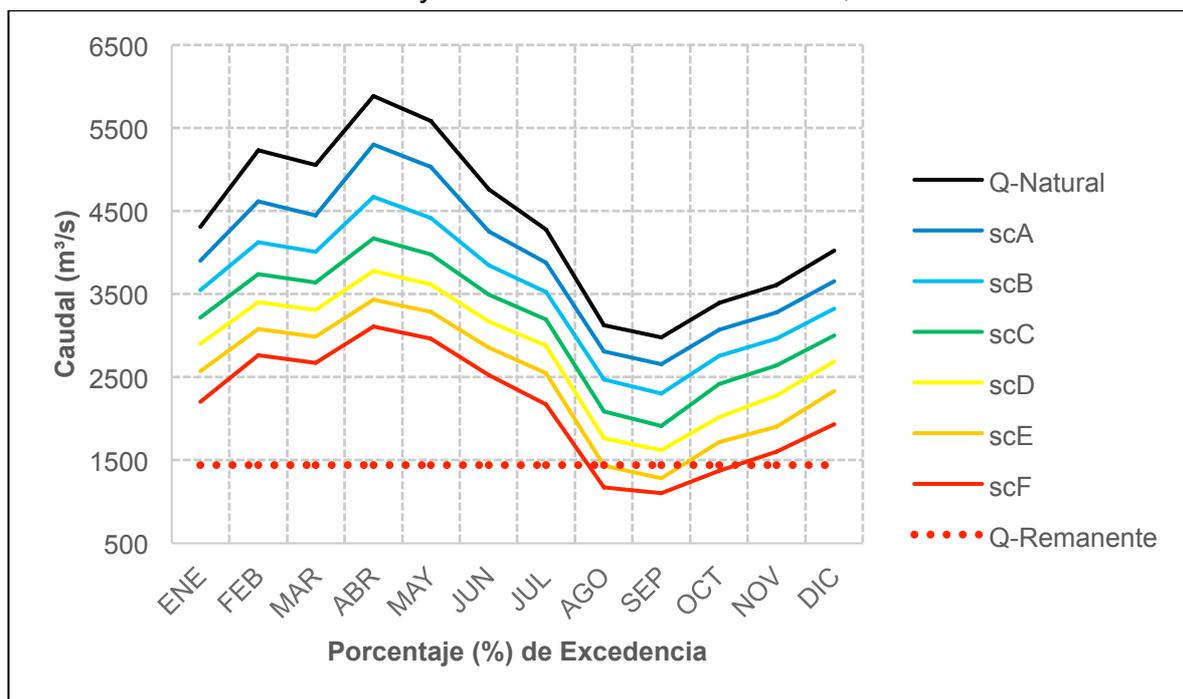
**Tabla 40.** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Rentema. Año Húmedo, Caudales con un 20% de Persistencia.

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Remanente
ENE	4,309.93	3,903.24	3,546.13	3,218.73	2,900.46	2,572.04	2,202.28	1,440.00
FEB	5,235.58	4,615.36	4,129.03	3,742.92	3,402.52	3,082.15	2,763.30	1,440.00
MAR	5,058.63	4,451.37	4,007.90	3,639.87	3,307.88	2,989.99	2,668.01	1,440.00
ABR	5,887.24	5,303.88	4,674.35	4,169.95	3,776.56	3,432.66	3,110.81	1,440.00
MAY	5,583.27	5,034.50	4,419.79	3,981.93	3,616.61	3,285.76	2,967.78	1,440.00
JUN	4,762.67	4,258.40	3,849.26	3,497.78	3,172.74	2,854.28	2,522.53	1,440.00
JUL	4,278.03	3,877.18	3,522.78	3,196.53	2,878.16	2,548.14	2,173.62	1,440.00
AGO	3,127.99	2,810.04	2,475.12	2,086.06	1,768.11	1,430.89	1,175.75	1,440.00
SEP	2,976.61	2,653.08	2,299.45	1,912.05	1,620.48	1,283.04	1,100.32	1,440.00
OCT	3,393.02	3,074.46	2,755.57	2,416.73	2,016.04	1,720.89	1,368.69	1,440.00
NOV	3,608.24	3,280.05	2,962.04	2,638.05	2,281.43	1,899.89	1,604.46	1,440.00
DIC	4,022.98	3,655.34	3,322.59	3,004.77	2,683.85	2,336.35	1,936.94	1,440.00

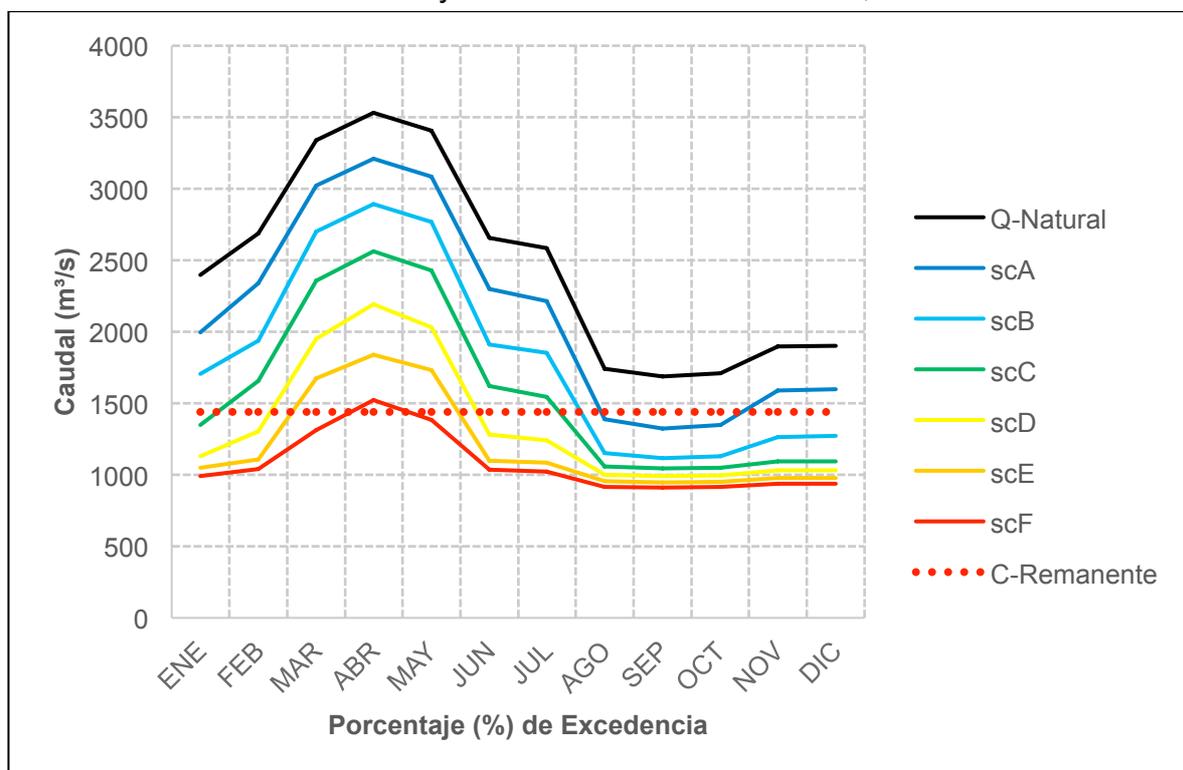
**Tabla 41.** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Rentema. Año Seco, Caudales con un 90% de Persistencia.

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Remanente
<b>ENE</b>	2,400.04	1,994.08	1,706.08	1,349.18	1,129.51	1,049.46	993.65	1,440.00
<b>FEB</b>	2,686.66	2,338.42	1,938.34	1,655.10	1,302.63	1,106.81	1,039.53	1,440.00
<b>MAR</b>	3,339.12	3,021.53	2,701.82	2,357.90	1,951.48	1,672.40	1,312.43	1,440.00
<b>ABR</b>	3,533.37	3,209.69	2,891.38	2,562.31	2,190.61	1,838.64	1,523.78	1,440.00
<b>MAY</b>	3,405.91	3,087.04	2,768.21	2,430.27	2,032.28	1,731.84	1,383.12	1,440.00
<b>JUN</b>	2,655.50	2,299.57	1,912.13	1,620.58	1,283.10	1,100.34	1,034.35	1,440.00
<b>JUL</b>	2,587.16	2,215.41	1,855.37	1,545.81	1,240.79	1,086.32	1,023.14	1,440.00
<b>AGO</b>	1,743.41	1,388.36	1,151.68	1,056.80	999.52	953.70	917.04	1,440.00
<b>SEP</b>	1,687.35	1,323.57	1,115.02	1,044.66	989.81	945.92	910.82	1,440.00
<b>OCT</b>	1,710.92	1,350.20	1,130.09	1,049.65	993.80	949.12	913.38	1,440.00
<b>NOV</b>	1,895.62	1,588.83	1,265.13	1,094.39	1,029.59	977.75	936.28	1,440.00
<b>DIC</b>	1,902.40	1,598.56	1,270.64	1,096.21	1,031.05	978.92	937.22	1,440.00

**Gráfico 19.** Caudal mensual y escenarios de conservación, año húmedo – Rentema



**Gráfico 20.** Caudal mensual y escenarios de conservación, año seco – Rentema.



## Modificación en los patrones de transporte/deposición de sólidos suspendidos

El proyecto hidroeléctrico Rentema aún se encuentra en un estado de desarrollo mínimo, por lo que no se cuenta con un estudio de impacto ambiental para este proyecto. Se usó información publicada por el MINEM (2007) para el cálculo de STS y el modelamiento de caudales para obtener el ingreso anual de agua al embalse. Los datos usados para calcular la eficiencia de retención pueden revisarse en la tabla 42.

**Tabla 42.** Características de embalse – Rentema.

Características	Rentema
Capacidad de reservorio (m <sup>3</sup> )	7,250* 10 <sup>6</sup>
Volumen inefectivo (m <sup>3</sup> )	2,417 * 10 <sup>6</sup>
Volumen útil (m <sup>3</sup> )	4,833 * 10 <sup>6</sup>
Área de drenaje de la cuenca (km <sup>2</sup> )	68,000
Ingreso anual de agua al embalse (m <sup>3</sup> )	11,339.7 * 10 <sup>7</sup>

Las eficiencias de retención obtenidas figuran en la tabla 43. La eficiencia de retención del embalse de Rentema supera el 99% si se calcula con el método de Brown. Bajo estas condiciones se retendrían aproximadamente 67.3 millones de toneladas de sedimentos al año en el embalse. Por otro lado, el modelo de Bruner arroja casi un 77% de eficiencia de retención. En este caso el embalse retendría 51.7 millones de toneladas de sedimentos al año. No se conocen medidas de mitigación para este proyecto.

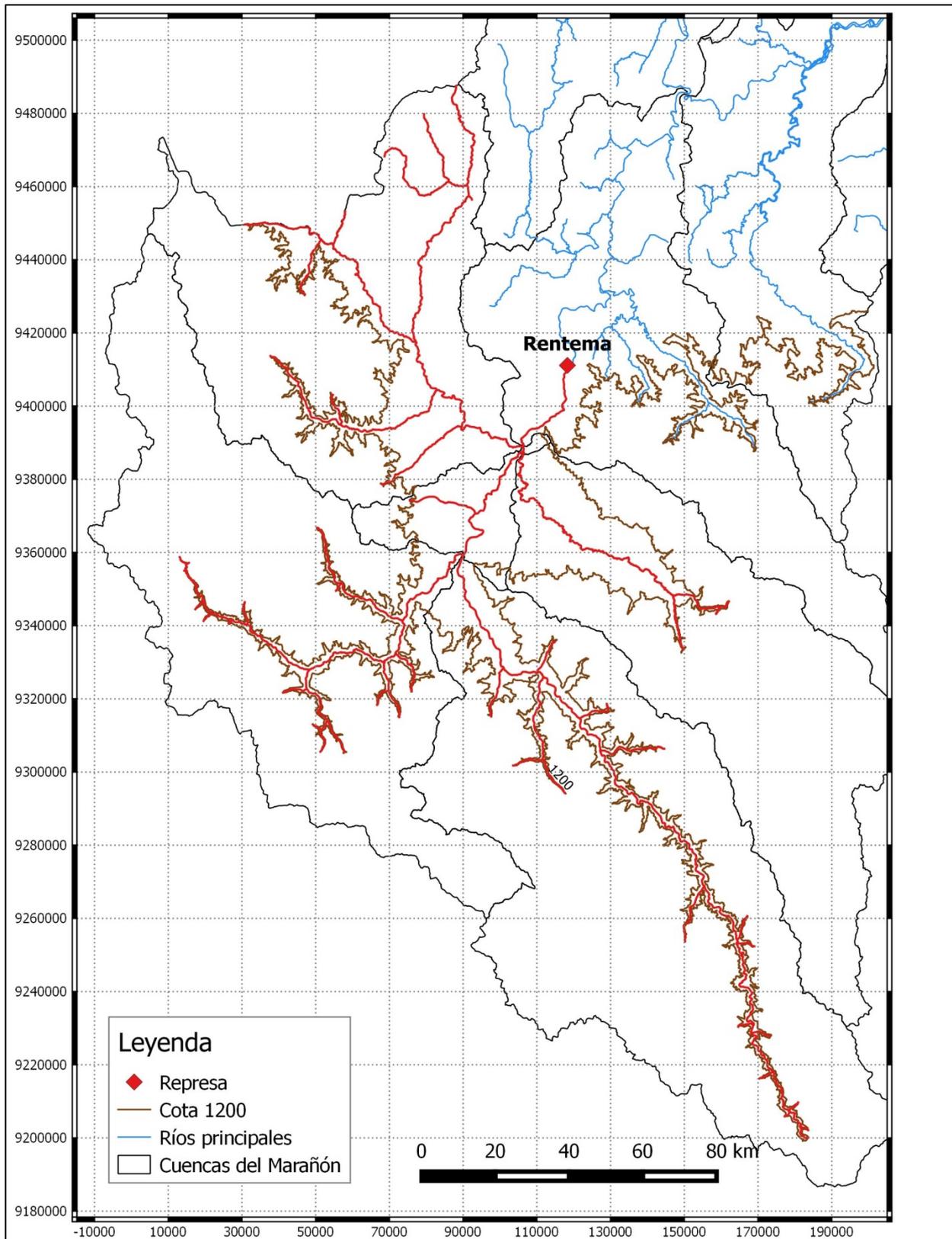
**Tabla 43.** Retención de sedimentos - Rentema (en mg/L)

Características	Rentema
Ingreso de sólidos totales disueltos promedio	593
Eficiencia de retención (%) (Brown 1943)	99.98
Salida de sólidos totales suspendidos promedio	0.09
Eficiencia de retención (%) (Brune 1953)	76.83
Salida de sólidos totales suspendidos promedio	137.39

## Alteración de rutas migratorias

El Proyecto Rentema es otro de los proyectos ubicados en el Marañón que se encuentra en la cartera de MEM, y a diferencia de otros proyectos en la cuenca (Río Grande, Chadín 2 y Veracruz), cuenta relativamente con poca información (más allá de las fichas técnicas y descripción del proyecto) (Dirección General de Electricidad et al., 1982; Ministerio de Energía y Minas, 2007).

Figura 15. Alteración de rutas migratorias por la CH Rentema.



