



**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS**

CARACTERIZACIÓN Y MANEJO DE CAUCE DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y VILAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

RESUMEN EJECUTIVO

DICIEMBRE 2021



CARACTERIZACIÓN Y MANEJO DE CAUCES DE LOS RÍO SAN PEDRO Y VILAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

RESUMEN EJEUTIVO

REGISTRO CONTROL DE CALIDAD Nombre y Firma de los Profesionales

NOMBRE	CARGO EN LA CONSULTORA	FIRMA
Sandra Pérez Aros	Jefa de Proyecto	
Christian González Torres	Especialista Hidráulica Fluvial	
Luis Estellé Aguirre	Especialista Hidrología	
Felipe Collado Lizama	Especialista en modelación Hidráulica Matemática de Crecidas	
Wilson Ureta Parraguez	Especialista en Evaluación Económica	
Enson Cristian Labraña	Especialista en Mecánica de Suelos y Geotecnia	

CARACTERIZACIÓN Y MANEJO DE CAUCES DE LOS RÍO SAN PEDRO Y VILAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

RESUMEN EJEUTIVO

REGISTRO CONTROL DE CALIDAD Nombre y Firma de los Profesionales

NOMBRE	CARGO EN LA CONSULTORA	FIRMA
Jaime Villanueva Álvarez	Especialista en Geomensura	
Claudia Lizana Zapata	Jefa de EAA	
Marcelo Hurtado Fuentes	Especialista en Biota	
Víctor Zúniga Pérez	Especialista en Medio Social / Encargado de Participación Ciudadana Titular	
Rolando Ajata López	Especialista en Arqueología	
Catalina Eastman Mendoza	Especialista en Cartografía	

CARACTERIZACIÓN Y MANEJO DE CAUCES DE LOS RÍO SAN PEDRO Y VILAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

RESUMEN EJEUTIVO


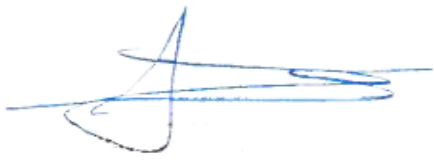
REGISTRO CONTROL DE CALIDAD Nombre y Firma de los Profesionales

NOMBRE	CARGO EN LA CONSULTORA	FIRMA
Diego Figueroa Amunátegui	Especialista en Flora y Fauna	
Alonso Rodríguez Benítez	Especialista en Modelación Hidráulica	
Cristóbal Mosqueira Baird-Kerr	Encargado de Control de Calidad	
William Licanqueo Novoa	Ingeniero de Proyectos	
Aldo Roa Cadín	Ingeniero de Proyectos	
Carlos Torres Barraza	Encargado de Trabajos de Terreno y Planos	

CARACTERIZACIÓN Y MANEJO DE CAUCES DE LOS RÍO SAN PEDRO Y VILAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

RESUMEN EJEUTIVO

REGISTRO CONTROL DE CALIDAD
Nombre y Firma de los Profesionales

NOMBRE	CARGO EN LA CONSULTORA	FIRMA
Joselyn Collante Dorantt	Encargada de Prevención de Riesgos	
Francisco Camus Herrera	Apoyo Ingeniero de Proyecto	

CONSULTORÍA
CARACTERIZACIÓN Y MANEJO DE CAUCES DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y VILAMA
REGIÓN DE ANTOFAGASTA

ÍNDICE DE CONTENIDOS
RESUMEN EJECUTIVO


Acápite	Descripción	Página
1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	ASPECTOS GENERALES	1
1.2.	CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA Y ÁREA DE ESTUDIO	1
1.3.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	3
1.4.	SECTORIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	3
2.	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES	4
3.	TRABAJOS DE TERRENO	4
3.1.	RECONOCIMIENTO DE TERRENO	4
3.2.	TRABAJOS TOPOGRÁFICOS Y LEVANTAMIENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO	6
3.3.	MECÁNICA DE SUELOS PARA CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS	7
3.3.1.	Mecánica de Suelos	7
3.3.2.	Zona de Botaderos y Canteras	8
3.4.	CATASTRO DE ELEMENTOS E INTERÉS Y USOS DEL ESPACIO FLUVIAL	11
4.	ESTUDIOS BÁSICOS	12
4.1.	ESTUDIO DE DINÁMICA FLUVIAL	12
4.2.	ESTUDIO HIDROLÓGICO	15
4.3.	MODELACIÓN NUMÉRICA DE CRECIDAS	17
4.4.	ANÁLISIS MECÁNICO FLUVIAL DEL CAUCE	18
4.4.1.	Socavación en el Cauce	18
4.4.2.	Transporte de Sedimentos y Depositación	19
5.	DIAGNÓSTICO	20
5.1.	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	20
5.2.	DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DEL CAUCE Y DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE	24
5.3.	IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS DEL EVENTO DE FEBRERO DE 2019	33
6.	PLAN DE MANEJO DE CAUCE	35
6.1.	OBJETIVOS PROPUESTOS PARA EL PLAN DE MANEJO DE CAUCES	35
6.2.	MEDIDAS ESTRUCTURALES	37

CONSULTORÍA
CARACTERIZACIÓN Y MANEJO DE CAUCES DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y VILAMA
REGIÓN DE ANTOFAGASTA

ÍNDICE DE CONTENIDOS
RESUMEN EJECUTIVO

Acápite	Descripción	Página
6.3.	EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS MEDIDAS ESTRUCTURALES	47
6.4.	MEDIDAS NO ESTRUCTURALES	49
6.5.	PRIORIZACIÓN DE LAS MEDIDAS PROPUESTAS POR EL PLAN	50
6.5.1.	Medidas No Estructurales	50
6.5.2.	Medidas Estructurales	50
6.5.3.	Programa de Ejecución Dirección de Obras Hidráulicas	59
7.	ANÁLISIS AMBIENTAL	61
8.	PARTICIPACIÓN CIUDADANA	62
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64

RESUMEN EJECUTIVO

0	17-12-2021	Emitido para Empaste	SPA	EKK	SPA
B	06-12-2021	Emitido para Revisión DOH	SPA	EKK	SPA
A	13-11-2021	Emitido para Revisión Interna	SPA	EKK	SPA
REV	FECHA	REVISIÓN PARA	POR	CHECK	JDP
		CÓDIGO DOCUMENTO			
		ARR104-IF-0 RESUMEN EJECUTIVO.DOCX			

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Aspectos Generales

Se presenta un resumen del Informe Final del estudio “Caracterización y Manejo de Cauce de los Ríos San Pedro y Vilama, Región de Antofagasta”, adjudicado a la Consultora Arrau Ingeniería SpA, mediante Resolución (Exenta) D.O.H. N°3438, del 11 de noviembre de 2020.

El origen de la citada consultoría corresponde a la necesidad por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas de desarrollar un estudio de la cuenca del Salar de Atacama, de la Región de Antofagasta, que permita “caracterizar” el fenómeno que originó el evento de crecida ocurrida durante los meses de enero y febrero de 2019, recopilando información de daños en la infraestructura y a la población dentro del área de influencia del estudio. Este Estudio también busca definir un Plan de Manejo de Cauce a partir de un detallado diagnóstico del funcionamiento hidráulico de los cauces de los Ríos San Pedro y Vilama.

