

**“ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y MECÁNICO FLUVIAL DE QUEBRADA DE ACHA,
COMUNA DE ARICA”**

RESUMEN EJECUTIVO

0	RESUMEN EJECUTIVO	0-2
0.1	Recopilación de antecedentes	0-2
0.2	Mecánica de suelos.....	0-4
0.3	Estudio Dinámica Fluvial	0-5
0.4	Estudio Hidrológico	0-6
0.5	Estudio Hidráulico de Crecidas.....	0-8
0.6	Diagnóstico de Vulnerabilidad.....	0-10
0.7	Modelación Numérica Situación con Obras	0-11
0.8	Medidas Estructurales	0-13
0.9	Medidas No Estructurales.....	0-16
0.10	Análisis Mecánica Fluvial	0-18
0.11	Análisis Ambiental	0-20
0.12	Presupuesto Estimativo.....	0-21
0.13	Evaluación Técnica Económica	0-22

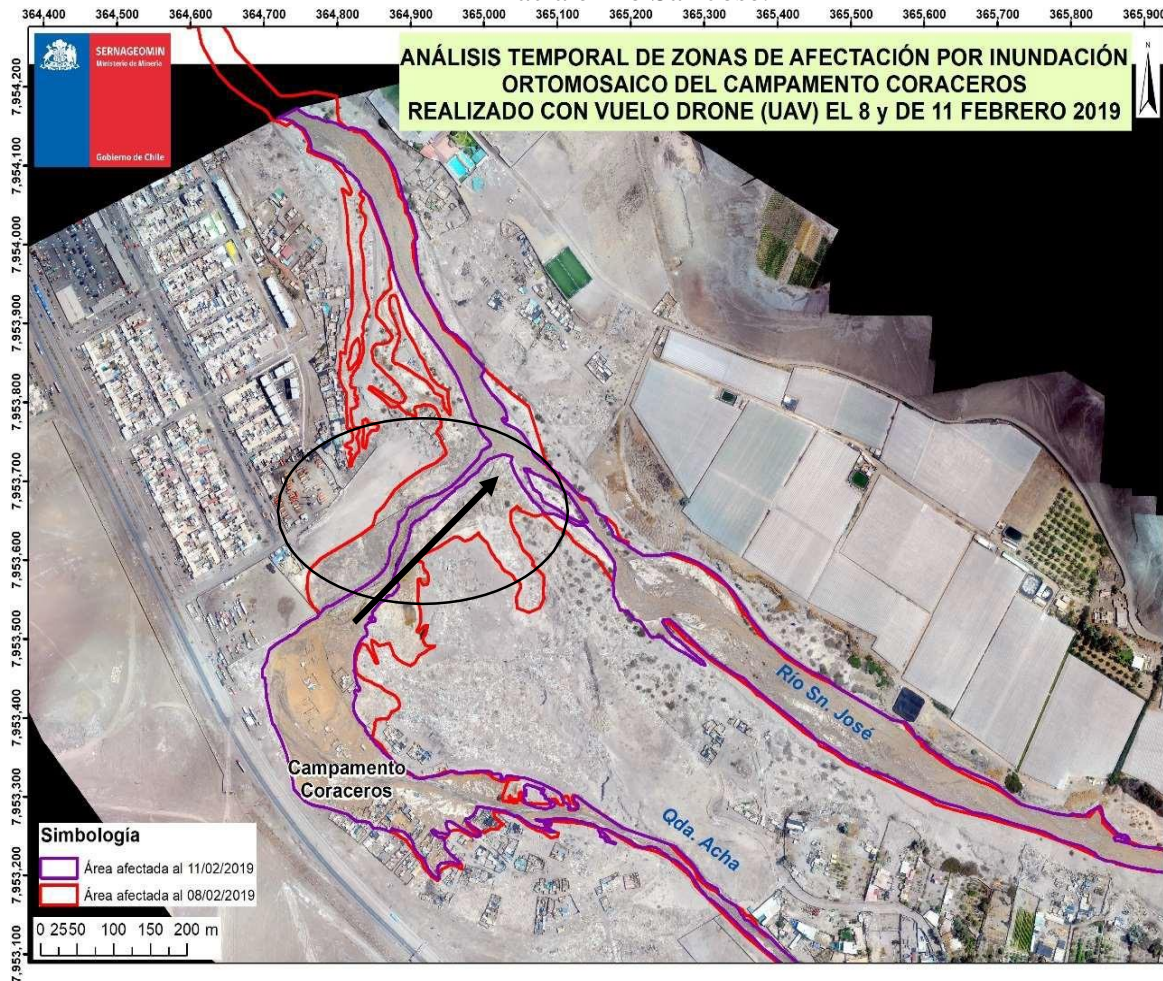
0 RESUMEN EJECUTIVO

0.1 Recopilación de antecedentes

A partir de la revisión acuciosa de los estudios realizadas en la Quebrada de Acha que aportan información pertinente en cuanto a descripción geográfica, eventos meteorológicos históricos, entre otros, se resumen los puntos más relevantes a considerar en este informe.

Se identifican viviendas con alto riesgo de ser alcanzadas por eventuales inundaciones, lo cual se respalda con el evento de crecida de febrero de 2019 del Rio Acha, que provocó cortes de caminos y anegación de viviendas y predios agrícolas, afectando también al campamento Coraceros, ubicado en el sector de Cerro Sombrero, a la entrada de la ciudad de Arica.

Figura 0-1. Análisis temporal de las zonas afectadas por inundación por el campamento Coraceros del 8 y 11 de febrero de 2019. El círculo indica el canal excavado para desagüe hacia el río San José.



Fuente: SERNAGEOMIN.

Figura 0-2. Viviendas sumergidas en el agua en el sector Coraceros de la quebrada de Acha.

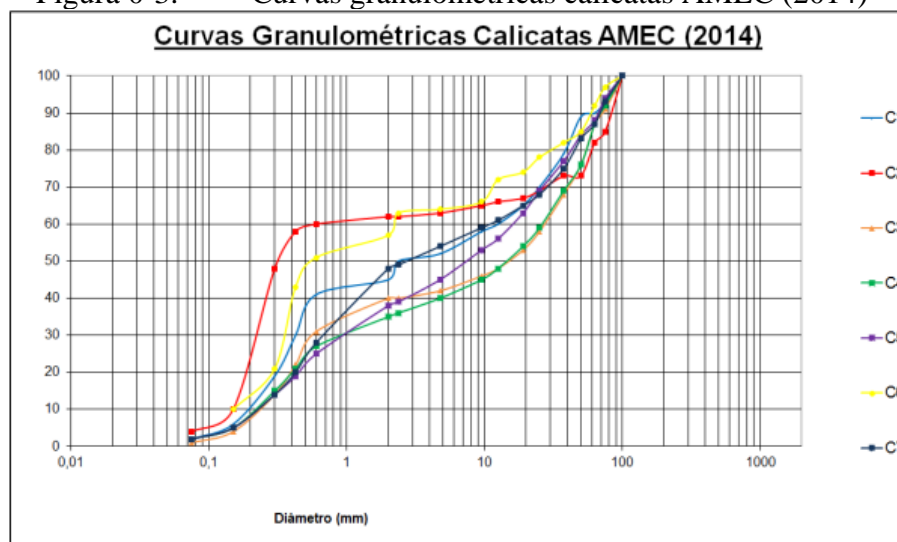


Fuente: <https://www.aricamia.cl>

De acuerdo con los antecedentes proporcionados por la DGA, este evento hidrometeorológico se concentró durante los días de 25 de enero hasta el 2 de febrero, provocando crecidas de caudales en los ríos Lluta y Camarones, y en las quebradas principales de San José de Azapa y en la quebrada de Vitor, remoción en masa de detritos provocando flujo aluvional desde las quebradas mencionadas, y caída de rocas y rodados, más la erosión superficial observada en las rutas. La alerta roja fue declarada por la ONEMI desde los días 1 a 13 de febrero, pasando a alerta amarilla el día siguiente mientras las precipitaciones se mantenían en motos bajos.

Para caracterizar la morfología de la cuenca se toma el trabajo realizado por el estudio de AC Ingenieros Consultores, donde se excavan siete calicatas en el lecho del río Lluta para caracterizar la granulometría de dicha zona, que ayuda a tener una primera impresión del tipo de suelo que existiría en el resto de la cuenca aledaña.

Figura 0-3. Curvas granulométricas calicatas AMEC (2014)



Fuente: AC Ingenieros Consultores, Referencia 2.

En cuanto a geografía, las cuencas hidrográficas son de tipo sedimentario formadas en altura, en su mayoría sobre los 3500 msnm, debido al tectonismo y la actividad volcánica existente en estas latitudes, las precipitaciones son de origen tropical y ocurren principalmente durante los meses de enero hasta marzo, suceso conocido como “Invierno Boliviano”. La influencia del anticiclón del Pacífico explica la ausencia de lluvias en el sector costero e interior del Norte Grande, aunque la abundante nubosidad de la franja costera, conocida como “camanchaca” permite el desarrollo de una débil vegetación desértica de tipo hierba o subarbusto, que se observa principalmente en las laderas de las quebradas. En la depresión intermedia el clima es severamente desértico con humedad típica del 40% y precipitaciones menores a 5-10 mm/año, evaporación potencial de casi 2000 mm/año y escasa nubosidad. Hacia altitudes mayores se desarrollan climas esteparios con precipitaciones estivales de naturaleza convectiva que alcanza localmente hasta 300 mm/año.