La construcción de la CH Rentema plantea la inundación de un área superior a la de otros proyectos ubicados aguas arriba de éste, llegando a inundar pueblos enteros (ej. Bagua Chica). Más allá de las implicancias sociales que atañen al proyecto, este ocasionaría una significativa pérdida de conexiones fluviales necesarias para el desplazamiento de especies de peces migrantes. En términos prácticos, una vez instalado el dique de la central hidroeléctrica, y considerando una cota superior de desplazamiento de 1,200 m.s.n.m, se perderían un total de 1,297 kilómetros de río para especies de peces migratorios.

Las consecuencias de la construcción de este proyecto, en términos de kilómetros de ríos principales disponible para las especies migrantes seleccionadas, pueden ser revisadas en la figura 15.

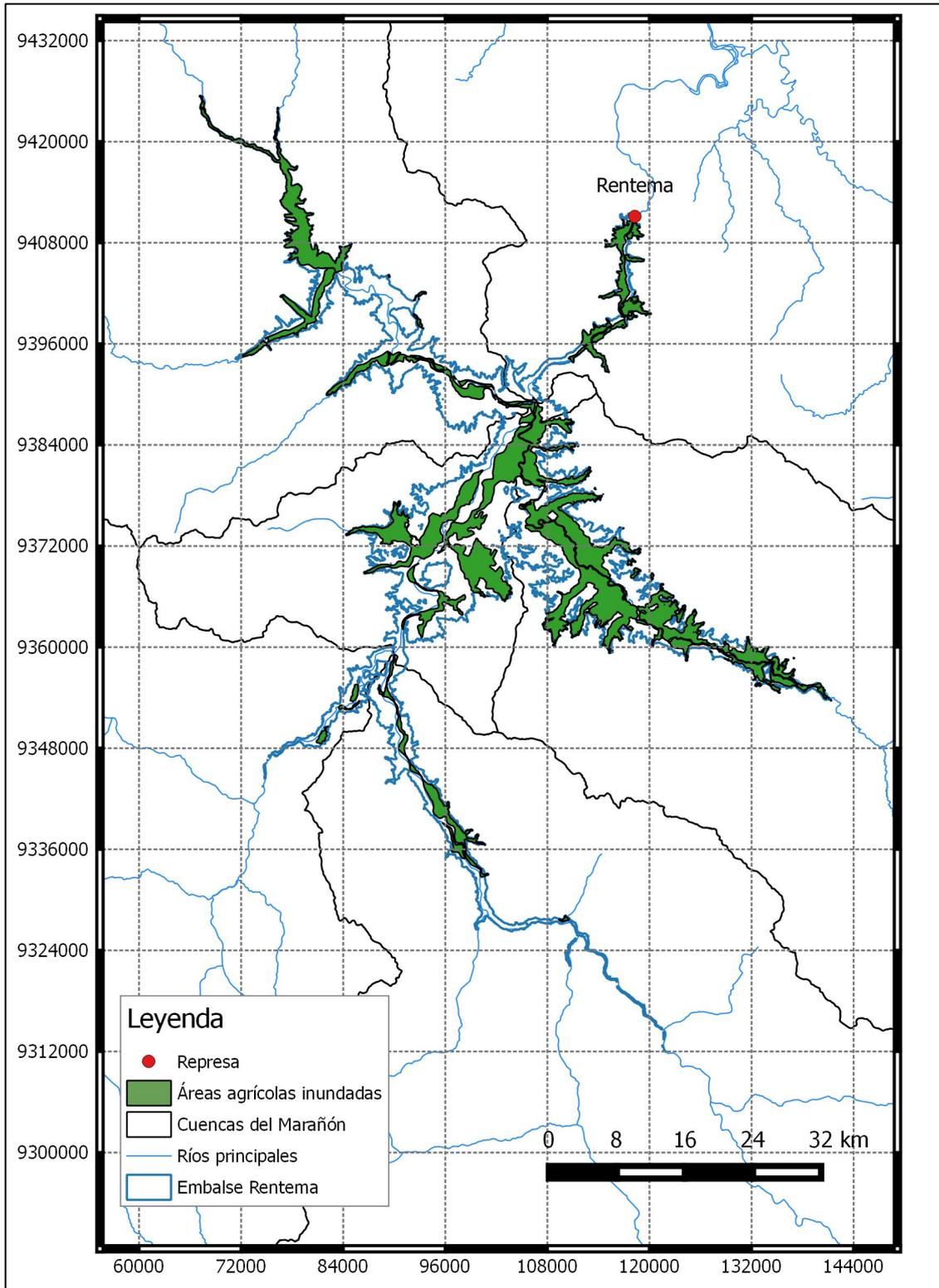
### Áreas agrícolas inundadas

Rentema es uno de los proyectos hidroeléctricos del Marañón que mayor impacto generaría en términos de áreas agrícolas inundadas. El total de áreas agrícolas inundadas alcanza a las 35,462 hectáreas. Esto se debe a que el proyecto se encuentra ubicado en una zona de alta producción agrícola. Las áreas agrícolas inundadas por la construcción de este proyecto pueden ser revisadas en la figura 16.

## CENTRAL HIDROELÉCTRICA MANSERICHE

La central hidroeléctrica de Manseriche se ubicará en el departamento de Amazonas, en la zona conocida como Pongo de Manseriche, cerca de la base militar de Borja, en lo que corresponde al inicio de la cuenca baja del río Marañón. El diseño de proyecto plantea la generación de 4,500 MW de energía, con una superficie de reservorio de 5,470 Km<sup>2</sup>, el área de reservorio más grande de entre los proyectos planteados en la cuenca del Marañón. Al igual que el proyecto Rentema, la CH Manseriche se encuentra actualmente en la cartera del ministerio de Energía y Minas (MINEM), por lo que no cuenta aún con EIA.

Figura 16. Áreas agrícolas inundadas por la CH Rentema.



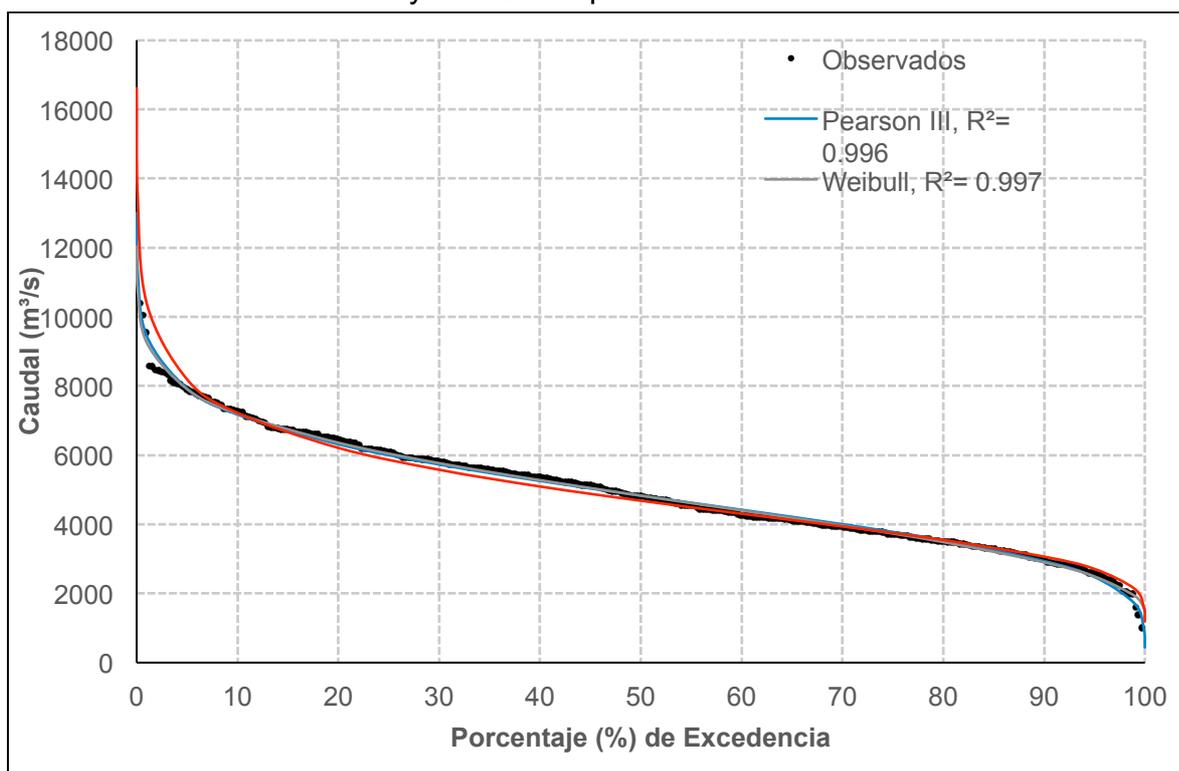
## Alteración Hidrológica

### Condición basal

El análisis hidrológico del Proyecto Manseriche consistió en el análisis de data histórica de caudales mensuales de la estación hidrométrica Borja, desde 1986 hasta 2013. dicha estación se ubica en la salida de la zona donde se encontraría el embalse.

El ajuste de los datos históricos a los tres modelos de probabilidad estuvo determinado por los coeficientes de determinación: (i)  $R^2$  de la distribución de Gumbel =0.978, (ii)  $R^2$  de la distribución de Weibull =0.997 y (iii)  $R^2$  de la distribución de Pearson Tipo 3 =0.996. En el gráfico 21 se observa que los valores de caudal observados se ajustan mejor a la distribución de Weibull, con  $\zeta=1,382.313$ ,  $\beta=4,045.568$  y  $\delta=2.294$  como parámetros.

**Gráfico 21.** Curvas de duración de caudales para las distribuciones de Gumbel, Weibull y Pearson Tipo 3 de Manseriche.

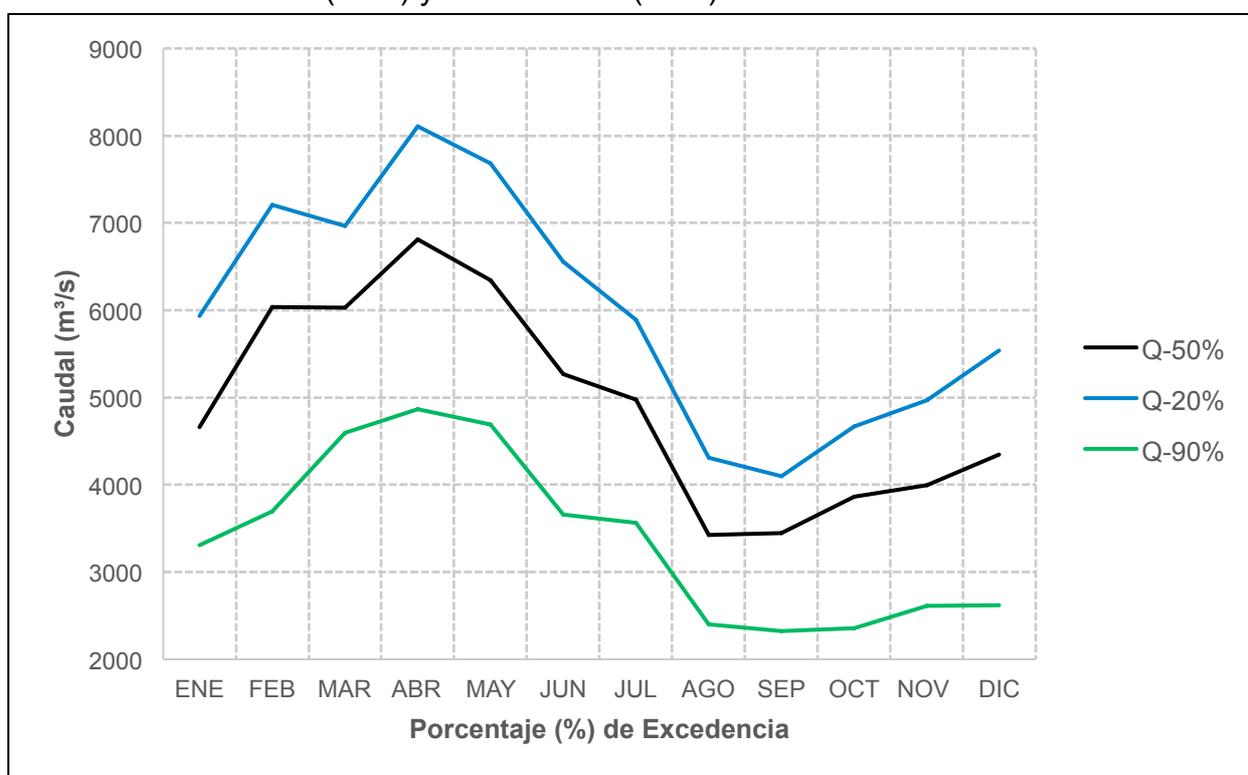


Los valores de caudal para los 17 percentiles se encuentran en la tabla 44. La temporada normal (50% de persistencia) presenta un caudal promedio de 4,933.90 m<sup>3</sup>/s. Los meses más lluviosos (de Febrero a Julio) muestran caudales por encima de este valor promedio.

Para un año lluvioso (20% de persistencia) se obtuvieron registros más altos, con un promedio de 5,994.60 m<sup>3</sup>/s, mientras que un año seco (90% de persistencia) presentó un promedio de 3,390.34 m<sup>3</sup>/s.

El gráfico 22 muestra las variaciones mensuales para cada una de las condiciones hidrológicas seleccionadas. Se observa la misma tendencia en cada época: meses de bajo caudal desde agosto hasta enero y meses de caudal alto desde febrero hasta julio.

**Gráfico 22.** Variación mensual de caudales para un año normal (50%), un año seco (20%) y año húmedo (90%) en Manseriche.



### **Condición modificada**

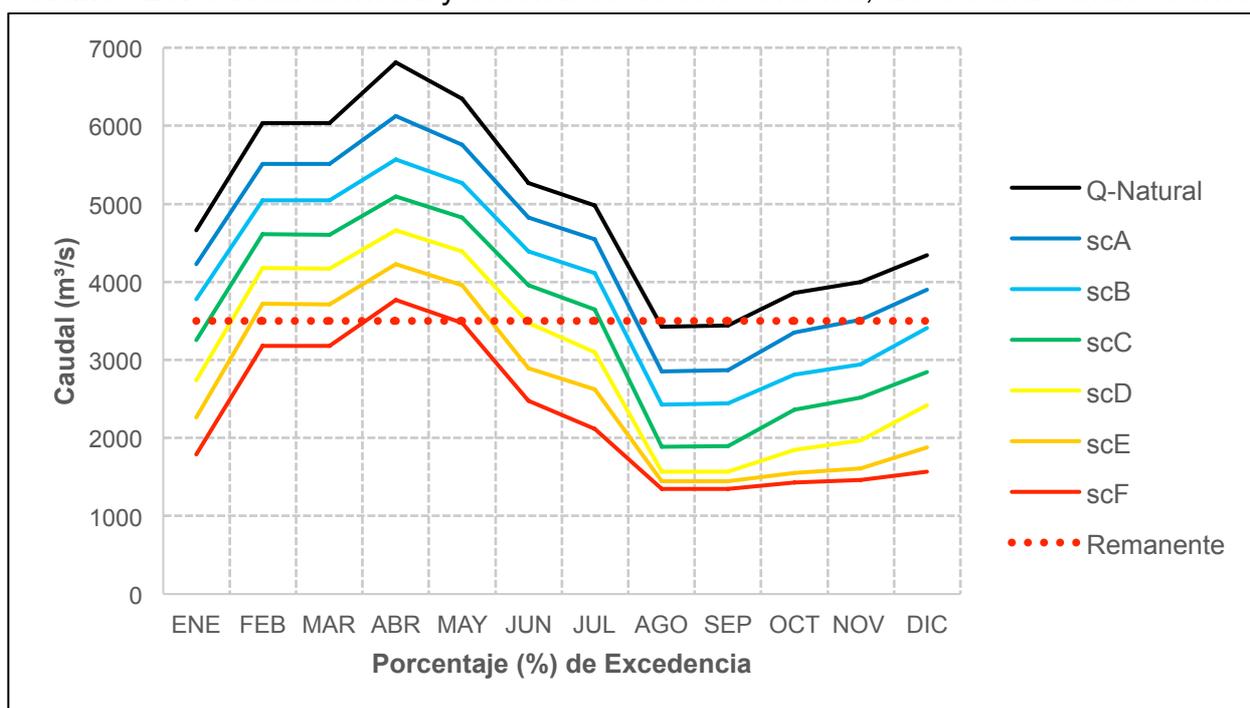
Igual que en los casos anteriores, utilizando el modelo GEFC se identificaron los seis escenarios de conservación potencial en base a datos hidrológicos. Estos se presentan en las tabla 45, 46 y 47, y en los gráficos 23, 24 y 25. El valor de caudal de demanda proyectado para el proyecto es de 3,500 m<sup>3</sup>/s; y este comparado con los diferentes escenarios hidrológicos y de preservación, presenta los siguientes resultados:

**Tabla 44.** Caudales para los 17 porcentajes de excedencia del modelo de Weibull para cada uno de los meses en Manseriche.