1.2. Características de la Cuenca y Área de Estudio

El área de estudio, se ubica en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia del Loa, II Región, cerca del extremo norte del Salar de Atacama y a aproximadamente a 100 km al suroeste de la ciudad de Calama. Geográficamente se encuentra entre los 22°22' S y los 24°21' S de latitud y entre los 67°00' O y los 68°40' O de longitud, a 2.438 metros sobre el nivel del mar.

En la presente consultoría se estudiaron específicamente los ríos San Pedro y Vilama. En la Figura 1-1 se presenta el área de estudio.

El río Vilama se forma de diversas vertientes termales y salobres en la quebrada de Turipe y aguas abajo, en el sector de Guatín, que recibe como afluente al río Purifica. El cauce natural del río Vilama entregaba sus aguas al llano de Vilama, pero actualmente el río fluye encauzado en los canales que riegan los ayllus de Vilama, Alabrado, Poconche, Beter y Alto Beter y Tolor. Los Ayllus son unidades socio territoriales de familias, que se caracterizan por ser agrupaciones de tierras aisladas con bosques, que en su interior contienen estructuras prediales en las que se practica la agricultura. Estas “islas” de bosques y tierras fértiles constituyen pequeños oasis, en los que, tradicionalmente, familias atacameñas vinculadas por relaciones de parentesco han desarrollado sus actividades agrícolas.

Por su parte, el río San Pedro nace por encima de los 4.000 msnm. Su curso inicial es el ojo Putana, desde donde comienza su descenso bajo el nombre de río Putana, recibiendo aportaciones de ríos como el Jauna o el Chuschul. Desde su encuentro con este último, toma el nombre de río San Pedro, cuyo cauce natural ingresa en los Ayllus de Cuchabrache-Catarpe, continua por Qitor y luego bordea los Ayllus de Conde Duque, Yaye y Séquitor, Coyo y Beter, para después verter sus aguas al Salar de Atacama. Las comunidades atacameñas han regado tradicionalmente con sus aguas, captando las aguas en el Ayllu de Cuchabrache, desde donde se inicia una extensa canalización que conduce las aguas hacia los Ayllus de Tambillo, Suchor, Guachar, Bellavista, Catarpe, Qitor, Conde Duque, Solcor, Larache, Checar, Yaye, Séquitor, Coyo, Solor y Cúcuter.

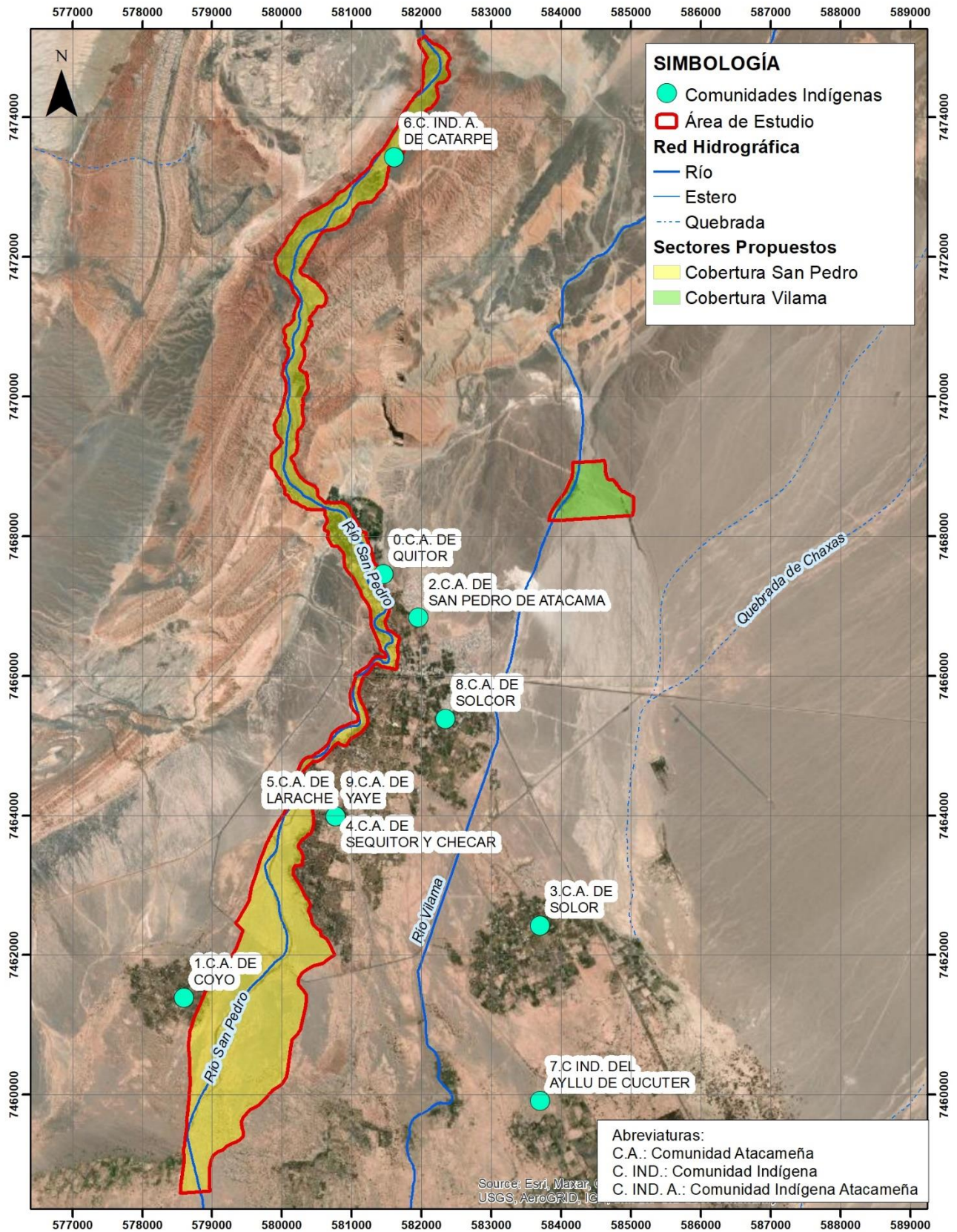


FIGURA 1-1: ÁREA DE ESTUDIO

Fuente: Elaboración propia.

1.3. Objetivos del Estudio

El presente Estudio tienen los siguientes objetivos generales:

- Caracterizar el evento de crecida de enero y febrero de 2019, así como también formular un diagnóstico actualizado de los ríos San Pedro y Vilama y de sus afluentes en tramos específicos, que exponga la condición existente de dichos cauces.
- Elaborar un Plan de Manejo del Cauce de los Ríos San Pedro y Vilama, que proponga las medidas necesarias para programar el mejoramiento de los cauces antes citados, así como también permita optimizar y validar la priorización de obras contenidas en el Programa de Conservación de Riberas de la Región de Antofagasta.