0.2 Mecánica de suelos

El análisis de las características de suelo a lo largo de la cuenca de la quebrada de Acha se lleva a cabo con 19 calicatas de tamaños aproximados de 1x1 metros con profundidad máxima de 2 metros excavada de forma manual. Con estas muestras se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio de acuerdo con lo contenido en el punto de Métodos de para suelos 8.102 del Manual de Carreteras.

- 1) Granulometría y clasificación USCS; especificando el tipo de sedimento
- 2) Estratigrafía
- 3) Límites de Atterberg
- 4) Peso específico
- 5) Determinación de Diámetros característicos d_{16} , d_{50} , d_{84} y d_{90} .

Los resultados de estos ensayos se resumen en la tabla a continuación.

Tabla 0-1. Densidad, Límite Líquido, Límite Plástico, Índice de Plasticidad de y %Gravas, %Arenas y % Finos

Prospección	Horizonte m	Gravas %	Arenas %	Finos %	Densidad Partículas Sólidas (g/cm ³)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)
CA SW 01	0,60-2,00	42	56	2	2,65	19	Impracticable	NP
CA SP 02	0,00-0,60	51	45	4	2,633	19	Impracticable	NP
CA SP 02	0,60-2,00	48	50	2	2,642	19	Impracticable	NP
CA SW 03	0,30-2,00	44	53	3	2,641	20	Impracticable	NP
CA SW-SM 04	0,90-2,00	19	76	5	2,622	20	Impracticable	NP
CA SP 05	0,90-2,00	43	54	3	2,641	19	Impracticable	NP
CA SP 06	1,20-2,00	53	46	1	2,663	19	Impracticable	NP
CA GP 07	0,70-2,00	64	34	2	2,653	20	Impracticable	NP
CA SW-SM 08	0,00-1,00	7	87	6	2,632	20	Impracticable	NP
CA GP 08	1,00-1,50	69	30	1	2,661	19	Impracticable	NP

CA SW 08	1,50-2,00	32	66	2	2,643	20	Impracticable	NP
CA GP 09	1,00-1,50	61	36	3	2,652	19	Impracticable	NP
CA SW 10	1,50-2,00	30	67	3	2,631	19	Impracticable	NP
CA SW 11	1,30-2,00	9	88	3	2,601	20	Impracticable	NP
CA SW 12	0,00-2,00	20	77	3	2,623	20	Impracticable	NP
CA GP 13	1,50-2,00	89	9	0	2,641	19	Impracticable	NP
CA SW 14	0,50-1,50	75	16	0	2,651	20	Impracticable	NP
CA SP-SM 15	0,00-0,60	11	82	7	2,643	19	Impracticable	NP
CA SP 15	1,00-1,50	60	40	0	2,642	20	Impracticable	NP
CA SP 16	0,00-2,00	69	14	0	2,623	20	Impracticable	NP
CA GP 17	0,00-1,50	74	13	0	2,633	19	Impracticable	NP
CA MH 18	0,50-1,00	16	84	0	2,602	58	33,0	25
CA SP 19	0,00-1,00	76	14	0	2,661	19	Impracticable	NP

Como resultados generales se tiene que para la totalidad de la Quebrada de Acha, la proporción de gravas, arenas y finos corresponden a un 46,17%, 49,43% y 2,17% respectivamente.

A su vez, resulta interesante estudiar diferencias en la composición granulométrica del suelo para estrato superficial (primera capa de extracción de muestras, usualmente menores a 1 metro de profundidad) y el estrato profundo (última porción de las calicatas, cercano a 2 metros de excavación) según el kilómetro de avance del *talweg*. Las gravas son mayoritarias en el estrato superficial para los primeros 20 kilómetros aguas arriba del *talweg* y los diámetros característicos de la cuenca son los mayores en este sector, entre los 20 kilómetros y el tramo final predomina en la superficie la matriz arenosa de carácter limoso, reduciendo también así los diámetros característicos. En el horizonte profundo la proporción de grava asciende para ser la proporción mayoritaria a 24 kilómetros aguas arriba, mientras que en el resto de la quebrada aguas abajo la proporción de arenas y gravas se alterna de acuerdo con los resultados de las calicatas en este tramo. Para ambos estratos la composición de finos se mantiene mínima, cercana entre 2 y 3 por ciento.

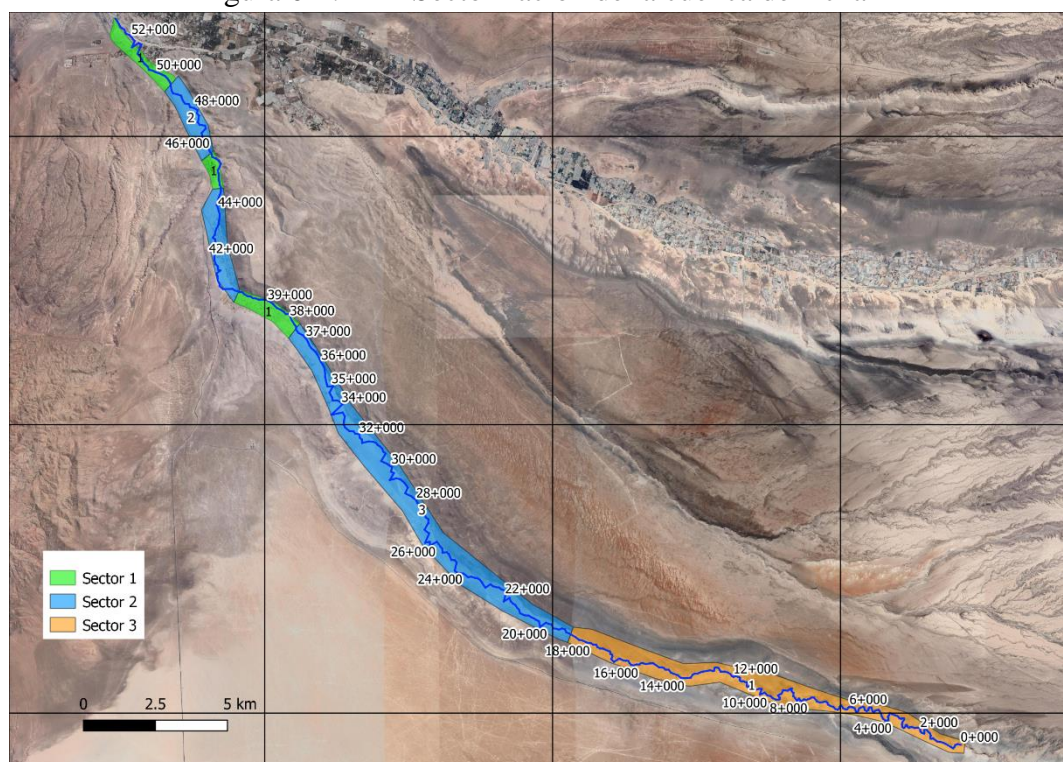
0.3 Estudio Dinámica Fluvial

De acuerdo con la recopilación de antecedentes y las visitas al sector, la quebrada de Acha se puede comprender en tres sectores geomorfológicos, descritos por notación como S₁, S₂ y S₃, como se muestra en la Figura 0-4.

- 1) El sector S₁ abarca zonas urbanas y sus riberas están confinadas por construcciones de casas o límites de propiedades. Se concentra la mayor cantidad de intervenciones estructurales al cauce del río Acha.
- 2) El sector S₂ presenta un escurrimiento que se comporta como río trezado, donde no es posible definir un único cauce principal, superando en algunos puntos un ancho entre riberas de 300 metros, mientras que las pendientes del *talweg* que cruzan el área varían entre 1,2 y 1,8%. En esta zona se concentra la mayor parte de disponibilidad de sedimentos a ser movilizados, lo cual es evidente por la existencia de zonas embancadas y socavadas donde se produce apozamiento de agua.
- 3) El sector S₃ se caracteriza por un cauce angosto y profundo con riberas claramente definidas con anchos entre 20 y 30 metros, y sus pendientes varían entre 1,8% hasta un máximo de

3,4%. Las laderas de cerros aledaños se encuentran acorazados por sedimento grueso con escasas de fracción fina, observándose bolones, gravas y rocas.

Figura 0-4. Sectorización de la cuenca de Acha



Considerando la abundante disponibilidad de material en el sector S_2 en comparación con los otros dos sectores, se concluye que el primero se encuentra en equilibrio sedimentológico, por lo que la cantidad de sedimentos que entra es de orden de magnitud similar a la que sale.