Persistencia	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0.01	11,652.58	9,908.93	9,768.04	12,078.76	12,764.65	11,398.72	8,616.52	7,889.24	5,855.76	6,674.99	8,140.08	9,368.18
0.1	10,277.15	9,436.31	9,206.08	11,273.66	11,629.88	10,321.48	8,071.78	7,063.52	5,522.53	6,311.00	7,478.68	8,575.95
1	8,686.20	8,789.06	8,487.51	10,249.97	10,261.37	9,019.16	7,374.01	6,084.77	5,084.01	5,821.62	6,650.30	7,579.60
5	7,358.00	8,126.05	7,810.02	9,291.35	9,059.49	7,871.99	6,714.71	5,243.02	4,655.95	5,331.37	5,888.64	6,658.88
10	6,692.70	7,731.80	7,434.10	8,762.46	8,431.16	7,270.76	6,348.23	4,810.68	4,411.43	5,045.20	5,474.81	6,156.53
20	5,934.36	7,208.89	6,965.25	8,106.17	7,687.63	6,557.73	5,890.44	4,306.94	4,098.50	4,671.86	4,968.19	5,539.26
30	5,424.34	6,796.35	6,618.50	7,623.34	7,167.35	6,057.63	5,551.29	3,960.18	3,860.71	4,382.38	4,600.76	5,089.82
40	5,016.16	6,417.24	6,317.19	7,205.72	6,736.43	5,642.59	5,256.16	3,677.02	3,649.18	4,120.33	4,286.86	4,704.55
50	4,660.01	6,038.52	6,032.25	6,812.56	6,347.61	5,267.36	4,976.67	3,425.05	3,444.49	3,862.37	3,994.90	4,345.02
60	4,330.54	5,634.27	5,745.24	6,418.43	5,974.94	4,906.96	4,694.73	3,187.06	3,233.25	3,591.27	3,705.93	3,987.93
70	4,009.88	5,171.44	5,437.60	5,998.25	5,597.35	4,540.94	4,392.01	2,949.91	3,000.48	3,286.34	3,402.31	3,611.23
80	3,679.28	4,587.53	5,080.03	5,513.15	5,188.15	4,143.11	4,039.42	2,698.16	2,720.49	2,910.02	3,058.04	3,181.99
90	3,304.62	3,699.27	4,597.65	4,865.12	4,689.62	3,656.37	3,562.27	2,400.51	2,323.32	2,355.77	2,610.09	2,619.43
95	3,069.00	2,897.67	4,221.54	4,365.88	4,346.69	3,319.78	3,188.84	2,203.21	1,994.08	1,874.83	2,275.96	2,196.07
99	2,788.96	1,250.16	3,605.50	3,563.04	3,881.67	2,859.78	2,573.65	1,949.96	1,401.50	945.44	1,764.33	1,539.08
99.9	2,656.10	0.00	3,100.27	2,924.75	3,605.09	2,582.50	2,064.14	1,812.82	831.46	0.00	1,390.05	1,047.39
99.99	2,620.74	0.00	2,836.80	2,604.20	3,507.67	2,483.20	1,795.29	1,769.81	471.30	0.00	1,220.15	817.93

- En un escenario (año) hidrológico **normal**, sólo existirían dos meses del año (agosto y septiembre) en los que la demanda del proyecto no podría ser satisfecha con el caudal natural, por lo que sería necesario utilizar parte de lo almacenado en el embalse proyectado. Esto implica que en los meses siguientes el caudal remanente se reduciría ligeramente, sin embargo esta modificación sería de corta duración.
- En un año hidrológicamente **húmedo** (20%), los valores de caudal natural satisfacen permanentemente las demandas del proyecto, lo que significa que este no tendría efectos en términos de caudal circulante.
- En un año hidrológicamente **seco** (90%), el número de meses con disponibilidad inferior a la demanda del proyecto, se incrementa a 6 (agosto a enero), lo que implica que el embalse deba ser vuelto a llenar en los meses siguientes (febrero y marzo o abril), lo que podría generar efectos sobre la duración y extensión de la fase de inundación en la llanura amazónica.

**Gráfico 23.** Caudal mensual y escenarios de conservación, año normal - Manseriche.



**Tabla 45.** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Manseriche. Año Normal, Caudales con un 50% de Persistencia.

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Q-Demanda
ENE	4,660.01	4,227.94	3,774.71	3,254.06	2,737.65	2,267.75	1,790.36	3,500.00
FEB	6,038.52	5,515.65	5,047.15	4,609.56	4,175.91	3,717.95	3,184.25	3,500.00
MAR	6,032.25	5,510.36	5,042.36	4,604.95	4,171.21	3,712.83	3,177.95	3,500.00
ABR	6,812.56	6,122.55	5,570.88	5,097.21	4,657.76	4,225.00	3,771.51	3,500.00
MAY	6,347.61	5,759.39	5,268.05	4,822.27	4,392.56	3,954.28	3,474.92	3,500.00
JUN	5,267.36	4,821.93	4,392.21	3,953.90	3,474.45	2,891.03	2,479.40	3,500.00
JUL	4,976.67	4,544.67	4,109.82	3,645.86	3,095.58	2,627.35	2,115.55	3,500.00
AGO	3,425.05	2,851.17	2,424.39	1,886.34	1,566.70	1,443.44	1,344.84	3,500.00
SEP	3,444.49	2,866.33	2,445.31	1,899.15	1,571.38	1,447.19	1,347.84	3,500.00
OCT	3,862.37	3,355.86	2,808.50	2,365.51	1,850.26	1,553.51	1,432.90	3,500.00
NOV	3,994.90	3,519.62	2,940.32	2,519.29	1,966.43	1,605.73	1,464.16	3,500.00
DIC	4,345.02	3,901.36	3,409.83	2,846.06	2,417.34	1,882.02	1,565.12	3,500.00

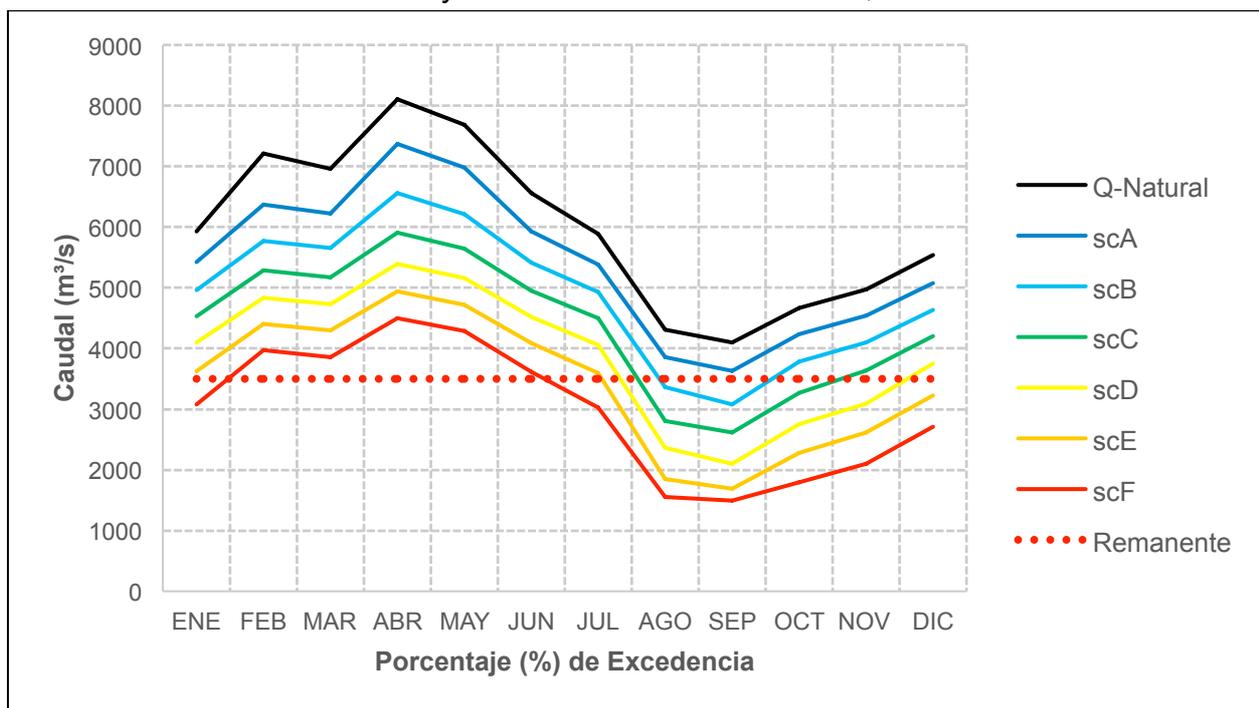
**Tabla 46.** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Manseriche. Año Húmedo, Caudales con un 20% de Persistencia.

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Q-Demanda
ENE	5,934.36	5,426.14	4,966.04	4,531.45	4,096.35	3,631.17	3,077.52	3,500.00
FEB	7,208.89	6,371.46	5,776.56	5,283.03	4,836.34	4,406.56	3,969.15	3,500.00
MAR	6,965.25	6,222.98	5,654.43	5,172.93	4,730.68	4,299.27	3,852.52	3,500.00
ABR	8,106.17	7,370.28	6,561.03	5,909.90	5,393.96	4,936.87	4,503.37	3,500.00
MAY	7,687.63	6,986.20	6,208.95	5,642.76	5,162.35	4,720.49	4,288.90	3,500.00
JUN	6,557.73	5,933.70	5,413.76	4,954.82	4,520.65	4,085.35	3,619.17	3,500.00
JUL	5,890.44	5,387.32	4,930.86	4,497.58	4,061.85	3,593.53	3,031.23	3,500.00
AGO	4,306.94	3,859.19	3,357.97	2,809.96	2,367.53	1,851.50	1,553.97	3,500.00
SEP	4,098.50	3,630.88	3,077.17	2,614.53	2,097.86	1,686.26	1,493.58	3,500.00
OCT	4,671.86	4,240.02	3,787.88	3,270.26	2,748.92	2,283.30	1,799.89	3,500.00
NOV	4,968.19	4,536.40	4,101.39	3,636.67	3,084.28	2,619.48	2,104.69	3,500.00
DIC	5,539.26	5,075.99	4,637.33	4,204.19	3,748.80	3,222.20	2,715.47	3,500.00

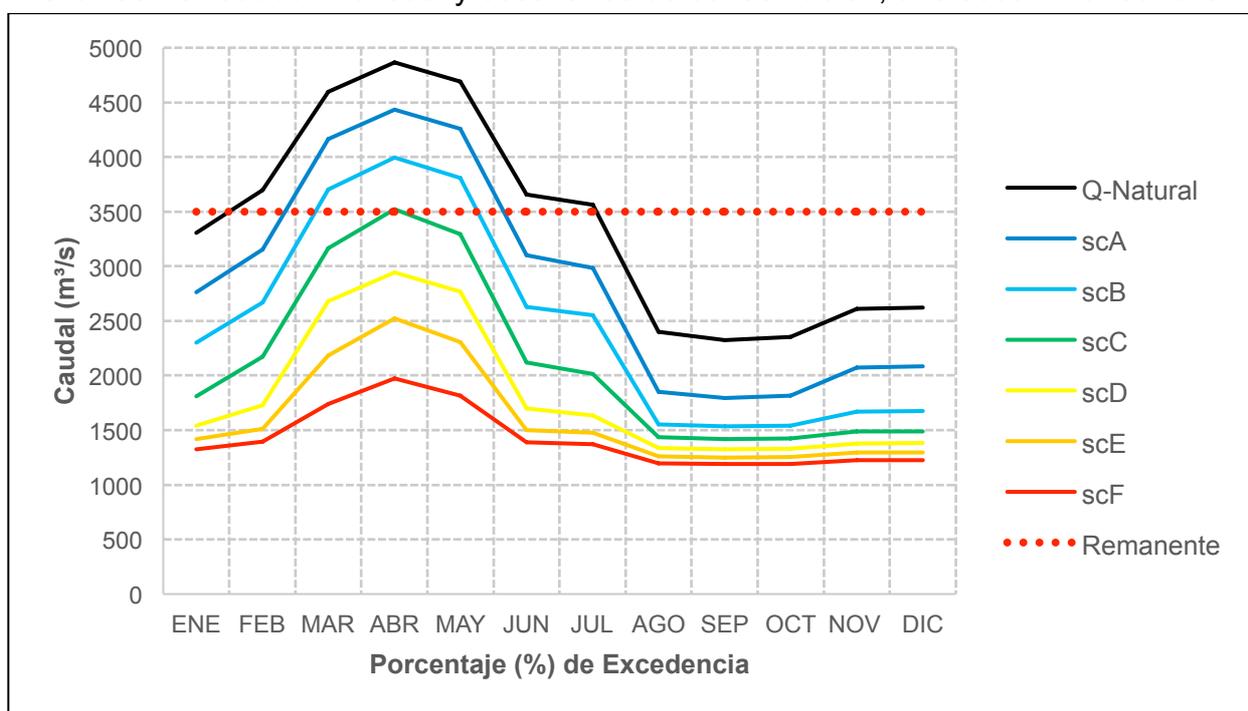
**Tabla 47.** Valores de Caudal Recomendado para los 6 escenarios de conservación de Manseriche. Año Seco, Caudales con un 90% de Persistencia.