1.4. Sectorización del Área de Estudio

Se identificaron 4 sectores en el área de estudio, cuya definición se basó en características comunes, considerando los problemas y riesgos a los cuales se ven expuestos. De esta forma, se consideró que el tramo del río Vilama en estudio corresponderá a un sector independiente definiendo, a su vez 3 sectores más del Río San Pedro, cuya representación espacial se muestra en la Figura 1-2.

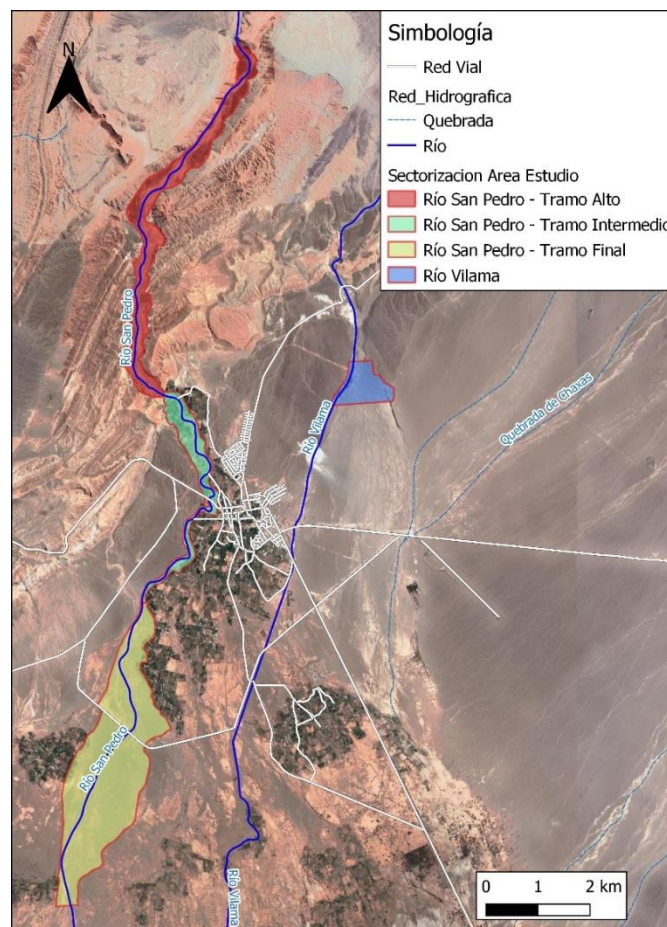


FIGURA 1-2: SECTORIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

Fuente: Elaboración propia.

2. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

Se realizó una recopilación y revisión de los antecedentes hidrológicos, hidráulicos, instrumentos de planificación y ordenamiento territorial, infraestructura existente, antecedentes ambientales y antecedentes de daños producidos por crecidas, con el fin de contar con información detallada, tanto técnica como normativa, sobre el estado actual del cauce y de las obras relacionadas con él.

Como resultado de la recopilación y revisión de los antecedentes, se concluyó que hay información disponible suficiente para elaborar los diferentes temas que comprende el estudio, en especial para actualizar y desarrollar la hidrología necesaria. Asimismo, la información topográfica existente fue valiosa para complementar la realización de la topografía y los vuelos Lidar programados en el presente estudio, mejorando de esta manera la cobertura del área, lo cual fue considerado en los respectivos informes de modelación unidimensional y bidimensional de crecidas.

3. TRABAJOS DE TERRENO

3.1. Reconocimiento de Terreno

- a) Respecto del Reconocimiento detallado de terreno, se concluye lo siguiente:
 - i En el río San Pedro, en la parte alta del sector de estudio, se aprecia la existencia de cerros con nula vegetación y mucha disponibilidad de limos y arcillas, que producto de la escorrentía explican el color de las aguas. En cambio, en el lecho del cauce predominan gravas y gravillas en matriz arenosa de tamaño medio a grueso.
 - ii Según se ilustra en la Figura 3-1, el sector urbano del río San Pedro se aprecia intervenido por defensas de gaviones que respetan el trazado del río, pero en algunos puntos restringen de forma importante su sección y en otros se aprecia la existencia de curvas con radios de giro pequeños que provocarían que el escurrimiento cambie bruscamente de dirección, por lo que deben ser estudiados en profundidad con los modelos numéricos respectivos. En este tramo no se aprecia margen para pensar en intervenciones distintas a las defensas ribereñas. Cualquier intervención que signifique cambiar el trazado implicaría procesos expropiatorios.



FIGURA 3-1: RIO SAN PEDRO SECTOR CURVA FRENTE A DOMINGO DE ATIENZA

Fuente: Elaboración Propia

- iii Aguas abajo del paso por la zona urbana del río San Pedro, se aprecia una amplia llanura de inundación, en que por la ribera derecha cauces principales y secundarios se acercan peligrosamente al camino que une San Pedro con los Ayllus de Coyo y Tulor. En este tramo el lecho está conformado por grava en matriz arenosa y en algunos sectores en los estratos superficiales se aprecia una costra conformada por limo y arcillas, la cual se observa que se produce en zonas de apozamiento de cauces secundarios.
- iv En el sector de Vilama, aguas arriba del inicio del área de estudio existe un embanque bien consolidado que, ante la presencia de crecidas de gran magnitud, podría generar la bifurcación del escurrimiento, activando eventualmente un brazo por la ribera izquierda del cauce, donde existe una zona que posee mucho valor de acuerdo a la información entregada por DOH en terreno, ya que posee vestigios arqueológicos del primer asentamiento de Vilama.
- v Referente al lecho del río Vilama en el tramo de estudio (Figura 3-2), se aprecia abundante arena gruesa con presencia de gravilla y gravas de tamaño grande, además de una cantidad moderada de bolones de tamaño medio. No se aprecian depósitos de limo, lo que demuestra que en este escurrimiento el transporte de sedimentos es aluvial.



FIGURA 3-2: LECHO RIO VILAMA

Fuente: Elaboración Propia

3.2. Trabajos Topográficos y Levantamiento Aerofotogramétrico

El informe presenta todos los trabajos topográficos ejecutados, incluyendo el vuelo y vectorización LIDAR que abarca una extensión de 969 ha.

De la Vinculación planimétrica por satélites GPS, el proyecto contempló el uso de dos sistemas de transporte de coordenadas, que se denominaron de la siguiente forma:

1. Sistema de transporte de coordenadas San Pedro: STC San Pedro.
2. Sistema de transporte de coordenada Vilama: STC Vilama.

El primero, STC San Pedro, está conformado por 43 monolitos de hormigón, que se encuentran ubicados en la cuenca del río San Pedro a lo largo de 20 Km aproximadamente y distribuidos homogéneamente en el área de interés del proyecto. Por su parte, el segundo sistema, STC Vilama, está conformado por 7 monolitos de hormigón, se encuentran ubicados en un sector del río Vilama próximo a la ciudad de San Pedro de Atacama (Figura 3-3).