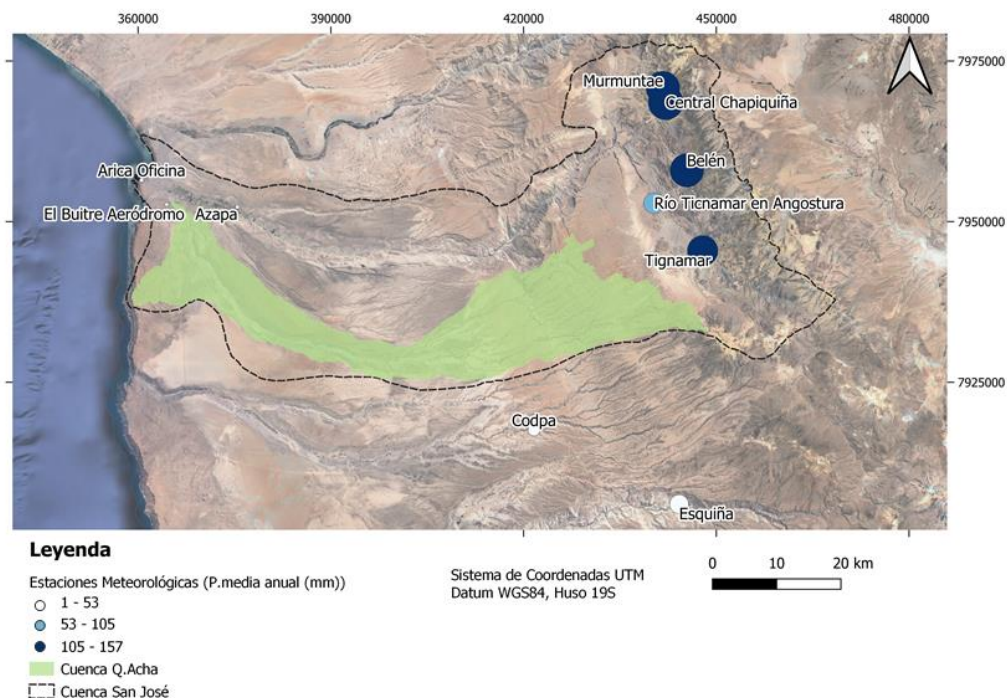
Los antecedentes estudiados muestran que desde el año 2004 se ha aumentado la superficie construida en el sector de Cerro Sombrero y en el Poblado de Acha, aumentando a la fecha en un 101% y en 507% respectivamente. Desde el mismo año, se aprecia la existencia de badenes en la red vial existente desde el Poblado de Acha hacia aguas abajo, un puente vial en el kilómetro 51+150 del *talweg* que no cumple los límites de revancha actuales y provoca un notable estrechamiento del cauce en este punto. Existe otro puente en el kilómetro 43+200 de 30 metros de largo que enfrenta la misma situación.

En el año 2016 se aumentó la construcción de defensas ribereñas en base a enrocados y gaviones, angostando a 30 metros la sección frente al Centro Penitenciario Arica, en el kilómetro 45+000. En este sector se observa una importante excavación a la ribera este del río, actuando como amortiguador del *peak* de las crecidas acumulando volumen de flujo.

0.4 Estudio Hidrológico

La dificultad del análisis hidrológico de la quebrada de Acha reside en la escasez de estaciones fluviométricas y pluviométricas que cuenten con datos para aplicar las metodologías pertinentes, por lo cual se deben utilizar estaciones que cubran la totalidad de la cuenca estudiada y realizar aproximaciones y transposiciones de caudales para extrapolar los datos.

Figura 0-5. Estaciones meteorológicas utilizadas para caracterizar la quebrada de Acha



Además al estudio de tormentas sintéticas, se revisan eventos pasados que tuvieron una significancia importante dentro del historial de crecidas que experimenta la zona, donde se encontró documentado el evento de inundación ocurrido entre el 26 de enero y 21 de febrero de 2019, caracterizado por lluvias más o menos ininterrumpidas que elevaron la isoterma cero entre 5400 y 5500 m.s.n.m. El evento registró inundación, importantes flujos detríticos y una inundación y asiló el sector de Cerro Sombrero de la ciudad de Arica. La crecida inundó también importantemente los predios agrícolas aledaños y el Campamento Coraceros, asentamiento sin regularización de viviendas ligeras.

La delimitación del área inundada de esta crecida se realizó por parte del Sernageomin con dos vuelos de dron, cuyo emplazamiento se presentó en la Figura 0-1.

Se aplican el Método Racional y transposición de caudales para estimación de caudales a través de métodos empíricos según los incisos respectivos en el Manual de Carreteras Volumen 2, y un modelo hidrometeorológico utilizando el sistema de modelación HEC-HMS.

La tabla final de caudales para la cuenca, asociadas a distintos periodos de retorno se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 0-2. Caudales de diseño para distintos periodos de retorno según transposición y modelo

T (años)	Caudal (m³/s)		
	Método Racional	Transposición Área - Pp	HEC-HMS
2	-	3,0	0,0
5	-	8,4	6,5
10	-	15,4	16,2

25	-	30,6	33,9
50	45,3	49,0	50,4
100	70,4	76,2	69,2
150	90,1	97,5	81,1
200	135,2	115,7	89,6
300	-	146,4	-

0.5 Estudio Hidráulico de Crecidas

El estudio hidráulico se divide en dos metodologías, siendo el sector desde los 33+250 kilómetros hasta la desembocadura donde se realiza el análisis bidimensional por medio del *software* Flo-2D, mientras que el análisis unidimensional se considera en toda la zona de estudio. Se plantea además determinar la capacidad hidráulica de los puentes existente en el cauce mediante el *software* HEC-RAS, dichos puentes son el Puente Cerro Sombrero a 51+150 kilómetros y el Puente en Ruta A-301 en el kilómetro 43+200, ambos construidos en base a cajones de hormigón de 2x2 metros. El periodo para analizar el comportamiento hidráulico del escurrimiento se toma para periodos de retorno entre 2 a 200 años, los parámetros necesarios para la utilización de las herramientas de los softwares de cálculo como características geométricas del cauce, se toma desde la medición Lidar.

El análisis uni y bidimensional permite determinar las siguientes conclusiones respecto de la hidrodinámica de los tramos estudiados, y de la interacción de un evento de crecida asociado a distintos periodos de retorno con la infraestructura identificada:

En las zonas urbanas en la vecindad del Cerro Sombrero, las inundaciones para un periodo de retorno superior a 25 años muestran una gran dispersión del escurrimiento y presentan riesgos para la infraestructura local, movilidad, comunicaciones, etc.

Los puentes viales se mantienen operativos para periodos de retorno cercanos a los 10 años de periodo de retorno, incumpliendo la revancha mínima para retornos superiores, y para caudales por sobre 34,6 m³/s que corresponden a periodos de retorno desde los 25 años, las estructuras se ven forzadas a trabajar en presión, recibiendo flujo de agua pasante por los cajones de hormigón y sobre el tablero estructural.

En el poblado de Acha, entre 38+000 y 40+000 kilómetros, el cauce está confinado hacia la cadena de cerros que confinan el valle por la ribera este, angostando el cauce y produciéndose velocidades mayores a 4 m/s para periodos de retorno de 100 años (los considerados para diseño permanente de estructuras), provocando importantes inundaciones hacia los predios contiguos a partir de retornos iguales y mayores a 50 años.

Se muestra como ejemplo, el resultado de la superficie de inundación abarcada según el modelo bidimensional para distintos periodos de retorno de interés en el sector de Acha Medio. También se adjuntan los resultados de altura y velocidad de flujo de agua para la misma zona en la Figura 0-7 y la Figura 0-8 para el periodo de retorno de 100 años, que es la situación de diseño para las obras estructurales que se revisarán en las medidas de remedio fluvial propuestas.