Meses	Caudal Natural	scA	scB	scC	scD	scE	scF	Q-Demanda
ENE	3,304.62	2,759.95	2,298.52	1,809.21	1,538.51	1,420.90	1,326.80	3,500.00
FEB	3,699.27	3,151.76	2,666.45	2,169.50	1,730.16	1,509.62	1,397.79	3,500.00
MAR	4,597.65	4,164.31	3,705.29	3,168.69	2,678.23	2,185.75	1,740.11	3,500.00
ABR	4,865.12	4,435.18	3,998.30	3,524.21	2,945.97	2,523.22	1,971.86	3,500.00
MAY	4,689.62	4,258.10	3,807.61	3,294.53	2,765.81	2,306.61	1,814.17	3,500.00
JUN	3,656.37	3,099.53	2,630.10	2,119.34	1,699.42	1,498.39	1,388.80	3,500.00
JUL	3,562.27	2,987.37	2,552.04	2,011.62	1,633.42	1,474.28	1,369.51	3,500.00
AGO	2,400.51	1,852.20	1,554.22	1,433.47	1,336.86	1,259.58	1,197.75	3,500.00
SEP	2,323.32	1,794.18	1,533.02	1,416.50	1,323.29	1,248.72	1,189.06	3,500.00
OCT	2,355.77	1,817.90	1,541.69	1,423.44	1,328.84	1,253.16	1,192.61	3,500.00
NOV	2,610.09	2,071.36	1,670.02	1,487.65	1,380.21	1,294.25	1,225.49	3,500.00
DIC	2,619.43	2,083.37	1,677.38	1,490.34	1,382.36	1,295.97	1,226.87	3,500.00

**Gráfico 24.** Caudal mensual y escenarios de conservación, año húmedo - Manseriche.



**Gráfico 25.** Caudal mensual y escenarios de conservación, año seco - Manseriche.



## Modificación en los patrones de transporte/deposición de sólidos suspendidos

Manseriche es el proyecto hidroeléctrico cuyo embalse previsto tiene el mayor volumen útil, con 14.5 billones de metros cúbicos de capacidad. Dado que este proyecto se encuentra aún en estado de desarrollo básico (sin concesión), no se cuenta con mucha información respecto al régimen de caudales que se tendría en el punto de toma de aguas, ni de la carga de sólidos totales suspendidos que presentaría el río a esa altura de la cuenca. Para tener una aproximación de la eficiencia de retención de sedimentos de este embalse, se tomó como referencia el régimen histórico de caudales de la estación hidrométrica Borja, situada en la zona donde está proyectado el embalse. No se contaban con datos de STS para esta estación, por lo que se calculó en base a la referencia de transporte de sedimentos del río Marañón ( $110.2 \times 10^6$  toneladas al año) antes de su confluencia con el río Huallaga (Oyague, 2015). En la tabla 48. Pueden revisarse los parámetros empleados para el cálculo de su eficiencia de retención.

**Tabla 48.** Características de embalse – Manseriche.

Características	Manseriche
Capacidad de reservorio (m <sup>3</sup> )	$21.75 \times 10^9$
Volumen inefectivo (m <sup>3</sup> )	$7.25 \times 10^9$
Volumen útil (m <sup>3</sup> )	$14.5 \times 10^9$
Área de drenaje de la cuenca (km <sup>2</sup> )	119,490
Ingreso anual de agua al embalse (m <sup>3</sup> )	$156,137 \times 10^6$

Las eficiencias de retención obtenidas figuran en la tabla 49. La eficiencia de retención del embalse de Manseriche es prácticamente del 100% si se calcula con el método de Brown. Bajo estas condiciones se retendrían aproximadamente 110.2 millones de toneladas al año en el embalse. Por otro lado, el modelo de Bruner arroja un 87% de eficiencia de retención. En este caso el embalse retendría 95.9 millones de toneladas de sedimentos al año en su escenario más conservador, lo que equivale a casi el doble de los sedimentos retenidos por Rentema; y a casi diez veces el valor de lo retenido por embalses como Río Grande, Chadín y Veracruz en el mismo escenario. Esto representa el mayor impacto derivado de la retención de sedimentos de los cinco embalses evaluados, perdiéndose gran cantidad de nutrientes y modificando las condiciones de hábitats acuáticos en la cuenca baja del Marañón. Como consecuencia se esperarían la reducción de productividad primaria aguas abajo del embalse y efectos en los procesos ecológicos asociados, pérdida de biodiversidad, cambios en la morfología del cauce y procesos erosivos. No se conocen medidas de mitigación para este proyecto.

**Tabla 49.** Retención de sedimentos – Manseriche (en mg/L).

	Manseriche
Ingreso de sólidos totales disueltos promedio	706
Eficiencia de retención (%) (Brown 1943)	99.99
Salida de sólidos totales suspendidos promedio	0.07
Eficiencia de retención (%) (Brune 1953)	87.02
Salida de sólidos totales suspendidos promedio	91.67

### Alteración de rutas migratorias

El proyecto Manseriche, es el proyecto de la cartera del Ministerio de Energía y Minas ubicado en el punto más bajo de la cuenca del Marañón. Al igual que el proyecto Rentema, cuenta con relativamente poca información. Su ubicación en el llano amazónico (Dirección General de Electricidad et al., 1982) hace de este proyecto el que más impactos generaría en caso de llevarse a cabo –en términos de pérdida de rutas migratorias-, pues limitaría el desplazamiento de las especies migrantes desde muy abajo en la cuenca, evitando su migración natural de desove.

La pérdida de conectividad de ríos principales, de construirse la central hidroeléctrica Manseriche, alcanzaría los 4,145 kilómetros de ríos, tomando en cuenta un desplazamiento de los peces migrantes solo hasta los 1,200 m.s.n.m; siendo este un valor conservador ya que existen registros de especímenes de *Pochilodus nigricans* (“Boquichico”) y *Brycon* sp. (“Sábalo”) a 1,900 m.s.n.m en los depósitos del museo de historia Natural UNMSM (datos no publicados) (AMEC (Perú) S.A., 2011).

Los kilómetros de ríos principales perdidos luego de la construcción de esta central hidroeléctrica pueden observarse en la figura 17.

### Áreas agrícolas inundadas

En términos de áreas agrícolas inundadas, el proyecto Manseriche es el que mayor impacto causaría. El total de áreas agrícolas que quedarían inundadas alcanza la suma de 59,859 hectáreas. Estas áreas pueden ser observadas en la figura 18.

Figura 17. Alteración de rutas migratorias por la CH Manseriche.

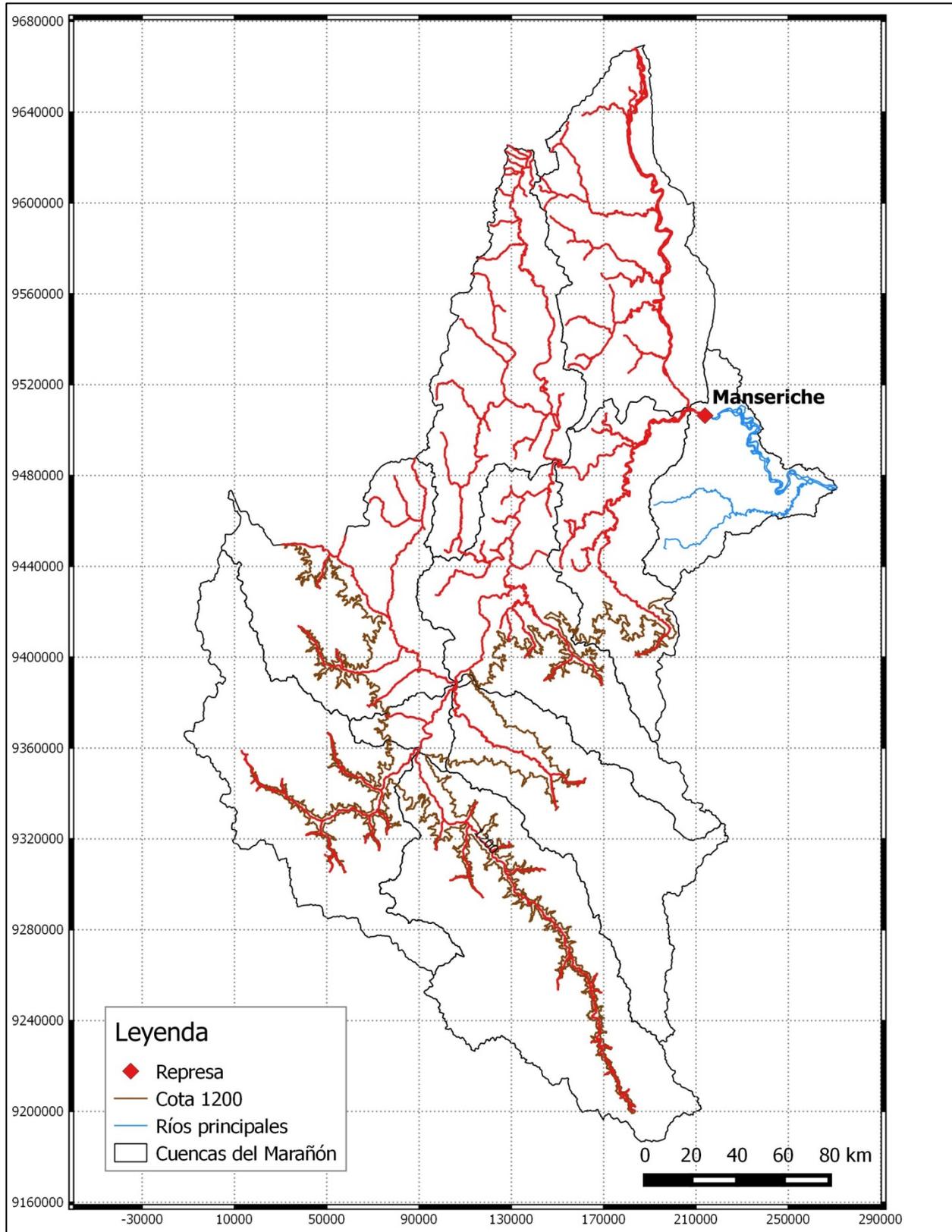
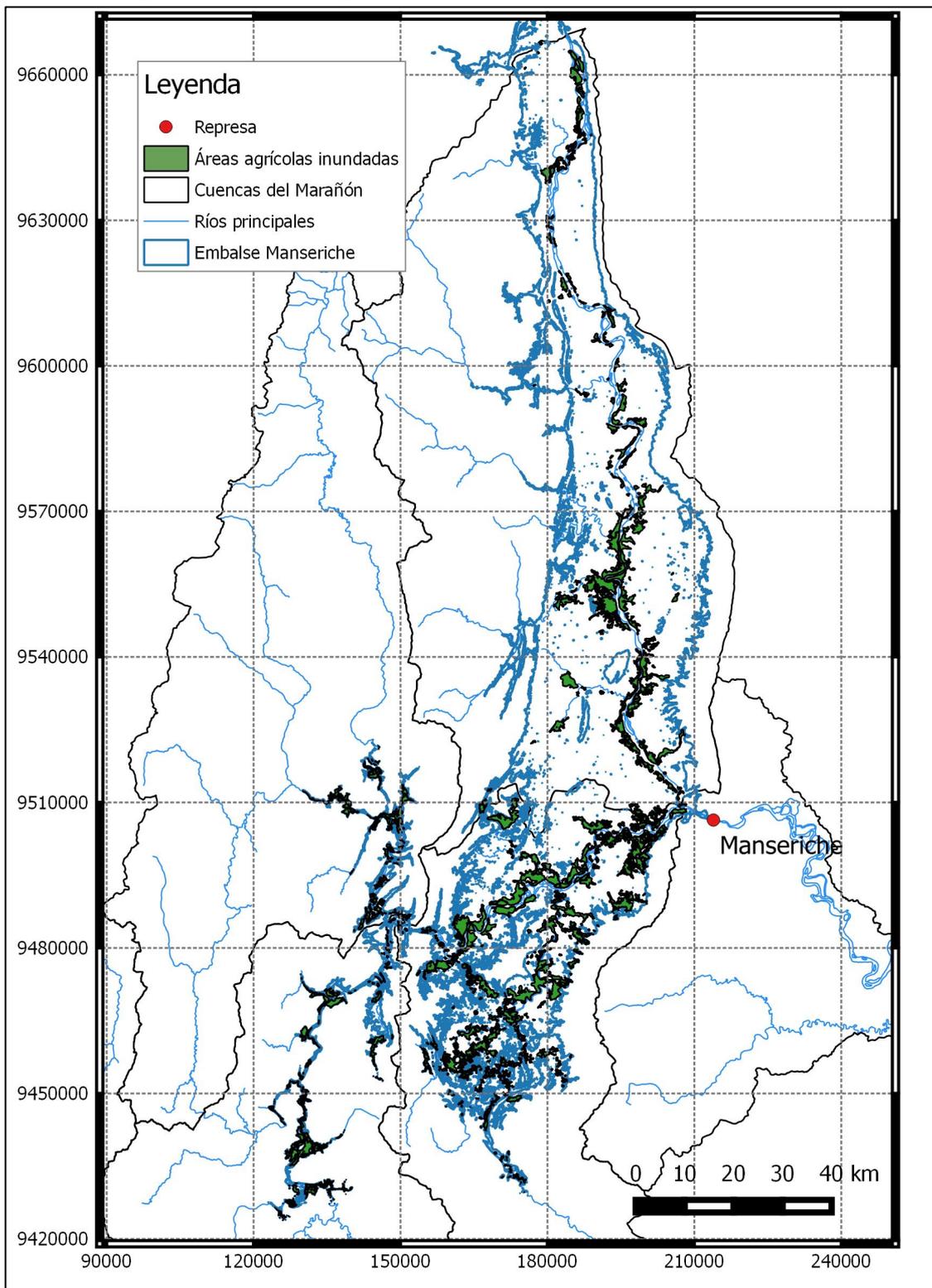


Figura 18. Áreas agrícolas inundadas por la CH Manseriche.



## ANÁLISIS DE IMPACTOS ACUMULADOS

En las secciones previas se han desarrollado los análisis de impactos potenciales que podrían ser generados de manera independiente por cada una de los cinco proyectos hidroeléctricos seleccionados (río Grande, Chadín, Veracruz, Rentema y Manseriche), sobre cuatro factores que son importantes tanto para la ecología fluvial, como para las actividades socio-económicas en el ámbito de estudio:

- El régimen hidrológico.
- El transporte de sólidos en suspensión.
- La longitud de rutas migratorias (y/o el acceso de especies migratorias a zonas importantes para su reproducción).
- El total de áreas agrícolas inundadas (o potencialmente agrícolas en el caso de las partes más bajas de la cuenca estudiada).

En esta sección, se desarrolla un análisis de efectos desde una perspectiva acumulada, es decir considerando los efectos conjuntos que podrían derivarse de la construcción y operación de los cinco proyectos hidroeléctricos.

Para desarrollar este análisis de manera objetiva, se han considerado dos escenarios posibles:

- El primer escenario considera la construcción y operación de tres centrales hidroeléctricas: Río Grande, Chadín 2 y Veracruz. Todas ellas cuentan con instrumentos ambientales aprobados (EIA en el caso de Veracruz y Chadín) o en proceso de evaluación (EIA del proyecto Río Grande y Modificatoria del EIA en el caso de Veracruz).
- El segundo escenario contempla la implementación (construcción y operación) de los cinco proyectos hidroeléctricos.