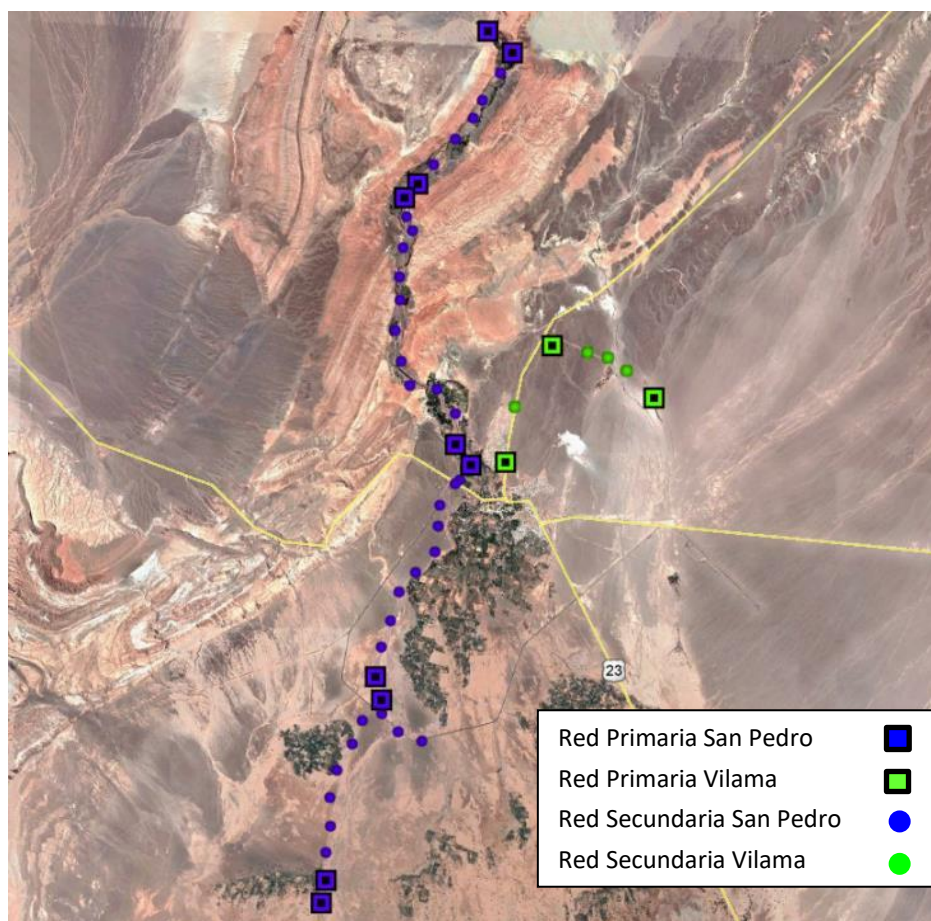


FIGURA 3-3: ESQUEMA STC SAN PEDRO Y VILAMA

Fuente: Elaboración Propia desde Google Earth

Respecto a la nivelación geométrica, se completaron todos los circuitos planificados para el transporte altimétrico, logrando calcular cotas geométricas para todos los PRs que conforman el sistema de transporte de coordenadas STC San Pedro y Vilama, alcanzando una distancia total de 31 Km. de nivelación.

3.3. Mecánica de Suelos para Caracterización de Sedimentos

3.3.1. Mecánica de Suelos

Se realizó un total de 20 prospecciones mediante calicatas de profundidad máxima de 4 metros, con un total de 18 calicatas en el río San Pedro y 2 en el río Vilama. El objetivo de las calicatas, es caracterizar el material del lecho de los cauces en análisis y características granulométricas, con el objeto de utilizar dicha información en el análisis de socavaciones.

En la Figura 3-4 se presenta un perfil longitudinal del río San Pedro que muestra la variación del diámetro característico D_{50} y D_{90} a lo largo su recorrido.