Figura 0-6. Mancha de inundación para periodos de retorno en sector Acha Medio

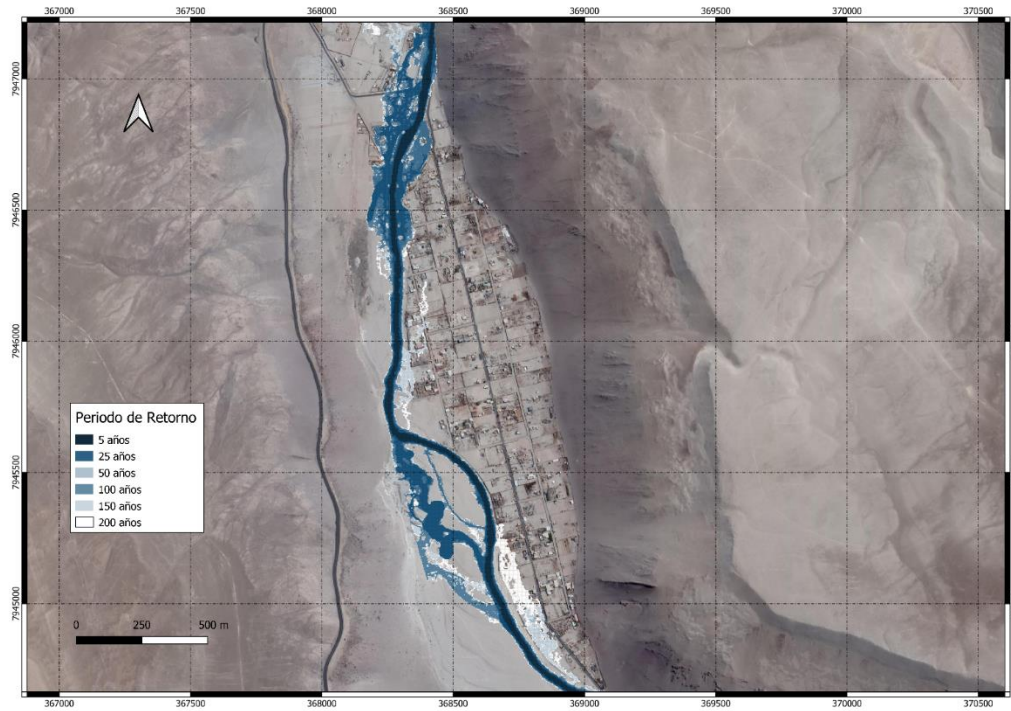


Figura 0-7. Altura de escurrimiento en Acha Media

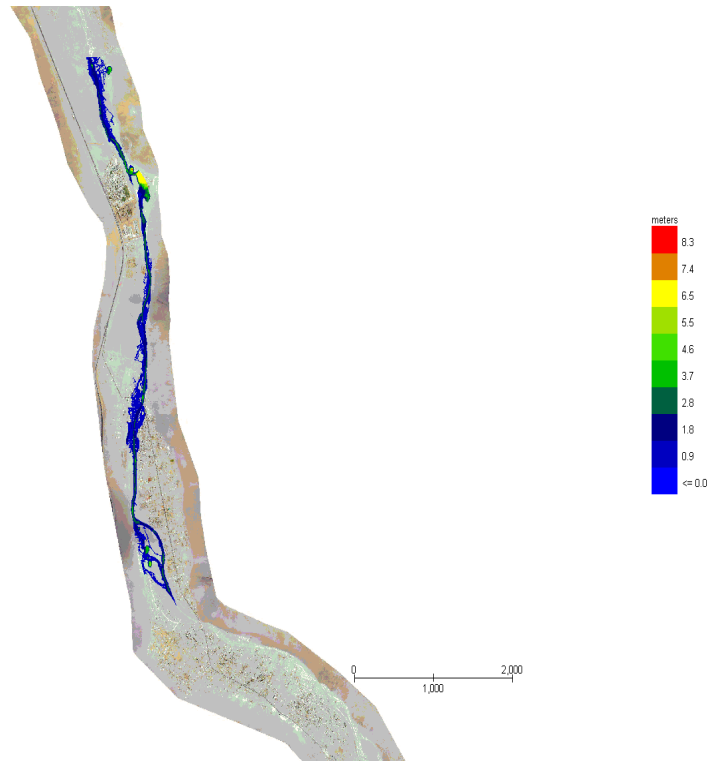
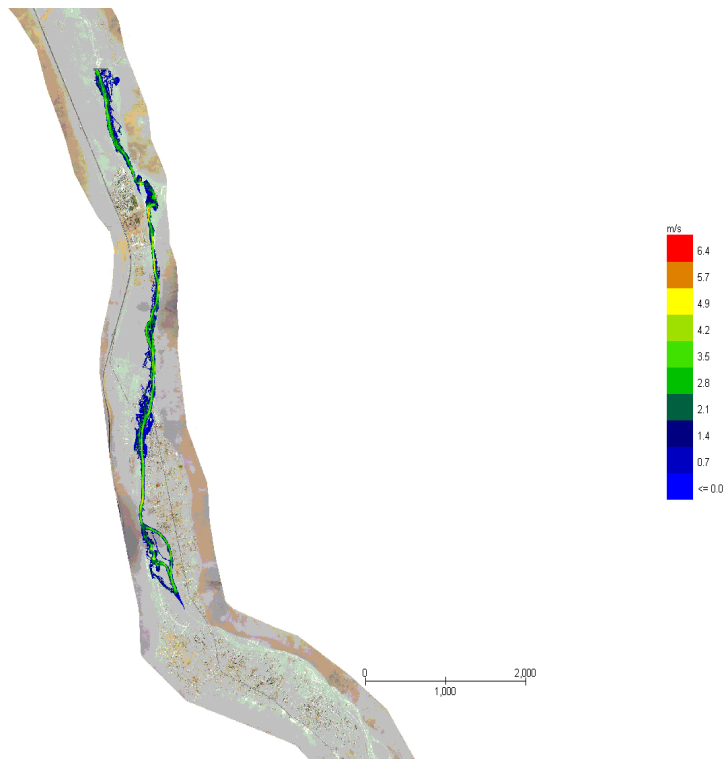


Figura 0-8. Velocidad de escurrimiento en Acha Media



0.6 Diagnóstico de Vulnerabilidad

El diagnóstico integral de la vulnerabilidad de la infraestructura existente se lleva a cabo tomando los resultados del modelo bidimensional, utilizando los parámetros de profundidad y la velocidad del flujo simulado, para distintos periodos de retorno.

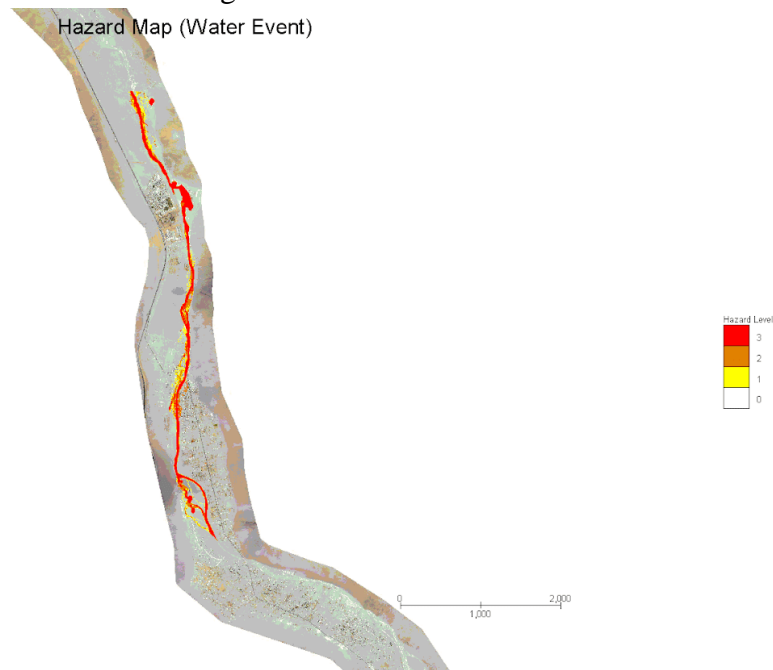
Tabla 0-3. Criterios para evaluación cualitativa de vulnerabilidad

Criterio	Parámetro Hidráulico Por Inundación o Aluvión	
	h (m)	v*h (m ² /s)
Alto	≥ 1	≥ 1.5
Medio	$0.5 \leq h < 1$	$0.5 \leq v \cdot h < 1.5$
Bajo	$0.1 \leq h < 0.5$	$0.1 \leq v \cdot h < 0.5$

Las figuras con las áreas de vulnerabilidad para cada periodo de retorno se muestran en totalidad en el Capítulo 8 de Diagnóstico de Vulnerabilidad. Tomando el periodo de retorno de 100 años en la zona de Acha Baja en el sector de Cerro Sombrero donde se concentra la zona urbana mayor, se tiene como muestra la siguiente figura.

Se muestra como ejemplo, el resultado de evaluación de vulnerabilidad para el sector de Acha Medio para un periodo de retorno de 100 años.

Figura 0-9. Identificación de las zonas según índice de vulnerabilidad calculado



0.7 Modelación Numérica Situación con Obras

El análisis hidráulico fluvial desarrollado con el modelo bidimensional se lleva a cabo, como se mencionó en el punto anterior, desde el kilómetro 33+250 hasta la desembocadura del río realizado con el *software* Flo-2D. En este punto se lleva a cabo la modelación considerando las soluciones propuestas para resolver las zonas de peligro aluvional, o fuera de norma, identificadas en los puntos anteriores.

Las medidas sobre las cuales se modeló el escurrimiento para distintos periodos de retorno son las siguientes:

- 1) Tres defensas ribereñas longitudinales: Compuestas de enrocados que impiden la inundación más allá de las riberas del cauce.
- 2) Puente en Reposición Ruta A-133 (Cerro Sombrero): Un nuevo puente que conecte las riberas del Río Acha.
- 3) Puente en Ruta A-301: Expansión de la luz del puente actual y consecuente ensanchamiento de la ribera del cauce en dicho punto.
- 4) Rebajes Ribereños
- 5) Zona de Restricción

Los resultados de este análisis corresponden a capas vectoriales de velocidad y altura de agua para las zonas estudiadas, de los cuales se muestran las figuras para la zona de Acha Medio.