La selección de los dos escenarios señalados responde a dos motivos fundamentales: (i) las tres centrales hidroeléctricas consideradas en el primer escenario, se ubican en el sector medio de la cuenca (donde los impactos potenciales pueden ser menores) y por tener estudios ambientales completos o casi completos, la probabilidad de concretarse es alta, (ii) el segundo escenario incluye a los dos proyectos hidroeléctricos con mayor potencial de generación de impactos, pero a su vez con la menor certidumbre de concretarse, ambos se encuentran solo en fase de análisis preliminares de pre-factibilidad.

En el caso del segundo escenario (la construcción y operación de los cinco proyectos), se incluyó un análisis adicional: los potenciales efectos de la alteración hidrológica en la temporalidad y superficie ocupada durante la fase de inundación de la llanura aluvial, desde aguas abajo del pongo de Manseriche hasta la confluencia con el río Morona (aproximadamente 95 km de cauce y llanos aluviales asociados al río Marañón, figura 19). Para este análisis sólo se consideró este tramo debido a dos factores fundamentales:

- Los pulsos de inundación constituyen un elemento fundamental en la ecología del llano amazónico, pero su expresión e influencia presentan una menor importancia en la Amazonia andina.
- El río Morona, y los afluentes que el Marañón recibe aguas abajo (Pastaza y Huallaga principalmente) ejercen una influencia significativa en el caudal, y en la configuración geomorfológica del llano inundable, por lo que una simulación de áreas potencialmente inundables podría resultar notablemente imprecisa.

## Alteración Hidrológica

Para analizar los niveles de alteración hidrológica de la instalación conjunta de más de una de las centrales hidroeléctricas propuestas, se desarrolló el siguiente procedimiento:

- Primero, para simular el nuevo régimen de caudales que arribaría a cada (futura) central hidroeléctrica, se le restó al actual régimen natural de caudales, los valores de caudales medios mensuales (en condición natural) del proyecto ubicado inmediatamente aguas arriba. Esto correspondería a estimar los valores de caudal aportados por la sección de cuenca ubicada entre ambas centrales hidroeléctricas (sección sin regulación).
- Los valores restados del régimen natural fueron reemplazados (sumados al régimen obtenido por el procedimiento anterior) por los futuros valores de caudal liberado al tramo entre embalses (normalmente el valor correspondiente al caudal turbinado<sup>3</sup> en la época seca y valores más altos en parte de la época húmeda), obteniéndose así los nuevos caudales medios mensuales que ingresarían al embalse propuesto para cada proyecto.

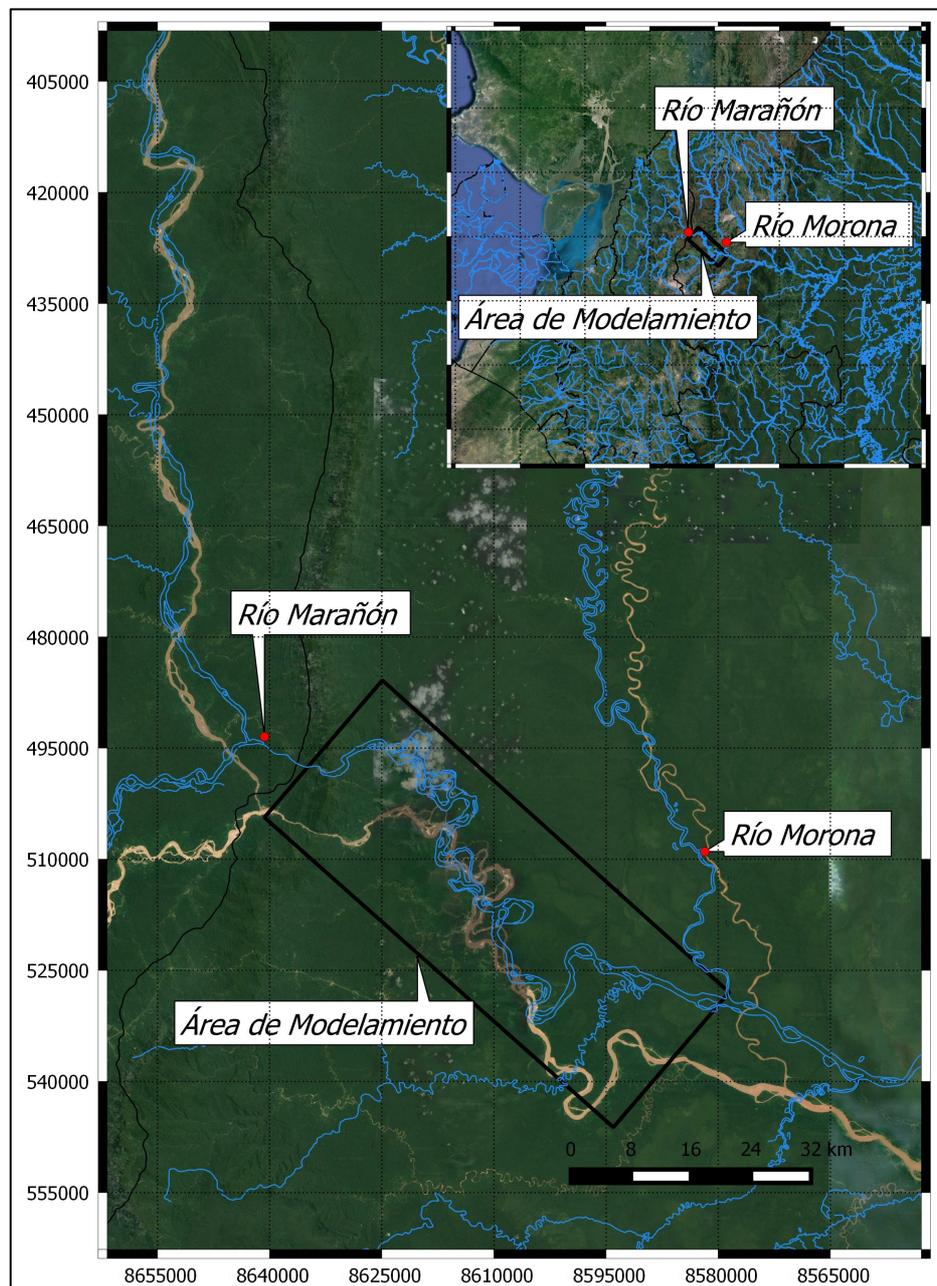
Este análisis se desarrolló para los dos escenarios hidrológicos potencialmente más críticos; es decir, para años hidrológicamente normales (caudales medios mensuales

---

<sup>3</sup> Caudal necesario para la operación de las turbinas de la central hidroeléctrica.

con una persistencia del 50%) y años secos (caudales medios mensuales con valores equivalentes al 90% de persistencia)<sup>4</sup>.

**Figura 19.** Área de modelamiento de inundación debajo del Pongo de Manseriche.



<sup>4</sup> Para los objetivos del presente informe, se ha definido como un año normal (o seco), a aquel en el que los caudales medios mensuales corresponden a los valores del 50% (o 90% -año seco-) en una curva de análisis probabilístico de persistencia basado en datos históricos. En este contexto, el valor de caudal mensual corresponde a aquel que es superado o alcanzado el 50% (o 90% -año seco-) del tiempo (Raghunath, H. M., 2006)

***Escenario 1 (implementación de río Grande, Chadín 2 y Veracruz)***

La implementación conjunta de las centrales hidroeléctricas de río Grande, Chadín y Veracruz, implica una modificación importante en los caudales de ingreso a los embalses de las dos últimas, y en consecuencia también una modificación en el tiempo requerido para alcanzar el almacenamiento necesario para asegurar los valores óptimos de caudal a turbinar.

En las tablas 50 a 53 se presentan los valores de caudal modificado que ingresa a las centrales hidroeléctricas de Chadín y Veracruz. Como puede apreciarse, estos nuevos caudales implican una modificación del régimen que es típica de ríos regulados por grandes represas, con un incremento sustancial en el caudal circulante de época seca, y una reducción significativa en la época húmeda. Esto se debe fundamentalmente al uso del agua embalsada para satisfacer las demandas de producción hidroeléctrica en la temporada de aguas bajas (lo que eleva el caudal instantáneo), mientras que en la temporada de avenidas (lluvias) una parte importante del caudal es retenida en el proceso de llenado del embalse (Postel & Richter, 2003; Arthington, 2012).

**Tabla 50.** Valores de caudal de ingreso al embalse Chadín en un año hidrológicamente normal (50% de persistencia, caudal en m<sup>3</sup>/s).

Meses	Caudal Natural	Caudal Modificado	% Modificación
ENE	610.67	518.37	-15.12
FEB	846.54	544.77	-35.65
MAR	986.12	844.22	-14.39
ABR	795.29	795.29	0.00
MAY	366.50	491.03	33.98
JUN	213.76	323.93	51.54
JUL	154.91	267.34	72.58
AGO	132.00	164.78	24.83
SEP	137.14	165.35	20.57
OCT	253.16	278.34	9.95
NOV	395.62	494.29	24.94
DIC	530.44	509.38	-3.97

**Tabla 51.** Valores de caudal de ingreso al embalse Chadín en un año hidrológicamente seco (90% de persistencia, caudal en m<sup>3</sup>/s).

Meses	Caudal Natural	Caudal Modificado	% Modificación
ENE	362.91	340.63	-6.14
FEB	475.96	353.29	-25.77
MAR	559.95	559.95	0.00
ABR	491.44	491.44	0.00
MAY	256.38	256.38	0.00
JUN	161.68	168.10	3.97
JUL	103.14	161.55	56.63
AGO	93.51	160.47	71.61
SEP	107.30	162.01	50.99
OCT	150.05	166.80	11.17
NOV	190.95	171.38	-10.25
DIC	254.70	178.52	-29.91

**Tabla 52.** Valores de caudal de ingreso al embalse Veracruz en un año hidrológicamente normal (50% de persistencia, caudal en m<sup>3</sup>/s).

Meses	Caudal Natural	Caudal Modificado	% Modificación
ENE	672.15	561.49	-16.46
FEB	931.78	585.24	-37.19
MAR	1,085.42	699.29	-35.57
ABR	875.37	780.08	-10.89
MAY	403.41	527.93	30.87
JUN	235.28	421.52	79.16
JUL	170.51	365.60	114.42
AGO	145.30	263.29	81.21
SEP	150.95	263.81	74.77
OCT	278.65	325.49	16.81
NOV	435.45	539.83	23.97
DIC	583.85	553.41	-5.21

**Tabla 53.** Valores de caudal de ingreso al embalse Veracruz en un año hidrológicamente seco (90% de persistencia, caudal en m<sup>3</sup>/s).

Meses	Caudal Natural	Caudal Modificado	% Modificación
ENE	399.45	286.54	-28.27
FEB	523.88	347.92	-33.59
MAR	616.33	556.38	-9.73
ABR	540.92	499.48	-7.66
MAY	282.19	250.82	-11.12
JUN	177.96	216.28	21.53
JUL	113.52	210.39	85.32
AGO	102.93	209.42	103.46
SEP	118.11	210.80	78.48
OCT	165.15	215.11	30.25
NOV	210.17	219.23	4.31
DIC	280.35	225.65	-19.51

Estas modificaciones en los caudales de ingreso, asociadas a la capacidad de almacenamiento de los embalses y el caudal de diseño de las casas de turbinas de estas tres centrales hidroeléctricas, implican a su vez una modificación en el régimen de descargas hacia el río Maraón, el cual experimentaría variaciones cada vez más intensas. Los valores de descargas al río Maraón se presentan en las tablas 54 y 55.

**Tabla 54.** Valores de caudal descargado al río Maraón en un año normal (50% de persistencia, caudal en m<sup>3</sup>/s).

Meses	Río Grande		Chadín		Veracruz	
	Natural	Modificado	Natural	Modificado	Natural	Modificado
ENE	542.30	450.00	610.67	500.00	672.15	420.00
FEB	751.77	450.00	846.54	500.00	931.78	420.00
MAR	875.72	733.82	986.12	600.00	1,085.42	630.00
ABR	706.26	706.26	795.29	700.00	875.37	630.00
MAY	325.47	450.00	366.50	491.03	403.41	630.00
JUN	189.83	300.00	213.76	400.00	235.28	630.00
JUL	137.57	250.00	154.91	350.00	170.51	420.00
AGO	117.23	150.00	132.00	250.00	145.30	420.00
SEP	121.79	150.00	137.14	250.00	150.95	420.00
OCT	224.82	250.00	253.16	300.00	278.65	420.00
NOV	351.33	450.00	395.62	500.00	435.45	420.00
DIC	471.06	450.00	530.44	500.00	583.85	420.00

En un año normal (Tabla 54), las descargas en el río Maraón, aguas abajo de la represa de Veracruz, representan una reducción promedio del 32,34% en los meses de

rellenado del embalse (noviembre a abril, época húmeda), y un incremento promedio del orden del 130% en los meses de estiaje (mayo a octubre, época seca). Por otra parte, en un año seco (Tabla 55), los meses en los que es posible realizar el relleno del embalse de Veracruz serían entre diciembre y abril, durante los cuales la reducción del caudal natural será en promedio del 25,33%, mientras que en la época de estiaje, el caudal se verá incrementado a partir de las descargas del embalse, en promedio un 57,78% con respecto al valor natural para la temporada.

**Tabla 55.** Valores de caudal descargado al río Marañón en un año seco (90% de persistencia, caudal en m<sup>3</sup>/s).