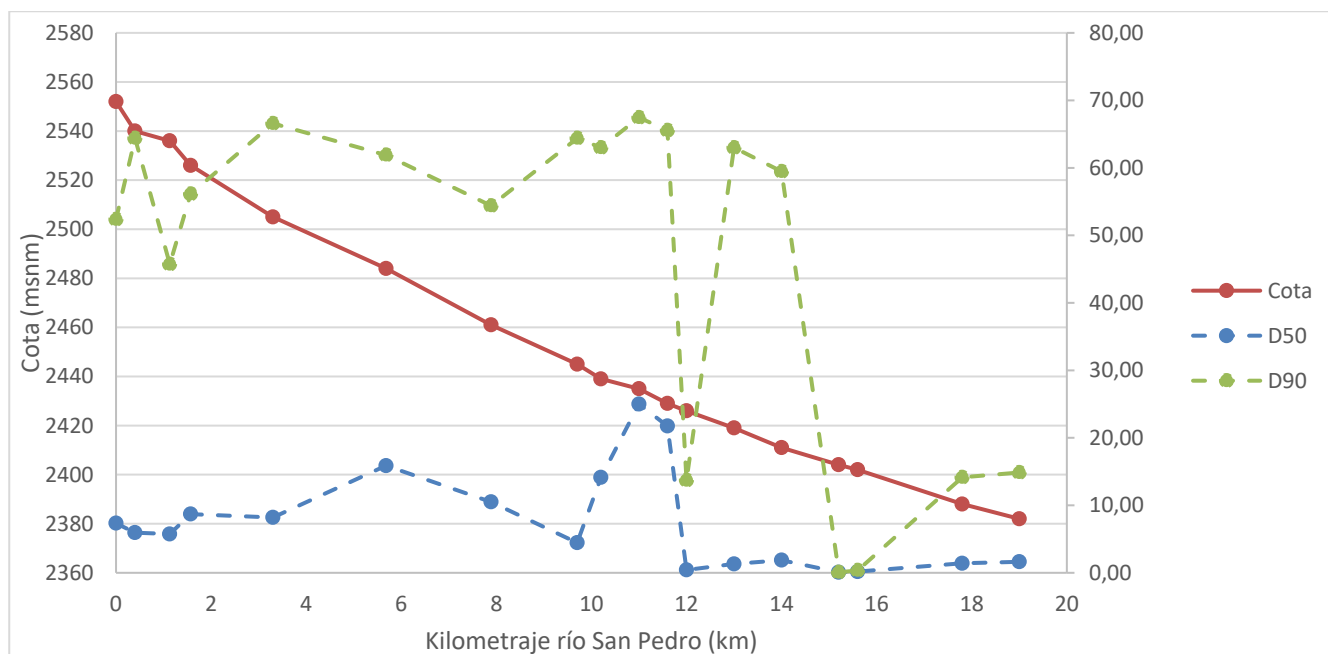


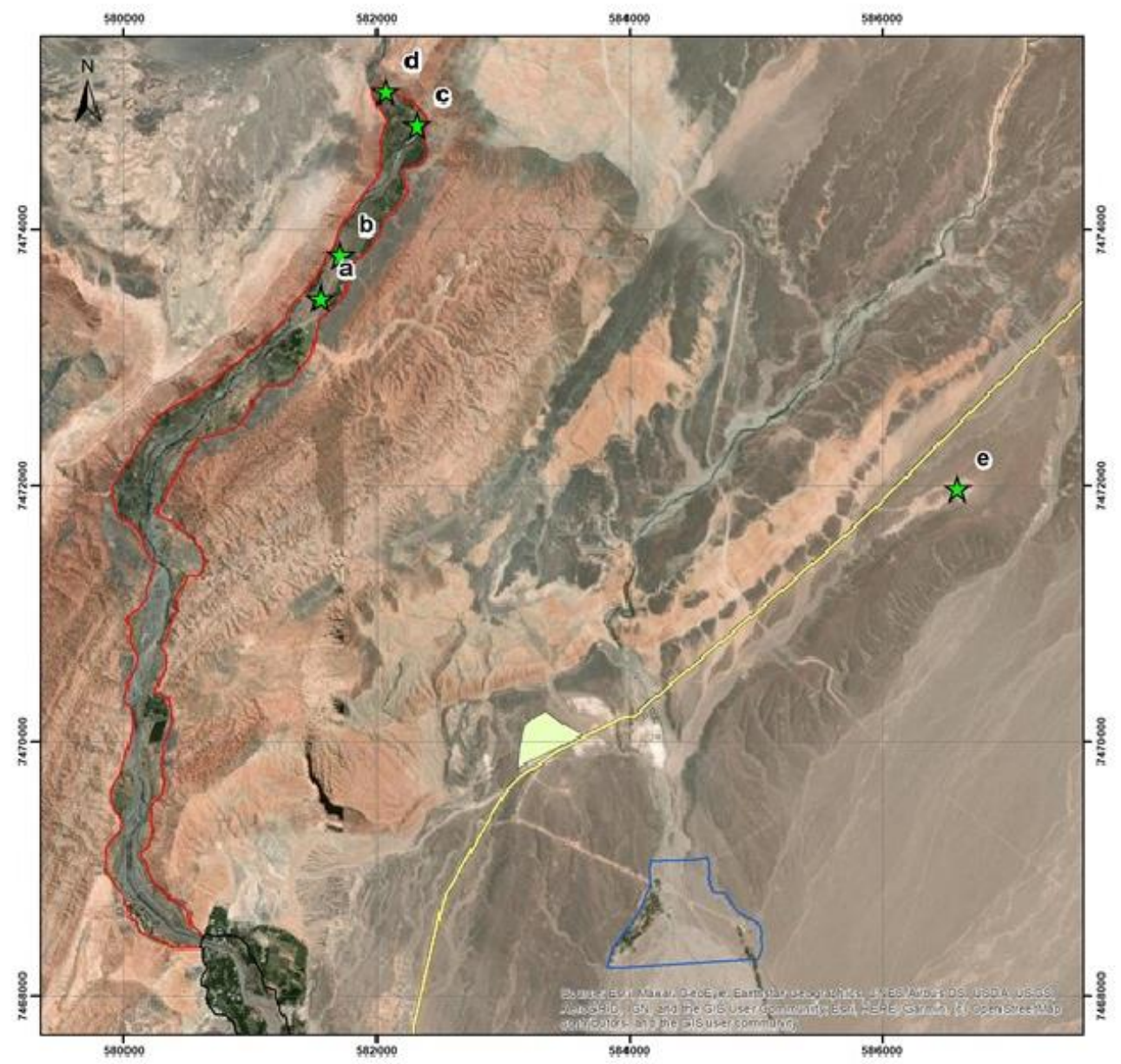
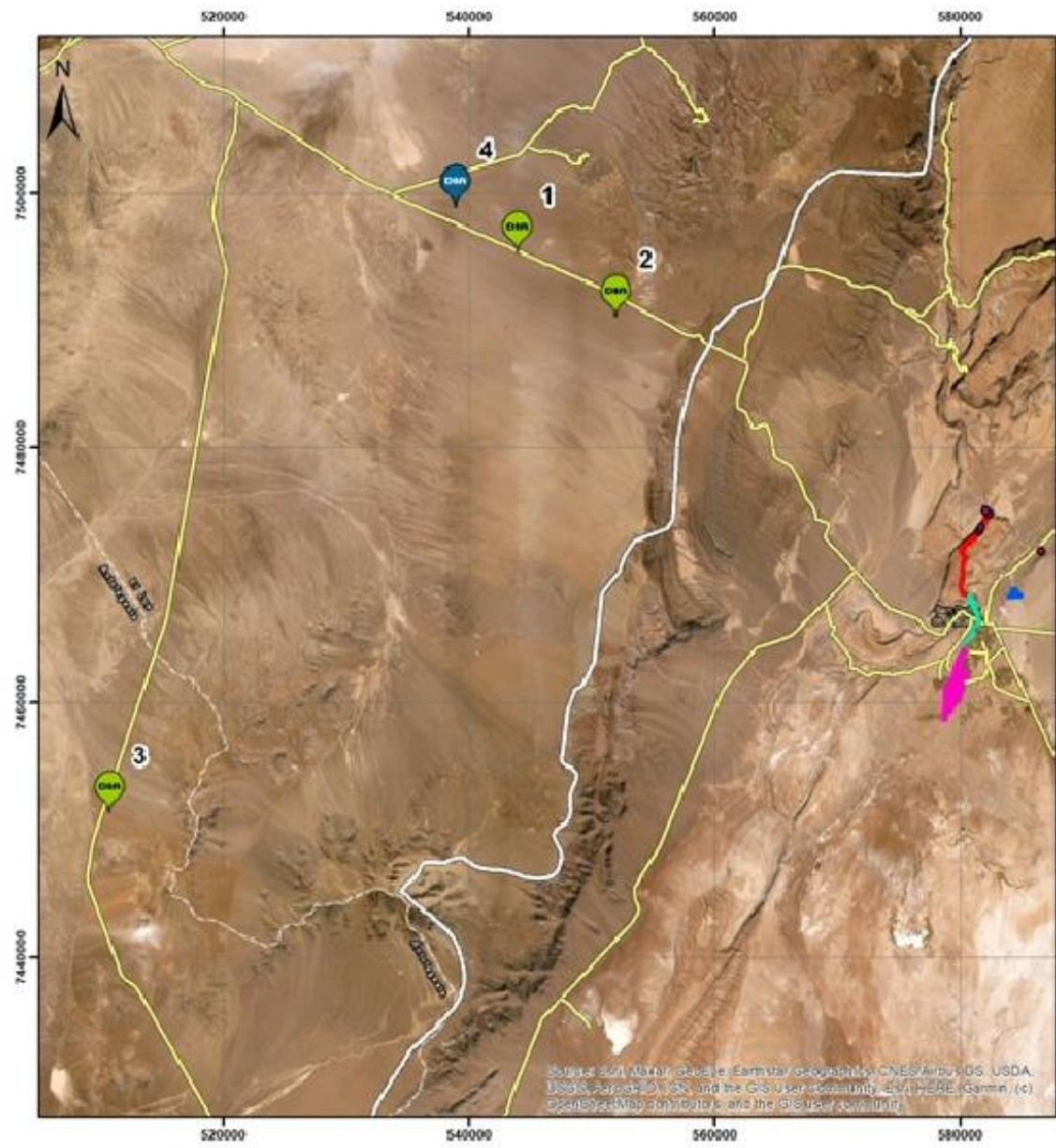
FIGURA 3-4: VARIACIÓN DIAMETROS D₅₀ Y D₉₀ – RÍO SAN PEDRO

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.2. Zona de Botaderos y Canteras

A partir de la recopilación de antecedentes, se identificaron proyectos aprobados de extracción de áridos, donde el más cercano a la comuna se encuentra a una distancia aproximada de 45 km. Además de esto, durante el catastro se identificó un sector de extracción de áridos en el Sector 3 del Río San Pedro. Asimismo, a partir de la visita a terreno realizada, se identificaron una serie de puntos que potencialmente podrían constituir zonas de extracción de material, además de un área para el establecimiento de un botadero.