Figura 0-10. Velocidad frente a construcción de defensa en Acha Media

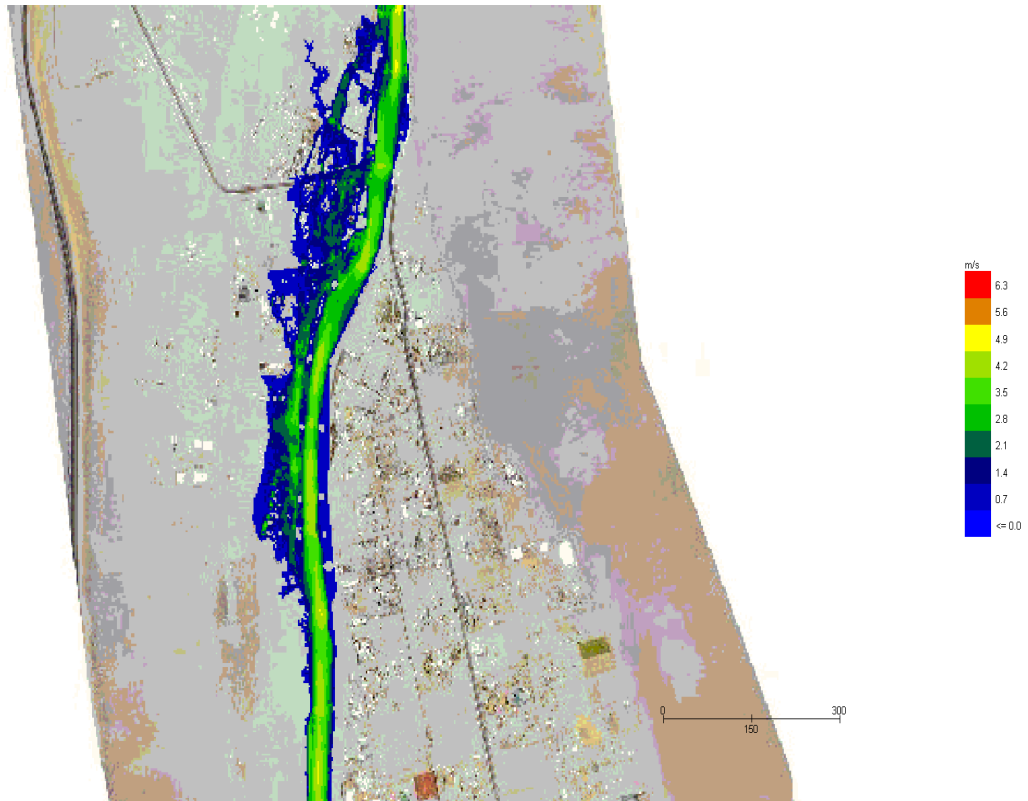
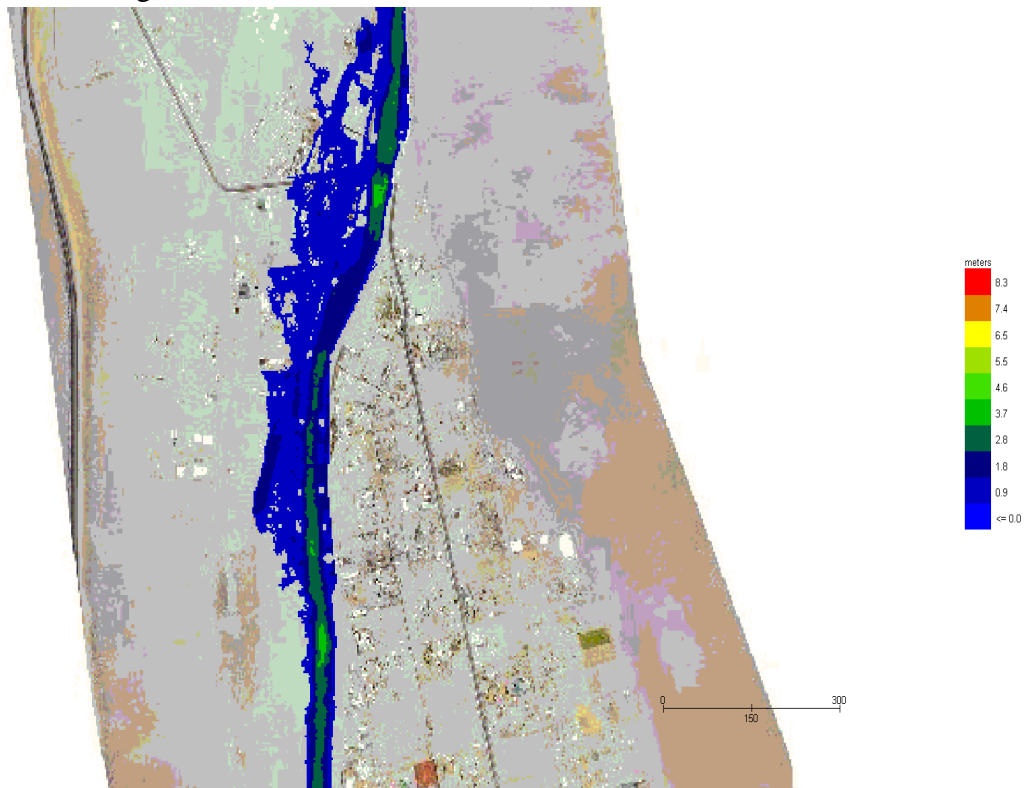


Figura 0-11. Altura de agua frente a construcción de defensa en Acha Media



0.8 Medidas Estructurales

Las medidas modeladas en el punto anterior se dividen en Estructurales y No Estructurales, para ser detalladas a cabalidad en el Capítulo 10 donde se detallan, a modo de prediseño, sus medidas y procesos de cálculo. Las medidas estructurales corresponden a las obras que tienen directa intervención en el lecho del río Acha, las cuales corresponde a las defensas de enrocados y la intervención a puentes.

Las tres defensas de enrocados se diseñaron considerando tipo de talud, tamaño y distribución granulométrica de las rocas, extensión de enrocado en ribera a proteger, así como lo elementos constructivos típicos expuestos en el punto 4.501.001 para enrocados de protección en el Manual de Carreteras. Un resumen de las características de las defensas se encuentra en la tabla a continuación.

Tabla 0-4. Características generales de las defensas de enrocado propuestas

Sector	Longitud defensa	Velocidad de diseño (m/s)	Peso enrocado (kg)	Diámetro enrocado (m)	Talud (H:V)
Acha Baja	1210	3,95	835	0,72	2,5:1
Acha Medio	450	3,64	1243	0,82	2:1
Acha Alto	470	2,9	312	0,5	2:1

Tabla 0-5. Distribución granulométrica para las defensas propuestas

SECTOR	ACHA BAJA		ACHA MEDIO		ACHA ALTA	
	Diámetro Nominal (mm)	Peso (Kg)	Diámetro Nominal (mm)	Peso (Kg)	Diámetro Nominal (mm)	Peso (Kg)
100% menor que	1200	2398	1200	2398	900	1012
a lo menos 20% mayor que	900	1012	900	1012	650	381
a lo menos 50% mayor que	750	585	750	585	550	230
a lo menos 80% mayor que	500	173	500	173	350	59

Continuando con ejemplificar los resultados de capítulo con el sector de Acha Medio, se presenta un corte transversal en la longitud del enrocado que muestra los elementos constructivos pertinentes, y una vista en planta que muestra su disposición.

Figura 0-12. Vista transversal de defensas de enrocados en Acha Media

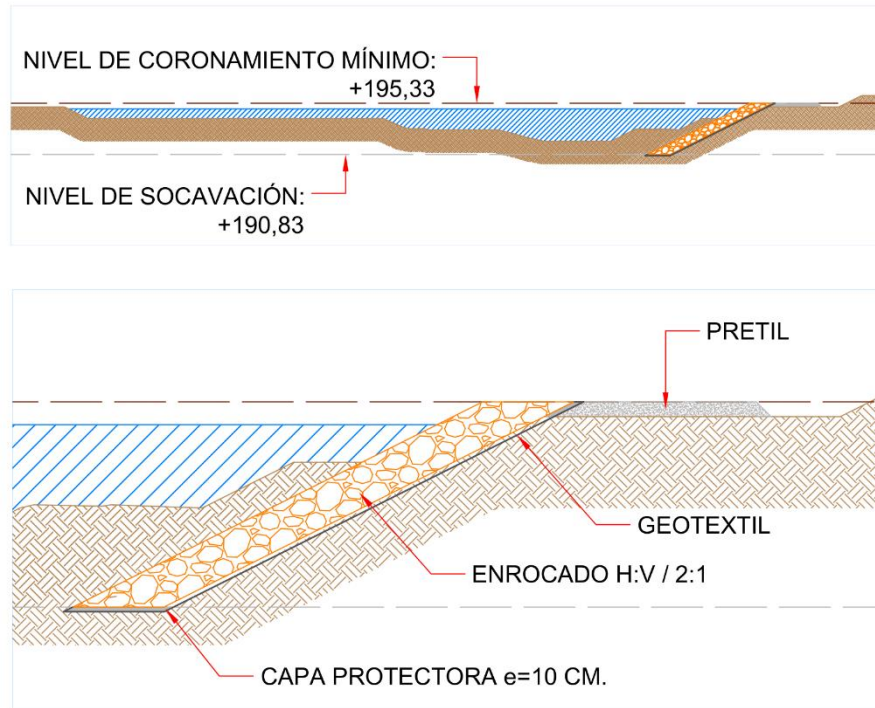
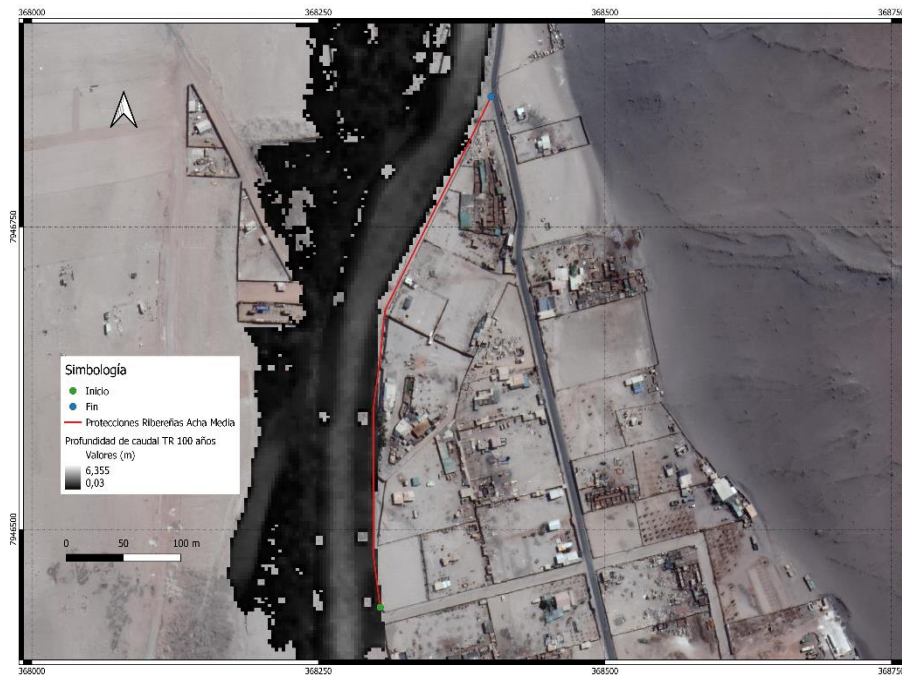