Meses	Río Grande		Chadín		Veracruz	
	Natural	Modificado	Natural	Modificado	Natural	Modificado
<b>ENE</b>	322.28	300.00	362.91	250.00	399.45	250.00
<b>FEB</b>	422.67	300.00	475.96	300.00	523.88	300.00
<b>MAR</b>	497.26	497.26	559.95	500.00	616.33	500.00
<b>ABR</b>	436.42	436.42	491.44	450.00	540.92	450.00
<b>MAY</b>	227.68	227.68	256.38	225.00	282.19	320.00
<b>JUN</b>	143.58	150.00	161.68	200.00	177.96	250.00
<b>JUL</b>	91.59	150.00	103.14	200.00	113.52	225.00
<b>AGO</b>	83.04	150.00	93.51	200.00	102.93	225.00
<b>SEP</b>	95.29	150.00	107.30	200.00	118.11	225.00
<b>OCT</b>	133.25	150.00	150.05	200.00	165.15	225.00
<b>NOV</b>	169.57	150.00	190.95	200.00	210.17	225.00
<b>DIC</b>	226.19	150.00	254.70	200.00	280.35	250.00

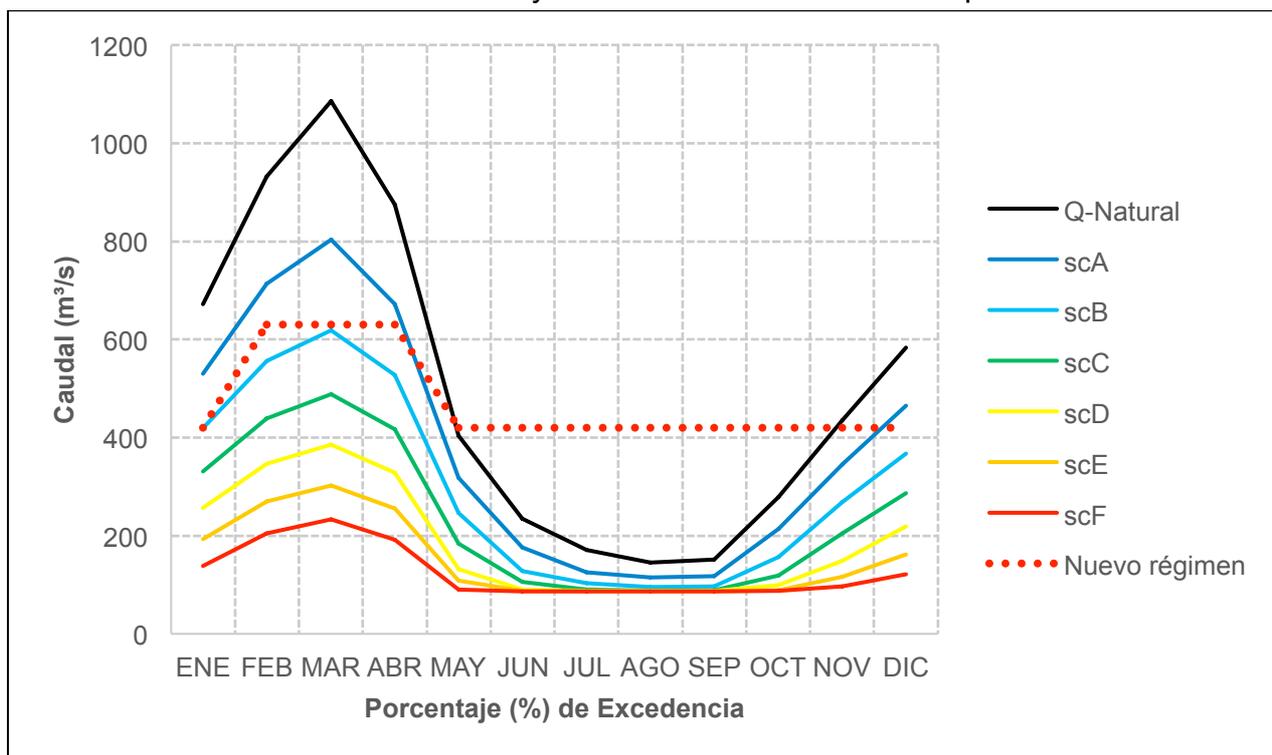
Asumiendo que -en términos prácticos- de construirse los embalses de Río Grande, Chadín y Veracruz en su actual configuración, estos modificarían totalmente el cauce del río en un tramo de aproximadamente 80 a 90 Km, se planteó evaluar los posibles efectos hidrológicos asociados a la modificación de caudales en el río Marañón aguas abajo de Veracruz. Para ello se comparan los valores del nuevo régimen de descargas aguas abajo de esta última central hidroeléctrica, con el caudal natural y los escenarios de conservación simulados en base al modelo GEFC. Este análisis se muestra en los gráficos 26 y 27 para un año normal y un año seco respectivamente.

Según se puede apreciar en el gráfico 26, en un año normal el nuevo régimen de descargas se ubica entre los escenarios de conservación A (óptimo), B (bueno) y C (medio), en los meses de aguas altas (diciembre a abril). Sin embargo, en los meses de estiaje (mayo a noviembre), el caudal incrementado por las descargas provenientes del embalse supera incluso a la actual condición natural, generando que el río transporte una cantidad de agua mayor a la que suele discurrir en este período. Esto implica que el

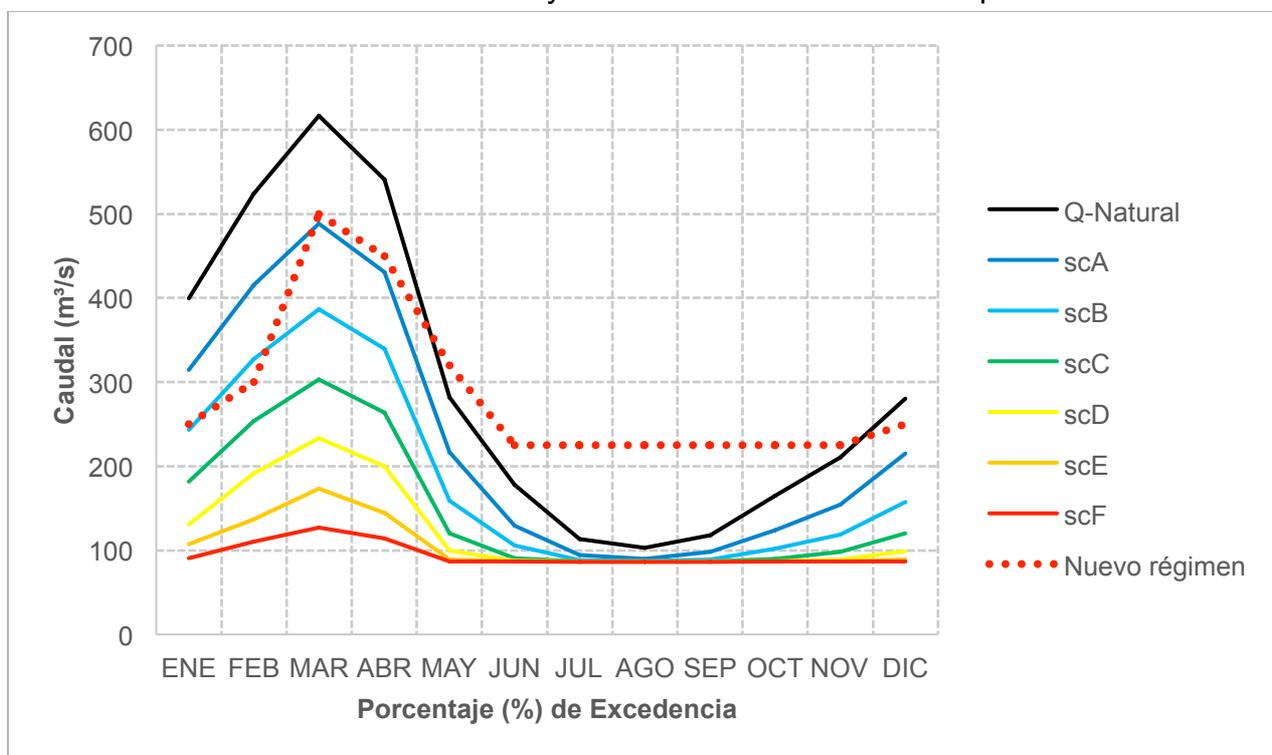
período de aguas bajas (invierno) presenta un caudal mayor al esperado, restringiéndose (e incluso pudiendo eliminarse) características importantes de la fase de estiaje como: flujo laminar y patrones deposicionales en zonas de cría y guardería, señales de inicio/fin de etapas migratorias y reproductivas, alta concentración de organismos bentónicos lo que facilita la caza por parte de organismos mayores (peces p.ej.), etc. (Richter et al., 1997).

Otro efecto importante tiene que ver con la reducción en los patrones de variabilidad natural, puesto que el nuevo régimen genera un hidrograma mucho más plano a nivel de caudales medios mensuales, esto significa que en el nuevo régimen los caudales pico de la época húmeda (Diciembre a Abril) tenderán a ser menores (puesto que será el período en el cual los embalses habrán de llenarse), mientras que el caudal base de época seca se eleva artificialmente debido a que lo almacenado en los embalses se liberaría para ser turbinado. Si se considera el hecho de que una regla de operación relativamente homogénea tiende a eliminar patrones de variación más finos (diario u horario), que pueden constituir señales importantes para el desarrollo del ecosistema acuático (Richter et al., 1997a, 1997b; Poff et al., 1997, 2010; Krchnak et al., 2009). En un año seco (gráfico 27), la situación es muy similar: en los meses de mayor disponibilidad de agua (enero a abril) los valores de caudal descargado, se ubican entre el caudal natural y los escenarios de conservación óptimo (A), bueno (B) y medio (C), pero en la época seca, el flujo subvencionado por las descargas provenientes del embalse, supera incluso al caudal natural, modificándose drásticamente el régimen natural, como se ha indicado antes, esta modificación de los caudales extremos (tanto los más altos de la época húmeda, como los bajos de la época seca) constituye un impacto adverso para la comunidad biótica, puesto que elimina una serie de características importantes como señales ecológicas, concentración de recursos, características hidráulicas amistosas en la fase de cría y reclutamiento, etc (Richter et al., 1997; Poff et al., 2010).

**Gráfico 26.** Caudales mensuales y escenarios de conservación para un año normal



**Gráfico 27.** Caudales mensuales y escenarios de conservación para un año seco



***Escenario 2 (implementación de Rentema y Manseriche)***

Considerando la (teórica) existencia de las tres centrales hidroeléctricas anteriores (río Grande, Chadín y Veracruz), el análisis de posibles efectos relacionados a la implementación de Rentema y Manseriche experimentaría algunas modificaciones, relacionadas fundamentalmente con el nivel de abastecimiento de agua disponible para cada una de ellas.

**Tabla 56.** Valores de caudal de ingreso al embalse Rentema en un año hidrológicamente normal (50% de persistencia, caudal en m<sup>3</sup>/s).

Meses	Caudal Natural	Caudal Modificado	% Modificación
ENE	3,384.41	3,132.26	-7.45
FEB	4,385.58	3,873.80	-11.67
MAR	4,381.02	3,925.61	-10.40
ABR	4,947.74	4,702.37	-4.96
MAY	4,610.06	4,836.66	4.92
JUN	3,825.51	4,220.22	10.32
JUL	3,614.39	3,863.89	6.90
AGO	2,487.50	2,762.21	11.04
SEP	2,501.62	2,770.67	10.76
OCT	2,805.11	2,946.46	5.04
NOV	2,901.36	2,885.91	-0.53
DIC	3,155.64	2,991.80	-5.19

En el caso del embalse Rentema, la ubicación de la presa (al final del cañón homónimo), implica que el río -en la condición actual (sin alteraciones perceptibles)- experimentaría un incremento sustancial en el flujo con respecto al aporte de la cuenca media-alta (zona en la que se ubican río Grande, Chadín y Veracruz), debido a la mayor área aportante, y la presencia de afluentes importantes como el Chamaya, el Chinchipe y el Uctubamba, de manera que las variaciones en el caudal descargado desde el embalse de Veracruz, no generan mayores alteraciones en el caudal de ingreso a la futura presa en Rentema. Según se muestra en la tabla 56, en un año normal (en términos hidrológicos), la variación de caudal implica una reducción promedio del 6.70% en los meses de mayor disponibilidad (noviembre a abril) y un ligero incremento del 8.16% en promedio, para los meses de la época seca (mayo a octubre). En los años secos el escenario es similar: en los meses de mayor disponibilidad de agua (entre diciembre y mayo en este caso) se aprecia una ligera disminución en el caudal, del orden del 3.00%, mientras que en los meses más secos (junio a noviembre) el efecto se expresa en un ligero incremento del 3.36% de la disponibilidad natural.

**Tabla 57.** Valores de caudal de ingreso al embalse Rentema en un año hidrológicamente seco (90% de persistencia, caudal en m<sup>3</sup>/s).

Meses	Caudal Natural	Caudal Modificado	% Modificación
ENE	2,400.04	2,287.13	-4.70
FEB	2,686.66	2,510.70	-6.55
MAR	3,339.12	3,279.18	-1.80
ABR	3,533.37	3,491.94	-1.17
MAY	3,405.91	3,374.53	-0.92
JUN	2,655.50	2,693.82	1.44
JUL	2,587.16	2,684.02	3.74
AGO	1,743.41	1,849.90	6.11
SEP	1,687.35	1,780.05	5.49
OCT	1,710.92	1,760.87	2.92
NOV	1,895.62	1,904.68	0.48
DIC	1,902.40	1,847.70	-2.88

El análisis de pre-factibilidad de proyectos hidroeléctricos del Ministerio de Energía y Minas (2009), indica que el caudal turbinado previsto para la CH Rentema sería de 1,440 m<sup>3</sup>/s. Si esta configuración se mantuviera (a pesar de que la capacidad de almacenamiento del embalse permitiría valores hasta una o dos veces mayores), entonces la disponibilidad de agua del proyecto, natural o modificada, permitiría la satisfacción de la demanda sin implicancias en términos hidrológicos. Es decir, sin la existencia de alteraciones al régimen de caudales (tabla 57).

En el caso de la central de Manseriche, esta ha sido planteada como el proyecto hidroeléctrico más grande del país, con una producción máxima potencial de 4500 MW/h, alimentada por un embalse de 5,470 Km<sup>2</sup> (International Rivers, 2014), con un volumen total de almacenamiento de 21,750 MMC (21.75 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>), y un caudal turbinado constante de 3,500 m<sup>3</sup>/s.

El análisis de los valores de caudal modificado frente a la condición natural en un año hidrológico normal (caudales mensuales con una persistencia del 50%), muestra que los efectos de alteración del régimen, experimentados principalmente en el sector medio de la cuenca (zona de bosques secos del Marañón, donde se ubican Río Grande, Chadín y Veracruz), tienen una expresión mínima en el pongo de Manseriche. En años normales (tabla 58), durante la temporada de aguas altas (meses lluviosos, entre noviembre y abril) los caudales mensuales experimentarían una reducción media del 4.87%, en tanto que para la temporada de aguas bajas (mayo a octubre) el incremento observado es del 5.93% en promedio. Todos los valores de caudal previstos para años normales superan, al menos ligeramente, el valor de caudal demandado (3,500 m<sup>3</sup>/s). Es por este motivo

que no se esperarían modificaciones hidrológicas aguas abajo del embalse (aguas abajo del pongo de Manseriche); esto implica que, en años normales y/o húmedos, y bajo la configuración actual del proyecto, la estacionalidad, duración y extensión de las fases de vaciante e inundación, se mantendrían sin mayor modificación, sin embargo debe recordarse que este análisis descarta los efectos de la pérdida de sólidos suspendidos y su depósito en los llanos aluviales como nutrientes, o el de erosión incrementada (hungry waters)..

**Tabla 58.** Valores de caudal de ingreso al embalse Manseriche en un año hidrológicamente normal (50% de persistencia, caudal en m<sup>3</sup>/s).

Meses	Caudal Natural	Caudal Modificado	% Modificación
ENE	4,660.01	4,407.86	-5.41
FEB	6,038.52	5,526.74	-8.48
MAR	6,032.25	5,576.83	-7.55
ABR	6,812.56	6,567.19	-3.60
MAY	6,347.61	6,574.21	3.57
JUN	5,267.36	5,662.07	7.49
JUL	4,976.67	5,226.16	5.01
AGO	3,425.05	3,699.76	8.02
SEP	3,444.49	3,713.54	7.81
OCT	3,862.37	4,003.71	3.66
NOV	3,994.90	3,979.44	-0.39
DIC	4,345.02	4,181.17	-3.77

**Tabla 59.** Valores de caudal de ingreso al embalse Manseriche en un año hidrológicamente seco (90% de persistencia, caudal en m<sup>3</sup>/s).