Todo lo anteriormente señalado se presenta en la Figura 3-5.



SIMBOLOGÍA

Área Estudio

- SP1, RIO SAN PEDRO TRAMO INICIAL
- SP2, RIO SAN PEDRO TRAMO INTERMEDIO
- SP3, RIO SAN PEDRO TRAMO FINAL
- VI1, RIO VILAMA

LIMITES COMUNALES

- LIMITES COMUNALES

Red Vial

- Red Vial

PROPUESTA BOTADERO

- PROPUESTA BOTADERO

PUNTOS TERRENO

- ★ a, Sector en que se requiere Retiro de material
- ★ b, Zona Disponibilidad Material 1
- ★ c, Zona Disponibilidad Material 2
- ★ d, Zona Disponibilidad Material 3
- ★ e, Sector de Extracción Material con Maquinaria

PROYECTOS SEIA ÁRIDOS

- DIA - APROBADO
- DIA - EN TRÁMITE

FIGURA 3-5: UBICACIÓN DE PUNTOS IDENTIFICADOS DE BOTADEROS Y CANTERAS

Fuente: Elaboración propia con base en información SEIA y datos de terreno.

3.4. Catastro de Elementos e Interés y Usos del Espacio Fluvial

Se catastró un total de 110 obras de infraestructura, correspondiendo aproximadamente un 42% a obras de defensa fluvial conformadas principalmente por gaviones o por pretil de material del lecho fluvial. Del total de obras catastradas, un 65% de ellas se encuentran en buen estado de conservación.

CUADRO 3-1: RESUMEN OBRAS CATASTRADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

CAUCE	TIPO DE OBRA	ESTADO			TOTAL OBRAS
		Bueno	Malo	Regular	
Río San Pedro	Atravieso	8	1	8	17
	Bocatoma	4	1	1	6
	Defensa Fluvial	33	2	11	46
	Descarga	16	1	5	22
	Estación Fluviométrica	0	1	1	2
	Propiedades	1	0	2	3
	Puente	1	0	0	1
	Otro	2	2	0	4
	Total general	65	8	28	101
Río Vilama	Atravieso	0	1	1	2
	Defensa Fluvial	4	0	0	4
	Descarga	1	0	0	1
	APR	1	0	0	1
	Otros	1	0	0	1
	Total general	7	1	1	9

Fuente: Elaboración propia.

A lo largo del río San Pedro, sólo se observó una zona en donde se realizaban labores de procesado de áridos, sitio ubicado a un costado del camino que conecta los Ayllu de Coyo y Tulor.

Con respecto a las zonas de riesgo, se logró recabar información detallada para toda el área de estudio, respecto a riesgos por desborde, inundación, activación de quebradas y flujos de barro, la cual fue elaborada por ONEMI en conjunto con el Departamento de Seguridad de la Municipalidad de San Pedro de Atacama.

Finalmente, en lo que se refiere a zonas de conflicto por deslinde, es importante señalar que **no existe definición de deslinde en el río San Pedro ni en el río Vilama**. Sin embargo, se realizó la caracterización de los potenciales sectores que presentarían conflicto si es que el cauce es definido como la línea geomorfológica de la ribera propuesta en el análisis de dinámica fluvial realizado en el presente estudio. De lo anterior, es posible concluir que habría infraestructura en los sectores de Catarpe, Conde Duque y Yaye en potencial conflicto, mientras que serían un total de 117 predios con superficies entre 1 m² hasta 1,5 ha que pudieran tener conflicto por deslinde.

4. ESTUDIOS BÁSICOS

4.1. Estudio de Dinámica Fluvial

Se realizó la caracterización del medio fluvial a partir de un análisis geomorfológico del cauce, basado en un análisis multitemporal de imágenes satelitales y aéreas, para esto se utilizaron distintas fuentes como son el satélite Sentinel, Google Earth, imágenes del servicio aerofotogramétrico (SAF) y un estudio de prefactibilidad para el mejoramiento sistema de riego en Río San Pedro (CNR 2014). Con esto, se dispuso de una serie de 13 años, considerado imágenes entre el año 1980 a 2020, donde las imágenes de Sentinel corresponden al periodo 2016-2020, las de Google Earth a los años 2005,2007,2009,2010 y 2013, las del SAF corresponden a los años 1980 y 1997 y las del estudio CNR corresponden al año 2012.

Se entiende como línea geomorfológica de la ribera, la zona límite del sector aledaño al río, que no se ve afectada por el escurrimiento para ninguna crecida dentro de los registros que se dispongan. Para estimar la línea geomorfológica de las riberas se utilizó los resultados del trabajo de delimitación del cauce en cada una de las imágenes disponibles, donde se utilizan los límites que representan a la mayor extensión del cauce observado, en este caso corresponde al área asociada a un 8% de ocurrencia, con esto la línea es delimitada de forma exitosa salvo para la ribera izquierda del sector aguas abajo de la ruta de circunvalación en el río San Pedro, donde se produce un apozamiento que generó desbordes los cuales afectaron al Ayllu de Beter el análisis de esta ribera debe ser a través de un estudio que incorpore este sector evaluando los atravesos existentes y sus efectos aguas abajo .

En las Figura 4-1 y Figura 4-2 se presenta la ribera propuesta para el río san Pedro, mientras que en la Figura 4-3 se presenta la ribera propuesta para el río Vilama.

Se puede observar que para el caso del río San Pedro existen sitios habitados dentro de la zona correspondiente al cauce, estas se encuentran ubicadas en el sector de aguas arriba del puente de acceso a la localidad, esta zona siempre ha sido utilizada pero antes era con fines agrícola por lo que no suponía un riesgo para la población.