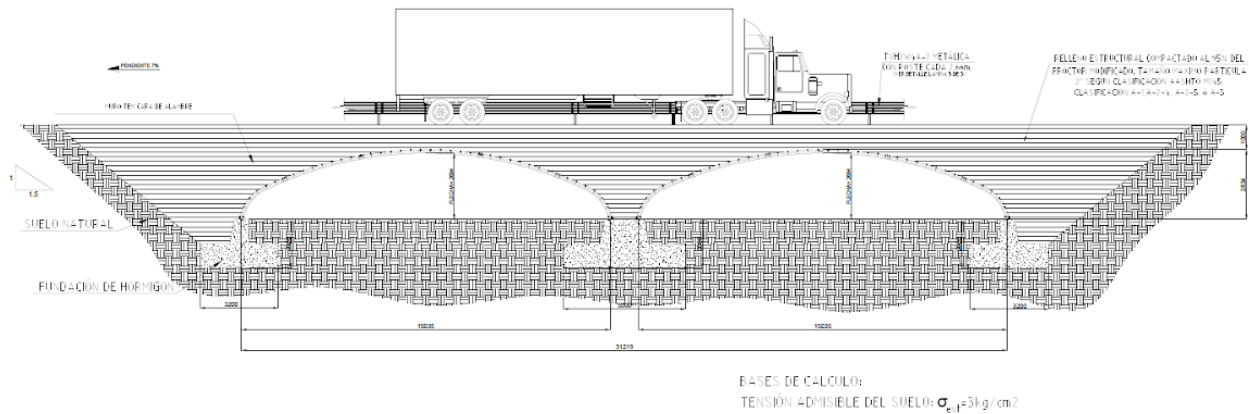
Figura 0-13. Vista en planta de defensa de enrocado en Acha Media



Por otro lado, las medidas estructurales correspondientes a las intervenciones a los puentes se enfrentaron por medio de un estudio de factibilidad encargado a la empresa Tecnovial de soluciones de obras públicas para el puente en Cerro Sombrero, y un análisis de estudio propio como propuesta frente al modelamiento del flujo en la zona de Acha Media para el Puente en Ruta A-301.

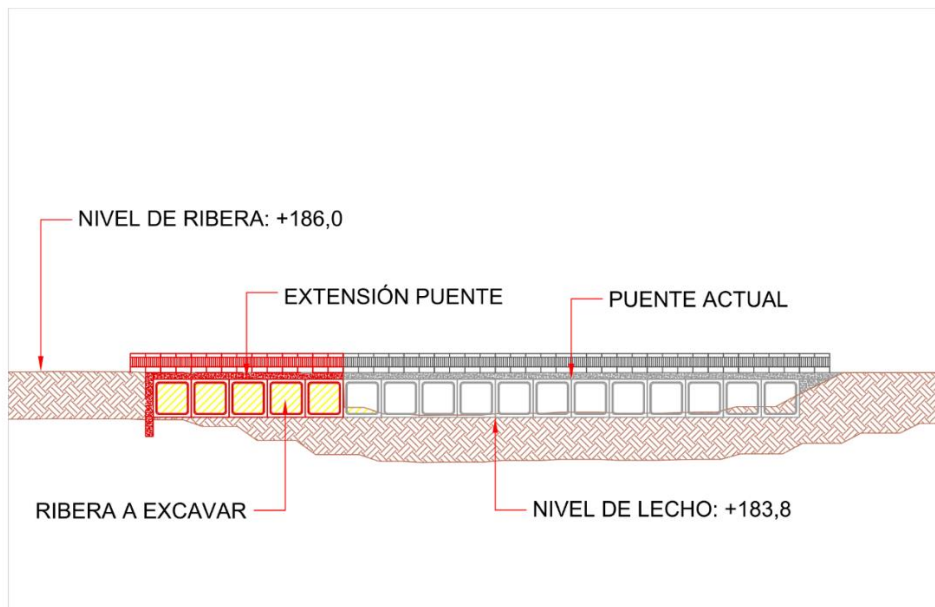
La propuesta de Tecnovial para el puente Ruta A-133 consiste en la estabilización de los terraplenes por medio de muros de tierra armada, mientras que la losa del puente consistente de un relleno estructural y una carpeta de concreto asfáltico de rodadura se sostiene por dos arcos de acero estructural de corrugación profunda de medidas 381X140 mm. Una vista longitudinal del puente se aprecia en la siguiente figura.

Figura 0-14. Vista transversal de puente en Ruta A-133 propuesto



El Puente en Ruta A-301 se extiende en 10 metros de su luz original de 30 metros, lo que se lleva a cabo ensanchando la ribera oeste del cauce del río Acha, más la instalación de 40 cajones de hormigón de 2x2 metros (con 2 metros de ancho colaborante) para completar el ancho del puente de 16 metros, considerando también un nuevo estribo. Los elementos como desarme de la estructura vial existente y movimientos de tierra de la ribera excavada se estiman de acuerdo con los perfiles transversales de elevación del terreno natural y serán considerados en las cubicaciones del apartado de presupuestos.

Figura 0-15. Vista transversal de extensión de puente en Ruta A-301 propuesta



0.9 Medidas No Estructurales

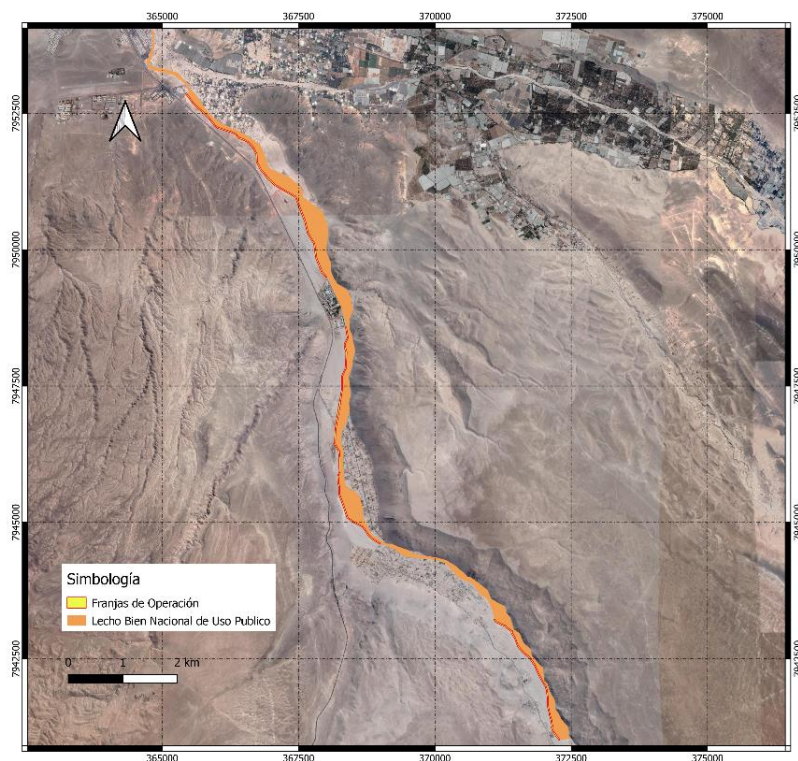
Las medidas no estructurales, a diferencias de las medidas estructurales citadas anteriormente, implican que no existe intervención directa en el territorio, y se concentran en la planificación de terreno, demarcación de zonas de exclusión, etc.

Las medidas propuestas dentro de este capítulo son las siguientes:

- 1) Delimitación de cauce por inundación
- 2) Franja de operación
- 3) Delimitación de áreas de inundación
- 4) Rebajes ribereños
- 5) Zona de restricción

La delimitación del cauce permite determinar el curso natural de aguas, incorporando esta franja delimitada al catastro de Bienes Nacionales de Uso Público, lo que como efecto práctico permite prohibir la construcción de cualquier tipo de infraestructura que no estén debidamente justificadas.