Meses	Caudal Natural	Caudal Modificado	% Modificación
ENE	3,304.62	3,191.72	-3.42
FEB	3,699.27	3,523.31	-4.76
MAR	4,597.65	4,537.70	-1.30
ABR	4,865.12	4,823.68	-0.85
MAY	4,689.62	4,658.24	-0.67
JUN	3,656.37	3,694.68	1.05
JUL	3,562.27	3,659.14	2.72
AGO	2,400.51	2,507.00	4.44
SEP	2,323.32	2,416.02	3.99
OCT	2,355.77	2,405.72	2.12
NOV	2,610.09	2,619.14	0.35
DIC	2,619.43	2,564.72	-2.09

En el caso de ocurrir un año seco (caudales mensuales con una persistencia del 90%, tabla 59), se espera una reducción del orden del 2.18% en el caudal medio durante los meses con mayor disponibilidad de agua (diciembre a mayo), mientras que en los meses secos se esperaría un incremento cercano al 2.44%. En este escenario sí existen algunas restricciones en cuanto a la disponibilidad de agua. Considerando una demanda constante de 3,500 m<sup>3</sup>/s se requeriría utilizar parte del agua almacenada en el embalse entre los meses de agosto y enero, durante los cuales la disponibilidad de caudal de ingreso al sistema es menor que la demanda. Adicionalmente durante los siguientes seis meses (febrero a julio), de persistir la condición seca, la capacidad de abastecimiento alcanzaría para reponer solamente el 73.50% de lo utilizado desde el embalse. Esto implica un déficit cercano a los 3,700 MMC durante los años secos con las características descritas (90% de persistencia). Sin embargo, la gran capacidad de almacenamiento del embalse de Manseriche (21,750 MMC de almacenamiento total, 14,500 MMC de almacenamiento efectivo) permitiría la provisión suficiente de recursos hídricos durante varios años secos seguidos.

En consecuencia, de turbinarse en un año seco los 3,500 m<sup>3</sup>/s que se tiene planteado para el proyecto, la situación deficitaria en los meses de agosto a enero obligaría a compensar (volver a llenar el embalse) entre febrero y julio, lo que genera como resultado potencial un menor período de inundación, o incluso la no ocurrencia de esta fase aguas abajo del embalse.

### **Transporte de sólidos suspendidos**

Como se ha mencionado en los análisis independientes de las secciones previas, la retención de sólidos suspendidos en embalses representa un problema a varios niveles, tanto desde el punto de vista económico como ambiental. Además de reducir la eficiencia de los embalses, la retención de sedimentos en los mismos modifica la hidráulica del río y afecta procesos naturales que dependen de la disponibilidad y calidad de los nutrientes transportados por el río.

Todos los reservorios de los proyectos evaluados tienen altos niveles de retención de sedimentos. En la tabla 60 pueden revisarse la cantidad de sedimentos retenidos al año en todos los embalses analizados considerando la eficiencia de retención según la ecuación de Brune (1953) que determina resultados más conservadores.

Pese a que algunos proyectos (aquellos con un estado de desarrollo más avanzado) contemplan medidas de mitigación, no se especifica el mecanismo de las mismas, el alcance de éstas en cuanto a porcentajes de reducción en la colmatación de embalses, ni porcentajes de sedimentos que se plantea devolver al río. Además, medidas planteadas como “mitigación” desde una perspectiva económica pueden, sin embargo,

tener un efecto adverso sobre el ecosistema aguas abajo (Ligon et al 2012). Por ejemplo, para el caso de Río Grande se menciona como medida de mitigación la descarga de sedimentos de fondo con aperturas mensuales, trimestrales y semestrales, lo que significa que una gran cantidad de sedimentos será liberada de golpe al río, enturbiándolo y afectando los organismos que viven en él.

**Tabla 60.** Retención de sedimentos anual por embalse

<b>Proyecto</b>	<b>Sedimentos retenidos en embalses anualmente (ton)</b>
<b>Río Grande</b>	9.84 millones
<b>Chadín</b>	10.14 millones
<b>Veracruz</b>	10.33 millones
<b>Rentema</b>	51.71 millones
<b>Manseriche</b>	95.91 millones

Por otro lado y como consecuencia de la retención de sedimentos, hay que considerar el efecto de “aguas hambrientas” (hungry waters<sup>5</sup>, Kondolf 1997). Los reservorios evaluados se hallan todos en el curso del río Marañón, por lo que los procesos erosivos derivados de las aguas clarificadas se producirían entre embalse y embalse, pudiendo afectarse gran parte de la cuenca.

Otro potencial impacto importante está relacionado con la conocida productividad de los llanos inundables en comparación con las tierras firmes (Klinge & Rodriguez, 1968; Parolin 2000), esta productividad estaría íntimamente relacionada con los nutrientes (principalmente inorgánicos) depositados durante la fase de inundación, la pérdida de estos nutrientes convertiría a un sector importante de los llanos inundables del Marañón en un terreno con baja productividad (puede suponerse que similar a las terrazas altas cercanas).

### **Alteración de rutas migratorias**

La modificación de rutas migratorias de peces, en el caso de la construcción de obras hidráulicas tan grandes como las presas propuestas en el río Marañón, implica fundamentalmente la eliminación de la totalidad del tramo fluvial ubicado aguas arriba de cada una de estas estructuras, a menos que se planteasen estructuras de pasada como escalas para peces o canales laterales (Schilt, 2016; Bunt et al., 2012). Sin embargo,

<sup>5</sup> “Hungry waters” (Kondolf, 1997) hace referencia al fenómeno por el cual el agua clarificada que sale de un embalse tiene menor densidad, afectando la hidráulica del río e incrementando los procesos de erosión en orillas.

ninguno de los estudios ambientales desarrollados hasta la actualidad (Veracruz, Chadín o río Grande) considera en su diseño la implementación de dichas estructuras. Por otro lado, esto no considera el hecho de que al estar planificadas en la secuencia de construcción planteada, las cinco centrales hidroeléctricas generarían en la práctica la modificación total de un gran tramo fluvial, convirtiéndolo en un continuo de ambientes lénticos (reservorios), lo que tiene el potencial de reducir la efectividad de cualquier medida física destinada a asegurar la migración de los peces (Roscoe & Hinch, 2010).

Por lo discutido antes, las dos configuraciones analizadas para evaluar los impactos acumulativos: (i) la construcción conjunta de Río Grande, Chadín y Veracruz (las tres centrales hidroeléctricas con mayor estado de desarrollo en los estudios previos), y (ii) la construcción de las cinco centrales hidroeléctricas, generarían impactos sustancialmente distintos:

- La construcción de las tres primeras centrales hidroeléctricas, ubicadas en la cuenca media-alta del río Marañón, generaría una reducción en la extensión de rutas migratorias igual a la generada solo por la construcción del embalse de Veracruz. Es decir, que en este caso se perderían 334 km de cauce fluvial potencialmente usado por las especies migratorias con mayor importancia económica y alimentaria del ámbito de estudio (el boquichico y algunos grandes bagres migratorios entre ellas).
- Por su parte, la construcción de las cinco grandes centrales hidroeléctricas seleccionadas para este análisis, correspondería en la práctica a la pérdida de la totalidad de los tramos fluviales de la cuenca media y alta del río Marañón (4145 km de cauce fluvial), como ámbitos de migración y reproducción de especies migratorias de importancia, afectando intensamente a la ecología del sistema, así como reduciendo sustancialmente una fuente de proteína importante para las poblaciones locales<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> En los ambientes fluviales de la vertiente oriental de los andes, se observa una marcada zonación altitudinal, y asociada a esta una relación inversa entre riqueza y altitud: en ríos y otros cuerpos de agua ubicados por debajo de los 250 metros sobre el nivel del mar (llanura amazónica), la riqueza de peces de agua dulce tiende a superar (con relativa facilidad) las 100 especies, entre los 250 y 500 msnm, esta riqueza se ve fuertemente reducida llegando a encontrar entre 30 y 50 especies distintas, mientras que por encima de los 500 metros de altitud la riqueza se reduce aún más hasta ubicarse alrededor de 15 a 20 especies y por arriba de los 1000 metros de altitud (región andina) solo es posible encontrar de 3 a 10 especies de peces (Ortega 1992, Chang & Ortega 1995, Maldonado-Ocampo et al. 2005, Ortega et al. 2007, Ortega & Hidalgo 2008).

## Áreas agrícolas inundadas

Las áreas agrícolas inundadas corresponden a zonas que en la actualidad son usadas como campos de cultivo, y que en el futuro podrían ubicarse debajo de las aguas embalsadas de los cinco reservorios propuestos.

En la tabla 61, se muestran la extensión de áreas de uso agrícola inundadas por cada uno de los proyectos de manera individual, y cuanto corresponde al área acumulada con cada uno (en hectáreas).

**Tabla 61** Extensión de áreas agrícolas inundadas (en hectáreas)

Proyecto	Área (ha)	Acumulado (ha)
Río Grande	556.15	556.15
Chadín 2	244.88	801.03
Veracruz	73.37	874.40
Rentema	35,462.25	36,336.66
Manseriche	59,859.21	96,195.87

Como puede observarse, los efectos acumulados de la construcción y operación de los embalses ubicados en la cuenca media-alta (Río Grande, Chadín y Veracruz) son importantes, puesto que inundarían 874 hectáreas de tierras altamente productivas. Sin embargo, la construcción de Rentema representaría la pérdida de 35,462 hectáreas adicionales (acumulando 36,337 ha), y en caso de construirse Manseriche, esta representaría la pérdida de 59,859 hectáreas adicionales (96,196 hectáreas acumuladas). Debe señalarse que en este último caso, el mapa de coberturas vegetales del MINAM (2015) considera áreas sin cobertura de bosque, las que pueden incluir tanto espacios agrícolas como zonas desboscadas por actividad forestal u otros.

## Áreas inundadas en la cuenca baja del río Marañón

Los patrones de inundación en la baja Amazonía Peruana cuentan con escasa información, especialmente en lo referido a factores importantes para el mantenimiento de funciones ecológicas en un régimen de pulsos, como: su frecuencia, intensidad, amplitud y regularidad, entre otras. (función f FITRAS según Neiff, 1990, 1999).

Como parte de este análisis se ha incluido una simulación preliminar de la variación en la extensión del llano inundable (equivalente a la amplitud en la función propuesta por Neiff), usando los nuevos regímenes de caudales liberados al río Marañón aguas abajo del embalse de Manseriche, en caso este fuera construido. Estas nuevas áreas

inundables han sido simuladas bajo una perspectiva conservadora (asumiendo los menores impactos posibles), considerando dos generalizaciones:

- No se consideran (puesto que no se pueden cuantificar) los efectos de erosión del lecho, debido al fenómeno de “aguas hambrientas” (hungry waters).
- Para los modelos hidráulicos, se considera un valor de fricción uniforme, sin tomar en cuenta las diferencias que existen entre el canal abierto y el llano inundable. En este caso se ha utilizado el valor medio entre lo que equivaldría a cada uno de estos ambientes.

Para la simulación de las áreas inundables se generó información topográfica de un tramo del río Marañón, en base a los datos contenidos en la carta nacional y datos generados a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM). El tramo de estudio está comprendido entre el futuro embalse de Manseriche y la desembocadura del río Morona. Este es el primer afluente importante aguas abajo del proyecto hidroeléctrico que cuenta con su propio llano inundable, y que en consecuencia modifica sustancialmente cualquier estimación que pudiera hacerse sólo en base a los datos de caudales del río Marañón. El tramo simulado equivale a aproximadamente 90 km de cauce fluvial. A lo largo de todo el tramo se generaron 25 secciones transversales, de entre 6 y 30 km de longitud. En cada una de estas secciones se simuló -mediante la aplicación de un modelo hidráulico unidimensional generado utilizando el HEC-RAS (Brunner, 2008)<sup>7</sup>- la altura prevista para el nivel de agua a diferentes caudales (los caudales que fueron identificados en el análisis acumulativo de alteración hidrológica).

Un análisis de información secundaria (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2008; Paredes, 2013) muestra que el nivel mínimo de caudales de inundación en la estación limnimétrica de Borja corresponde a los 4650 m<sup>3</sup>/s, por lo que se esperaría que la modificación de los caudales por la construcción de los proyectos hidroeléctricos resulte en que el período de inundación se extienda entre enero y julio para un año hidrológicamente normal, y únicamente entre abril y mayo para un año seco. Sin embargo, en este último escenario, la necesidad de volver a llenar el embalse eliminaría totalmente la fase de inundación.

---

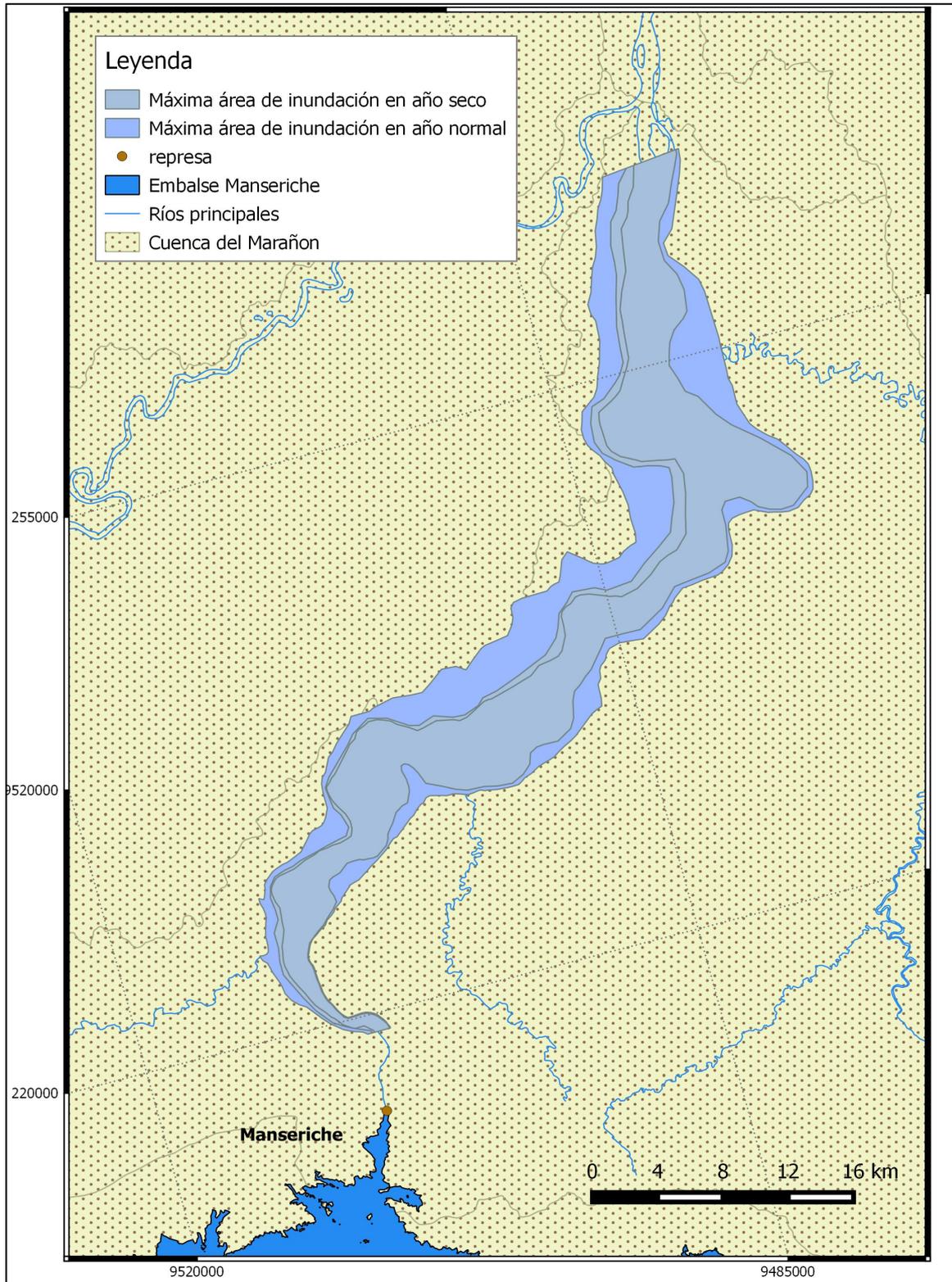
<sup>7</sup> HEC-RAS (Hydraulic Engineers Corp - River Analysis System) es una herramienta de simulación hidráulica unidimensional, que permite la generación de valores previstos de velocidad media del flujo, y altura de tirante a diferentes niveles de caudal, está basada en la fórmula empírica de Manning (y otros algoritmos utilizados en hidráulica fluvial).