FIGURA 4-1: RIBERA PROPUESTA EN RIO SAN PEDRO ENTRE PUCARA DE QUITAR Y BADEN DE ACCESO A SEQUITOR

Fuente: Elaboración Propia

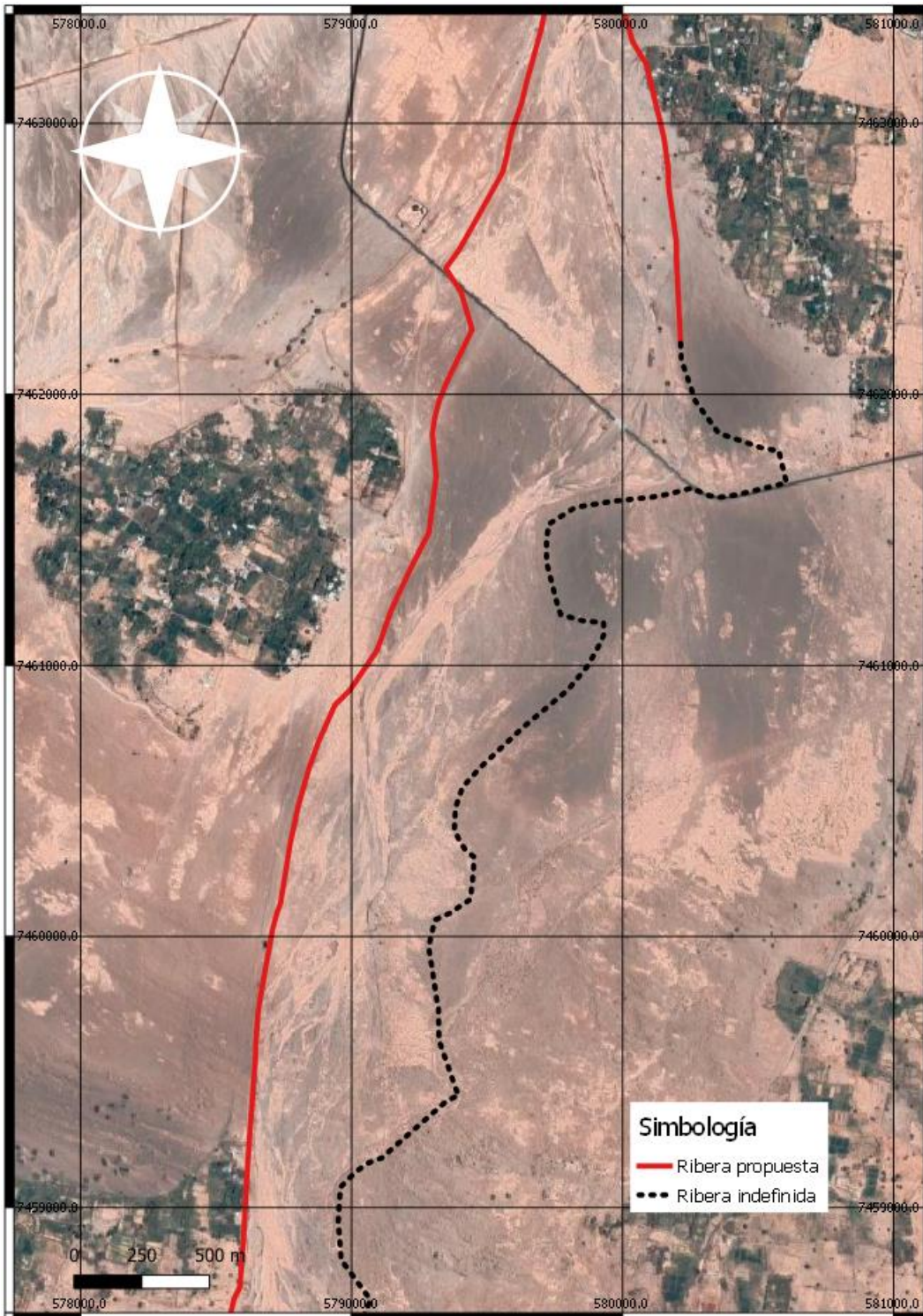


FIGURA 4-2: RIBERA PROPUESTA EN RIO SAN PEDRO ENTRE BADEN DE ACCESO A SEQUITOR Y AYLLU DE TULOR

Fuente: Elaboración Propia

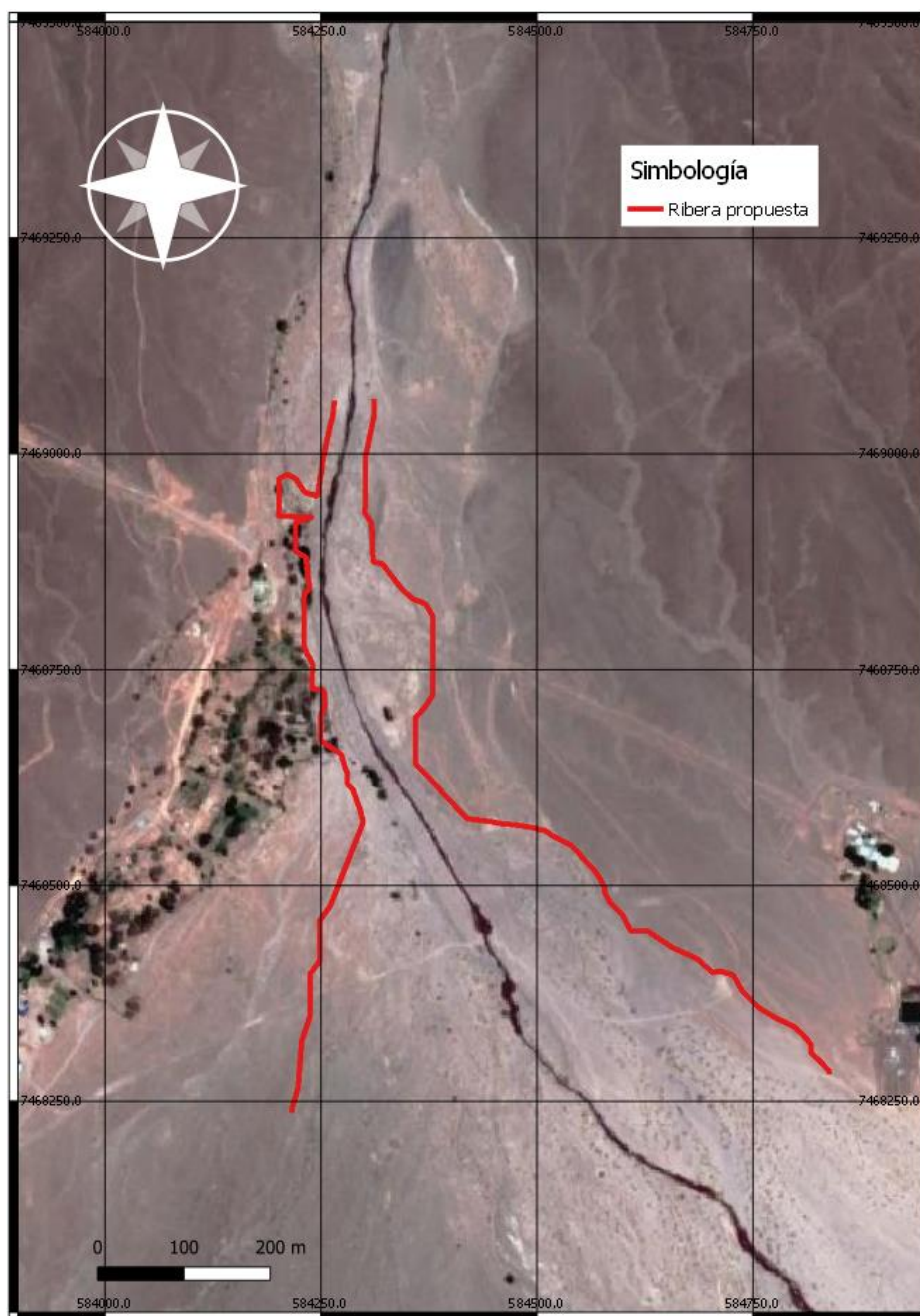


FIGURA 4-3: RIBERA PROPUESTA EN RIO VILAMA

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Estudio Hidrológico

El estudio hidrológico desarrollado permitió determinar los caudales de diseño de la cuenca de los ríos San Pedro y Vilama. Debido a la falta de antecedentes fluviométricos completos y confiables, se utilizaron también métodos hidrológicos basados en relaciones precipitación-escorrentía. Los métodos hidrológicos usados fueron la fórmula de Verni-King modificada (V-KM), la fórmula Racional Modificada (FRM), el método del Hidrograma Unitario Sintético (HUS) y el modelo Storm Water

Management Model (SWMM), de la Environmental Protection Agency (EPA). Los objetivos de este capítulo del estudio son:

- Estimar los caudales que se presentaron en enero del 2019, con el objeto de efectuar un diagnóstico de funcionamiento de la zona con la crecida.
- Estimar caudales máximos de crecidas, en varios puntos de la zona de estudio, para distintos periodos de retorno.
- Estimar los caudales máximos detríticos, de crecidas, en varios puntos de la zona de estudio y para distintos períodos de retorno.

Se logró definir las precipitaciones máximas en 24 horas para distintos períodos de retorno de la cuenca, que se muestran en la siguiente tabla:

CUADRO 4-1: PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS

T (Años)	P(X≥x) %	Linzor	El Tatio (DGA)	Caspana (DGA)	Rio Grande	San Pedro (DGA)	Toconao Exp.
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
		Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Pearson	Log Normal
2	50	23.2	21.8	22.7	28.1	7.8	5.6
5	20	35.7	35.0	41.3	50.3	16.3	9.7
10	10	44.0	43.7	53.7	65.0	23.4	12.9
25	4	54.5	54.7	69.3	83.5	33.6	17.5
50	2	62.2	62.8	80.9	97.3	41.8	21.2
100	1	69.9	70.9	92.4	110.9	50.2	25.2

Fuente: Elaboración propia

En relación al evento del 2019, el análisis del hietograma de la tormenta mostró que hubo dos pulsos de precipitación importantes, que corresponden a dos tormentas sucesivas. La primera tormenta tuvo una duración aproximada de 7 horas, una intensidad máxima de 21,6 mm/hora y con un volumen total aproximado de 23,0 mm, suficientes para saturar las cuencas. La segunda tormenta, con 15 horas de duración, una intensidad máxima de 26,3 mm/hora y un volumen total de 52,3 mm.



FIGURA 4-4: REGISTRO PLUVIOGRÁFICO DEL EVENTO DEL AÑO 2019.

Fuente: Elaboración propia

La precipitación máxima en 24 horas (media para la cuenca) estimada en la cuenca del río San Pedro para el evento del año 2019, es de 52,52 mm. De acuerdo con los registros históricos de la estación Río Grande (única estación ubicada al interior de la cuenca) esta precipitación, en 56 años de registro, ha sido superada en 5 oportunidades: el año 1977 (87,5 mm), el año 1981 (71,2 mm), el año 1986 (93,1 mm), el año 1995 (67,1 mm) y el año 2012 (94,1 mm). Esto reafirma la conclusión que lo ocurrido el año 2019 no fue una situación meteorológica excepcional, correspondiendo más bien a una situación de baja ocurrencia, pero enmarcada dentro un un régimen hidrológico normal.