Figura 0-16. Superficie de franja de operación y lecho del rio Acha

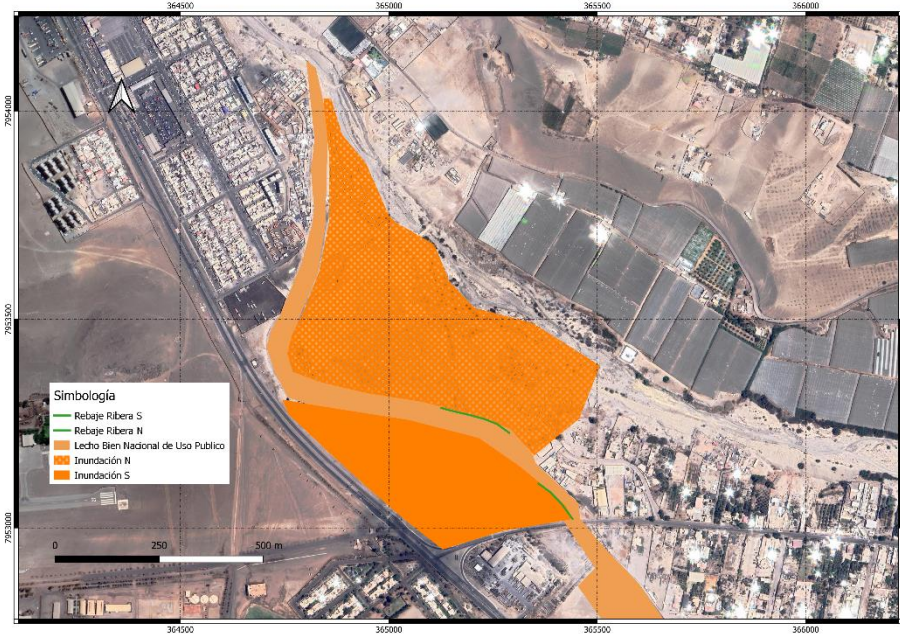


La franja de operación corresponde a un sobrancho de aproximadamente 20 metros destinado a la circulación de personal y maquinaria que requiera hacer intervenciones en el lecho del río de diverso tipo.

Las áreas de inundación corresponden a la superficie natural que cubre el desbordamiento del cauce del Río Acha, y cuya identificación y limpieza permite que el resto del escurrimiento aguas abajo circule de una forma controlada, sin afectar a la población aledaña. Estas zonas corresponden también a la categoría de zonas de restricción. En la Figura 0-17 se pueden observar también los

rebajes ribereños (en verde) que buscan facilitar el circulamiento de la crecida dentro de los límites proyectados del área de inundación

Figura 0-17. Superficie para zonas de inundación y rebajes ribereños



Las zonas de restricción corresponden a cinco sectores donde se considera crítico establecer una prohibición explícita de la construcción de viviendas de cualquier tipo, dado los patrones de inundación de caudales, dos de estos corresponden a las ya mencionadas zonas de inundación, mientras que los tres restantes representan zonas del desbordamiento del cauce alcanza a predios aledaños y afecta directamente cualquier intención de residencia permanente.

Figura 0-18. Superficie para zonas de restricción en Acha Alta

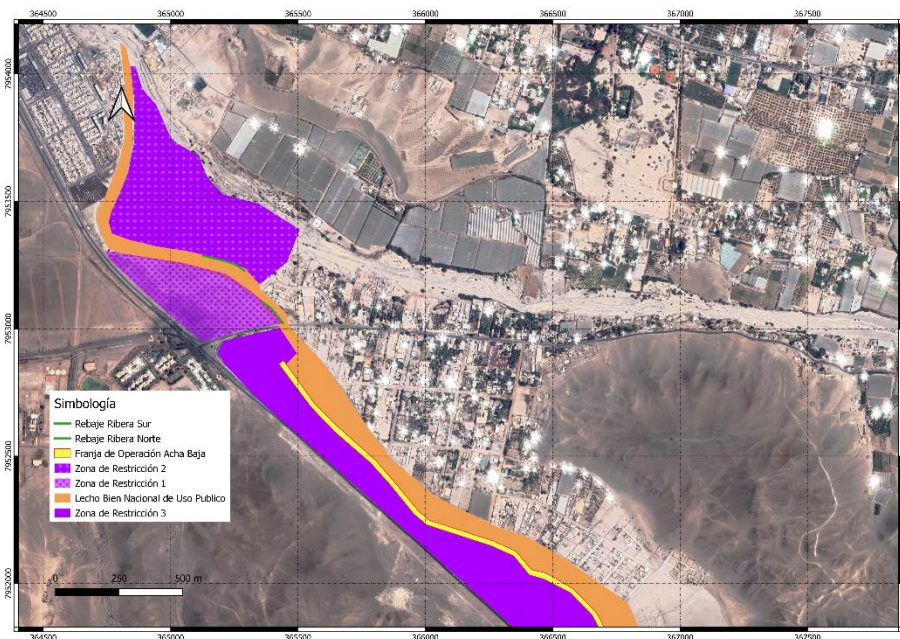
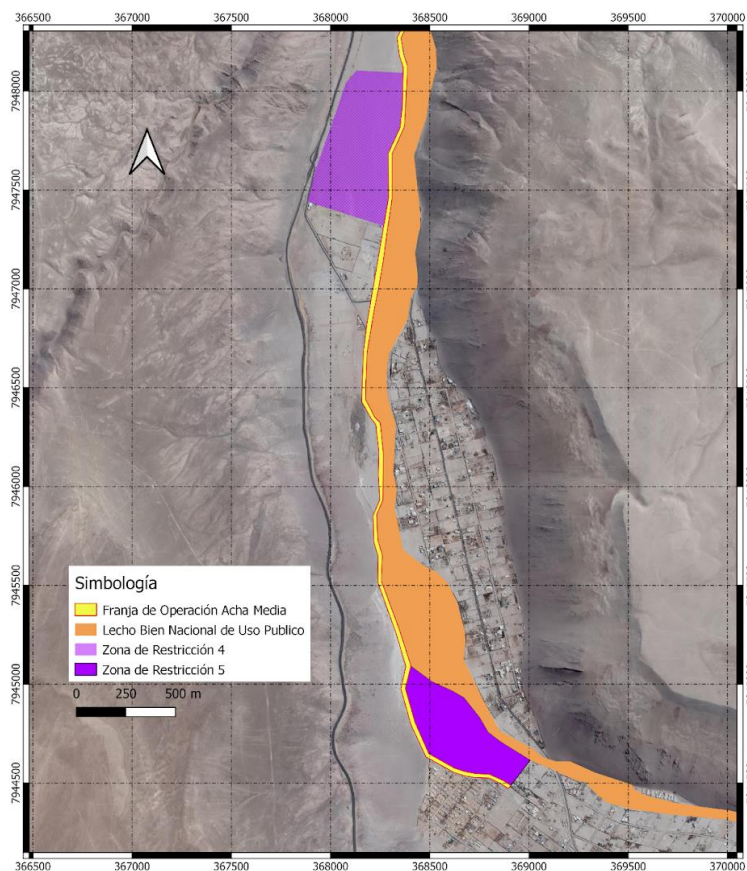


Figura 0-19. Superficie para zonas de restricción en Acha Media



0.10 Análisis Mecánica Fluvial

Se realiza un estudio cualitativo del comportamiento del cauce a lo largo de toda el área de estudio, con el objetivo de identificar las zonas con tendencia a erosionar, las zonas de depositación de sedimentos, etc. El análisis se lleva a cabo con el *software* HEC-RAS 6.0.

Se realiza una sectorización del cauce como en la Figura 0-20, por medio de las superficies S1, S2 y S3:

- 1) Sector 1: Cauce con sección definida producto de la intervención antrópica.
- 2) Sector 2: Cauce con sección transversal amplia, alta presencia de brazos y escurrimientos secundarios.
- 3) Sector 3: Cauce altamente encajonado con alta pendiente.

Figura 0-20. Sectorización para análisis de mecánica fluvial

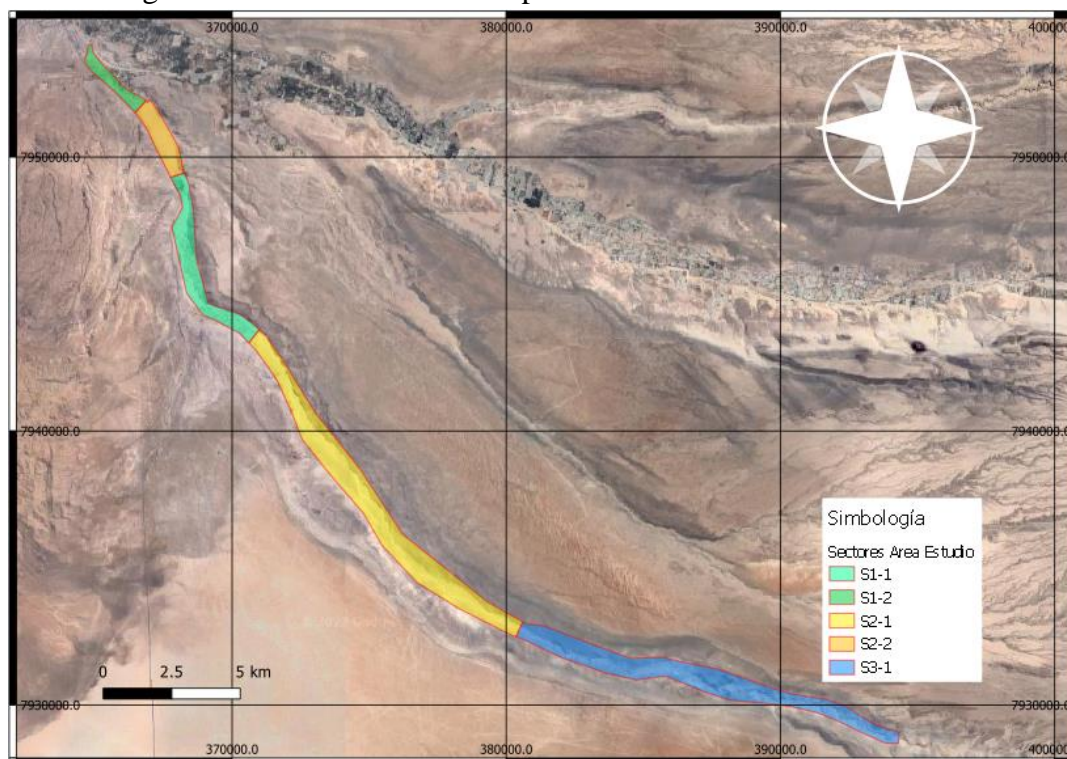


Tabla 0-6. Sectorización del cauce para análisis mecánico fluvial.