Las áreas inundables en diferentes condiciones hidrológicas, se presentan en la Figura 20, mientras que en la tabla 62 se encuentran los valores de estas áreas.

**Tabla 62** Extensión de áreas agrícolas inundadas (en hectáreas)

<b>Proyecto</b>	<b>Año Normal</b>	<b>Año seco</b>
<b>Área inundada (km<sup>2</sup>)</b>	412.070	266.190

**Figura 20** Áreas inundables aguas abajo del Marañón en un año normal y un año seco sin operación de proyectos



## CONCLUSIONES

La construcción de cualquiera de estas represas en la cuenca del Marañón afectaría al ecosistema de manera negativa, deteniendo diversos procesos ecológicos claves para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que el río brinda (transporte de nutrientes, fuente de alimento, entre otros). Es importante recalcar que la cuenca del Marañón, no es solo la “arteria energética” como la llamó el ex presidente Alan García (D.S N°020-2011-EM), sino que también contribuye con sus aguas de manera significativa al Río Amazonas, y ofrece un paisaje de una gran belleza natural, comparable con el Gran Cañón del Colorado. Esta última característica en especial puede servir para plantear un uso sostenible de la cuenca mediante ecoturismo, brindando a las poblaciones locales un ingreso económico que complementa las actividades de subsistencia que ahí desarrollan. Para ello es necesario que se fomente el turismo, de manera de darle un valor añadido al ecosistema y evitar dañarlo.

Lamentablemente, la política peruana de los últimos años parece priorizar la construcción de centrales hidroeléctricas pese a contar actualmente con una sobreoferta energética que lleva el precio de la energía en ocasiones hasta los 40 soles por MW por hora<sup>8</sup> -siendo el límite del costo marginal de corto plazo según RM-607-2008-MEM/DM de 313.5 S/. MWh-. El trasfondo para la construcción de centrales hidroeléctricas en los últimos años parece ser producto de lobbies de grandes constructoras y estar enfocadas más en la exportación energética que en la ampliación de la matriz energética en poblados rurales del país. No obstante, el panorama a futuro parece ser positivo -en términos de preservación de ecosistemas acuáticos- luego de las declaraciones del actual presidente Kuczynski en torno al del proyecto hidroeléctrico Inambari. El actual mandatario se encuentra en contra de centrales hidroeléctricas que generen grandes espejos de agua; en su defecto, prefiere proyectos con menores espejos de agua que en un número no muy elevado, generen mayor energía que un megaproyecto.

De construirse esta serie de centrales hidroeléctricas se vería afectada la sincronización y frecuencia de los caudales, factores que según varios autores (Araujo-Lima, 1994; Welcomme & Halls, 2001; Junk & Wantzen, 2004; Agostinho et al., 2008; Cañas & Pine, 2011) son claves para el inicio de la migración reproductiva de diferentes especies migratorias. Esto afectaría también a las poblaciones humanas que se alimentan de estos peces migrantes, disminuyendo el aporte proteico en su dieta en detrimento de salud.

---

<sup>8</sup> [www.coes.org.pe](http://www.coes.org.pe)

En lo que respecta a los sólidos suspendidos, las represas analizadas retienen casi la totalidad de los sólidos que llegan a cada una de ellas. El efecto conjunto de todas las represas afectaría de manera significativa a los ecosistemas aguas abajo del Pongo de Manseriche, con efectos adversos en ecosistemas ya de por sí bastante frágiles. Por ejemplo, disminuirían la cantidad y calidad de nutrientes que lleguen a la cuenca baja del Marañón, afectando a plantas, animales y a las poblaciones que los aprovechan (agricultura en bajal p.ej.)

En conclusión, tanto el análisis individual de los proyectos hidroeléctricos, como el análisis de sus potenciales impactos acumulativos demuestran que los efectos derivados de la instalación de represas tendrán implicancias tanto en términos ambientales (áreas inundadas, migración de especies, alteración del régimen hidrológico y sedimentológico, etc.), como en términos socio-económicos (pérdida de áreas agrícolas, pérdida de recursos pesqueros y modificación de rutas de transporte). Estos efectos son menores en la cuenca media-alta del río Marañón (es decir, en la zona ubicada en bosques secos aguas arriba de los pongos de Rentema y Manseriche); sin embargo, afecta ecosistemas altamente frágiles como el bosque seco. Todos los proyectos analizados producen impactos negativos, más aun considerando que las medidas de mitigación aún no han sido establecidas con claridad en los Estudios de Impacto Ambiental.

## DISCLAIMER

Los análisis realizados, no consideran una posible reconfiguración de los embalses y caudales a turbinarse en las CHs Rentema y Manseriche, las cuales han sido analizadas en base a un diseño de pre-factibilidad desarrollado en 1982 (DGE-GTZ).

## BIBLIOGRAFÍA

- AGOSTINHO, A. A., F. M. PELICICE & L. D. C. GOMES. 2008. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology*. 68: 1119-1132
- AMEC (PERÚ) S.A. 2011. EIA Proyecto Central Hidroeléctrica Chadin 2. AC Energía S.A. Lima-Perú. 1942 pp.
- AMEC FOSTER WHEELER. 2015. EIA del Proyecto Complejo Hidroeléctrico Río Grande y Línea de Transmisión Asociada. Amec Foster Wheeler. Lima-Perú. 6612 pp.
- ARAUJO-LIMA, C. A. R. M. 1994. Egg size and larval development in Central Amazonian fish. *Journal of Fish Biology*. 44: 371-389
- ARTHINGTON, A. 2012. Environmental Flows Saving Rivers in the Third Millennium. 424
- BEDNAREK, A. T. 2001. Undamming Rivers: A Review of Ecological Impacts of Dam Removal. *Environmental Management*. 27 (6): 803-814
- BROUGHTON, L. 1994. Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua, Sub-Sector Minería. Ministerio de Energía y Minas, Proyecto EMTAL. 58 pp.
- BROWN, C. B. 1943. The control of reservoir silting. U.S. Dept. of Agriculture. Washington, D.C. 166 pp.
- BRUNE, G. M. 1953. Trap efficiency of reservoirs. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 34: 407-418
- BRUNNER, G. 2008. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC). Davis, California. 411 pp.
- BUNT, C. M., C.-S. T. & A. HARO. 2012. Performance of Fish Passage Structures at upstream barriers to migration. *River Research and Applications*. 28(4): 457-478
- CAÑAS, C. M. & W. E. PINE. 2011. Documentation of the temporal and spatial patterns of pimelodidae catfish and larval dispersion in the Madre de Dios river (Perú): Insights for conservation in the andean-amazon headwaters. *River Research and Applications*. 27: 602-611

- CHANG, F. & H. ORTEGA. 1995. Additions and Corrections to the List of Freshwater Fishes of Peru. Publicaciones del Museo de Historia Natural. 50: 1-12
- DIRECCIÓN GENERAL DE ELECTRICIDAD, SOCIEDAD ALEMANA DE COOPERACIÓN TÉCNICA GTZ & CONSORCIO LAHMEYER-SALZGITTER. 1982. Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional. pp.
- DIRECCIÓN REGIONAL DE LA PRODUCCIÓN DE LORETO. 2005. Actividad Pesquera y Acuícola en la región Loreto. pp.
- FINER, M. & C. N. JENKINS. 2012. Proliferation of Hydroelectric Dams in the Andean Amazon and Implications for Andes-Amazon Connectivity. PLoS ONE. 7: e35126
- GARCIA, A., S. TELLO, G. VARGAS & F. DUPONCHELLE. 2008. Patterns of commercial fish landings in the Loreto region (Peruvian Amazon) between 1984 and 2006. Fish Physiology and Biochemistry. 35: 53-67
- GARCIA, A., G. VARGAS, S. TELLO & F. DUPONCHELLE. 2012. Desembarque de pescado fresco en la ciudad de Iquitos, Región Loreto-Amazonía Peruana. Folia Amazónica. 21: 45-52
- GILL, M. A. 1979. Sedimentation and Useful Life of Reservoirs. Journal of Hydrology. 44: 89-95
- GOULDING, M., R. BARTHEM, C. CAÑAS, M. HIDALGO & H. ORTEGA. 2010. La Cuenca del Río Inambari: Ambientes acuáticos, biodiversidad y represas. pp.
- HUGHES, D. A. & V. SMAKHTIN. 1996. Daily flow time series patching or extension: a spatial interpolation approach based on flow duration curves. Hydrological Sciences Journal. 41: 851 - 871
- IHAKA, R. & R. GENTLEMAN. 1996. R: a language for data analysis and graphics. Journal of Computational and Graphical Statistics. 5: 299-314
- INTERNATIONAL RIVERS. 2014. Mapping Hydroelectric Projects in the Marañón Basin: Methods and Uncertainty. International Rivers. USA. 63 pp.
- JUNK, W. J. & K. M. WANTZEN. 2004. The Flood Pulse Concept: New Aspects, Approaches, and Applications. An update. Food and Agriculture Organization & Mekong River Commission. 117-149 pp.

- Klinge H. & Rodrigues W. 1968. Litter production in an area of Amazonian terra firme forest. Part I. Litterfall, organic and total nitrogen contents of litter. *Amazoniana* 1: 287-302.
- KONDOLF, G. M. 1997. Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. *Environmental Management*. 21: 533-551
- KRCHNAK, K., B. RICHTER, G. THOMAS & T. W. BANK. 2009. Integrating Environmental Flows into Hydropower Dam Planning, Design, and Operations. *Water Working Notes* N° 22. Washington D.C. 44 pp.
- LEDEC, G. & J. D. QUINTERO. 2003. Good Dams and Bad Dams: Environmental Criteria for Site Selection of Hydroelectric Projects. The World Bank, Washington. 30 pp.
- LIGON, F. K., W. E. DIETRICH & W. J. TRUSH. 1995. Downstream Ecological Effects of Dams. *BioScience*. 45(3): 183-192
- MALDONADO-OCAMPO, J. A., A. ORTEGA-LARA, J. S. USMA, G. GALVIS, F. A. VILLA-NAVARRO, L. VÁSQUEZ, S. PRADA-PEDREROS & C. ARDILA. 2005. Peces de los Andes de Colombia. Guía de Campo. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos «Alexander von Humboldt». Bogotá D.C. 346 pp.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. 2007. Elaboración de resúmenes ejecutivos y fichas de estudios de las centrales hidroeléctricas con potencial para la exportación a Brasil. MINEM. Lima-Perú. 79 pp.
- MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES (MTC). 2008. Estudios de Navegabilidad de los Ríos Amazonas y Marañón. Lima, Perú.
- NEIFF, J. 1990. Ideas para la interpretación ecológica Del Paraná. *Interciencia*. 15(6): 424-441
- NEIFF, J. J. 1999. El Régimen de Pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica In Malvárez, A. I. (ed). *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. Montevideo-Uruguay: 99–149.
- O. Y. INGENIERÍA E.I.R.LTA. 2009. Estudio de impacto ambiental de la central hidroeléctrica Veracruz. O. Y. Ingeniería E.I.R.Lta. Lima-Perú. 563 pp.

- ORTEGA, H., B. RENGIFO, I. SAMANEZ & C. PALMA. 2007. Diversidad y el estado de conservación de cuerpos de agua Amazónicos en el nororiente del Perú. *Revista Peruana de Biología*. 13: 189-193
- ORTEGA, H. & M. HIDALGO. 2008. Freshwater fishes and aquatic habitats in Peru: Current knowledge and conservation. *Aquatic Ecosystem Health & Management*. 11: 257-271
- OYAGUE, E. 2015. The Marañón River. Preliminary Environmental Flow Assessment. Final Report for the IHE Course on Environmental Flows. IHE (UNESCO)-Delft Technological University. Delft, The Netherlands and Lima, Perú. 43 pp.
- PAREDES, P. 2013. Informe de Evaluación Temática Hidrología-Hidrobiología. Iquitos, Perú.
- Parolin P. 2000. Growth, productivity and use of trees in white water floodplains. In: Junk, W.J., Ohly, J., Piedade, M.T.F. & Soares, M.G. (eds.): *The Central Amazon Floodplain: Actual Use and Options for a Sustainable Management*. Backhuys Publishers b.V., Leiden. : 375-391.
- POFF, N. L., J. D. ALLAN, M. B. BAIN, J. R. KARR, K. L. PRESTEGAARD, B. D. RICHTER, R. E. SPARKS & J. C. STROMBERG. 1997. The Natural Flow Regime: A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*. 47: 769-784
- POFF, N. L., B. D. RICHTER, A. H. ARTHINGTON, S. E. BUNN, R. J. NAIMAN, E. KENDY, M. ACREMAN, C. APSE, B. P. BLEDSOE, M. C. FREEMAN, J. HENRIKSEN, R. B. JACOBSON, J. G. KENNEN, D. M. MERRITT, J. H. O'KEEFFE, J. D. OLDEN, K. ROGERS, R. E. THARME & A. WARNER. 2010. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology*. 55: 147-170
- POSTEL, S. & B. RICHTER. 2003. *Rivers for Life: Managing Water For People And Nature*. 220
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2016. R: A language and environment for statistical computing. <http://www.R-project.org>
- RAGHUNATH, H. M. 2006. *Hydrology: Principles, Analysis, Design*. New Age International Publishers. New Delhi. 463 pp.

- RICHTER, B., J. BAUMGARTNER, R. WIGINGTON & D. BRAUN. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology*. 37: 231-249
- RICHTER, B. D., D. P. BRAUN, M. A. MENDELSON & L. L. MASTER. 1997. Threats to Imperiled Freshwater Fauna. *Amenazas a la Fauna Dulceacuicola en Riesgo*. . *Conservation Biology*. 11(5): 1081-1093
- ROSCOE, D. W. & S. G. HINCH. 2010. Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions. *Fish and Fisheries*. 11 (1): 12-33
- SCHILT, C. R. 2016. Developing fish passage and protection at hydropower dams. *Applied Animal Behaviour Science*. 104(3): 295-323
- SMAKHTIN, V. & M. ANPUTHAS. 2006. An Assessment of Environmental Flow Requirements of Indian River Basins. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka. 36 pp.
- SMAKHTIN, V. U. & N. ERIYAGAMA. 2008. Developing a software package for global desktop assessment of environmental flows. *Environmental Modelling & Software*. 23: 1396-1406
- THE SCILAB CONSORTIUM. 2010. Introduction to Scilab. <http://www.scilab.org/>
- VERSTRAETEN, G. & J. POESEN. 2000. Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: methods and implications for the assessment of sediment yield. *Progress in Physical Geography*. 24: 219-251
- WELCOMME, R. & A. HALLS. 2001. Some considerations of the effects of differences in flood patterns on fish populations. International Centre for Ecology. 9 pp.