ID Sector	Descripción	Longitud (km)	Perfil HECRAS
S3-1	Cauce encajonado de forma natural.	20,0	49981 a 29951
S2-1	Cauce de sección amplia con múltiples brazos.	15,9	29951 a 14037
S1-1	Cauce encajonado de forma artificial, cercano a asentamientos urbanos.	7,6	14037 a 6473
S2-2	Cauce de sección amplia con múltiples brazos.	3,1	6473 a 3338
S1-2	Cauce encajonado de forma artificial, cercano a asentamientos urbanos.	3,3	3338 a 0

Con lo anterior y determinando los parámetros necesarios por medio del análisis de las fórmulas de socavación, sedimentación y depositación, se obtiene el aporte sedimentológico estimado anual según las cuencas determinadas anteriormente.

Tabla 0-7. Aporte sedimentológico estimado anual

	Sector	Método		Promedio
		USBR	Tasa Regional US	
APORTE CUENCA (m³/Anuales)	S3-1	193516	140568	167042
	S2-1	221050	167040	194045
	S1-1	243111	188976	216044
	S2-2	247622	193536	220579
	S1-2	258256	204384	231320

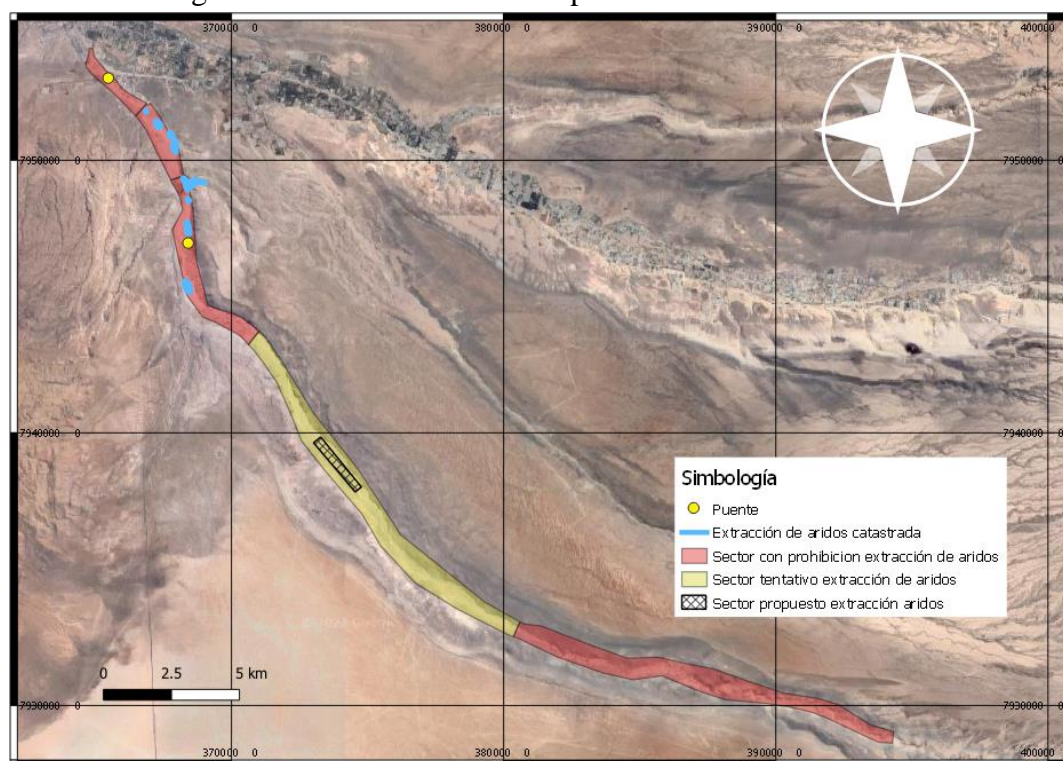
De los resultados anteriores, en términos de socavación general se observa la mayor erosión en el sector 2-1, con gran acumulación de sedimentos finos. Considerando ahora la socavación local, las porciones del *talweg* donde se encuentran los puentes se encuentran en una situación desfavorable para eventos de crecidas con periodos de retorno superiores o iguales a 10 años, como consecuencia del estrechamiento del cauce que cauce la luz de los puentes, provocando aceleración del flujo y aumentando la erosión en dichos puntos.

Con respecto al transporte de sedimentos, la mayor parte de la generación de volumen se concentra en la zona alta correspondiente al Sector 3.

Debido a la concentración de zonas urbanas en el Sector 1, se prohíbe la extracción de árido en esta zona. Además, el Sector 3 tiene la pendiente más alta de la cuenca de la quebrada de Acha, y por lo tanto tampoco es recomendable extracción de material en dicha zona. Solo el Sector 2-1 reúne condiciones necesarias como baja pendiente y aumento de sección transversal como para proyectarse como la localización de las obras de extracción de áridos necesarios para el resto de las obras propuestas en la quebrada de Acha.

Una exposición de los sectores finales a considerar para la extracción de áridos se observa en la figura a continuación.

Figura 0-21. Sectorización para extracción de áridos



0.11 Análisis Ambiental

Dada la presentación de medidas propuestas para la zonificación de la quebrada de Acha, de acuerdo con el análisis hidrológico realizado, se han propuesto medidas de carácter estructural y no estructural las que se han evaluado considerando sus implicancias y consideraciones ambientales.

Como medidas no estructurales más críticas se ha definido una zonificación de la quebrada que implica el realizar refuerzos a las viviendas ubicadas en zonas de restricción el cual considera, mientras que para las medidas estructurales se han identificado 6 potenciales impactos sobre los componentes suelo, flora y vegetación, fauna terrestre, patrimonio cultural, paleontología y medio humano que deben ser estudiados a través del levantamiento de líneas de base para determinar si su magnitud y las medidas tendientes a su minimización.

La zonificación de la quebrada, por sus medidas estructurales y no estructurales, y dadas las implicancias ambientales asociadas a las componentes mencionadas, debe ser sometido a un proceso de evaluación de impacto ambiental al SEIA. Para confirmar la forma de ingreso, se sugiere realizar líneas de base que permitan caracterizar los componentes y determinar así los potenciales impactos que pudieran generarse.

En términos de Permisos Ambientales Sectoriales, se han identificado a lo menos 4 que se mencionan a continuación

- 1) PAS 140: Para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase (artículo 140 RSEIA).
- 2) PAS 142: Para todo sitio destinado al almacenamiento de residuos peligrosos (artículo 142 RSEIA).
- 3) PAS 157: Permiso para efectuar obras de regularización o defensa de cauces naturales (artículo 157 RSEIA). Se identifica este permiso para la Alternativa A1, considerando que deban realizarse obras de canales de contorno.
- 4) PAS 160: Permiso para subdividir y urbanizar terrenos rurales o para construcciones fuera de los límites urbanos (artículo 160 RSEIA).

0.12 Presupuesto Estimativo

El presupuesto estimado de las propuestas estructurales se detalle en el capítulo correspondiente en el cuerpo del informe, con desglose de precios unitarios y cifras totales de cubicación para cada elemento listado en el proceso constructivo de dichas soluciones. En este punto se presentan los precios totales de cada una de las medidas expuestas por medio de la tabla a continuación.

Tabla 0-8. Presupuesto estimativo con precio total para cada medida estructural propuesta

Ítem	MEDIDA ESTRUCTURAL PROPUESTA	P. TOTAL (\$)
1	Defensa Fluvial Enrocado Acha Baja	
	TOTAL NETO (\$)	\$ 948.145.382
	TOTAL NETO (UF)	\$ 28.736,15

2	Defensa Fluvial Enrocado Acha Media	
	TOTAL NETO	\$ 447.377.669
	TOTAL NETO (UF)	\$ 13.559,01
3	Defensa Fluvial Enrocado Acha Alta	
	TOTAL NETO	\$ 562.540.052
	TOTAL NETO (UF)	\$ 17.049,32
4	Restitución Puente Ruta A-133 Acha Baja	
	TOTAL NETO	\$ 963.936.000
	TOTAL NETO (UF)	\$ 29.214,72
5	Expansión Puente A-301 Acha Media	
	TOTAL NETO	\$ 307.523.962
	TOTAL NETO (UF)	\$ 9.320,36

Los valores en UF corresponden al 24 de junio de 2022.

0.13 Evaluación Técnica Económica

Se aplica la versión actualizada de “Metodología de Preparación y Evaluación de Proyecto de Defensas Fluviales” para determinar la rentabilidad y periodo de retorno de diseño de inversiones para las obras de defensas fluviales propuestas para la cuenca de Acha.

Las defensas fluviales en los sectores de Acha Baja, Media y Alta presentada en el Capítulo 10, resulta rentable bajo la metodología del MIDESO, con un VAN social igual a 3.856.293 UF.

El análisis de sensibilidad muestra que se requiere un aumento de los montos de inversión social por sobre un 4240% para que la obras dejen de ser rentables.

Con los antecedentes que se disponen, este Consultor recomienda la construcción del proyecto evaluado, debido a la alta rentabilidad social resultante.