Los caudales calculados para la crecida del año 2019, por métodos hidrológicos, también entregaron, para dicha crecida, un período de retorno en torno a los 25 años. Lo anterior permite concluir que los daños observados no se debieron a una crecida excepcional sino, más bien, a un mal uso de los espacios cercanos a los cursos fluviales.

Los métodos hidrológicos que mejor resultado dieron fueron el Hidrograma Unitario Sintético y la modelación con el modelo SWMM5, recomendándose los resultados obtenidos con este último método para el cálculo de crecida líquidas. La siguiente tabla presenta los caudales recomendados para los diseños:

CUADRO 4-2: CAUDALES LÍQUIDOS RECOMENDADOS

T (Años)	Río San Pedro (m ³ /s)	Río Vilama (m ³ /s)
2	33,0	12,0
5	87,0	29,0
10	133,0	41,0
25	198,0	57,0
50	252,0	70,0
100	309,0	82,0

Fuente: Elaboración propia

4.3. Modelación Numérica de Crecidas

El objetivo del análisis es representar el comportamiento del cauce para diversos períodos de retorno entre 2 a 200 años, poniendo especial atención a las crecidas y las superficies de inundación que estas generan. A partir de los resultados obtenidos, se desarrollaron los estudios de socavación y de transporte de sedimentos. Además, con las imágenes de inundaciones calculadas y traspasadas a planos de planta, se pudo determinar la infraestructura presente en el cauce, como pozos APR, bocatomas, puentes y otros, que se verían afectados por las crecidas.

Para realizar el análisis, se caracterizaron los cauces hidráulicamente a través de su rugosidad, caudales disponibles y se establecieron condiciones de borde, para posteriormente realizar la modelación unidimensional utilizando el software HEC-RAS y bidimensional utilizando el software FLO-2D.

Una vez realizada la modelación, se presentan los resultados, que comprenden superficies de inundación, velocidades medias a lo largo del cauce, alturas de agua y un breve análisis de puntos

de interés. Se concluye que, tanto el modelo unidimensional como el bidimensional desarrollados logran representar de manera aceptable el comportamiento de los cauces en estudio.

4.4. Análisis Mecánico Fluvial del Cauce

4.4.1. Socavación en el Cauce

El promedio de la socavación general para cada sector se presenta en el Cuadro 4-3.

CUADRO 4-3: SOCAVACIÓN GENERAL CAUCES Y QUEBRADAS

ID Sector	Cauce	Perfil HECRAS	Socavación Promedio (m)
S1	Rio San Pedro	0 a 8600	0.32
S2	Rio San Pedro	8650 a 14350	0.76
S3	Rio San Pedro	14400 a 21227	0.63
S4	Río Vilama	0 a 1050	0.33

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar la socavación general en el eje longitudinal del Rio San Pedro presentada en la Figura 4-5, se puede observar que el sector 2 es aquel que presenta mayores socavaciones, lo que es esperable, ya que corresponde a la sección más intervenida y angosta del cauce. A continuación, el sector 3 presenta un grado de intervención considerable hasta el sector del ayllu de Coyo. Aguas abajo de dicho Ayllu, el cauce se ensancha y decae el valor de las socavaciones. Estas diferencias de comportamiento refuerzan la sectorización adoptada en el Rio San Pedro.

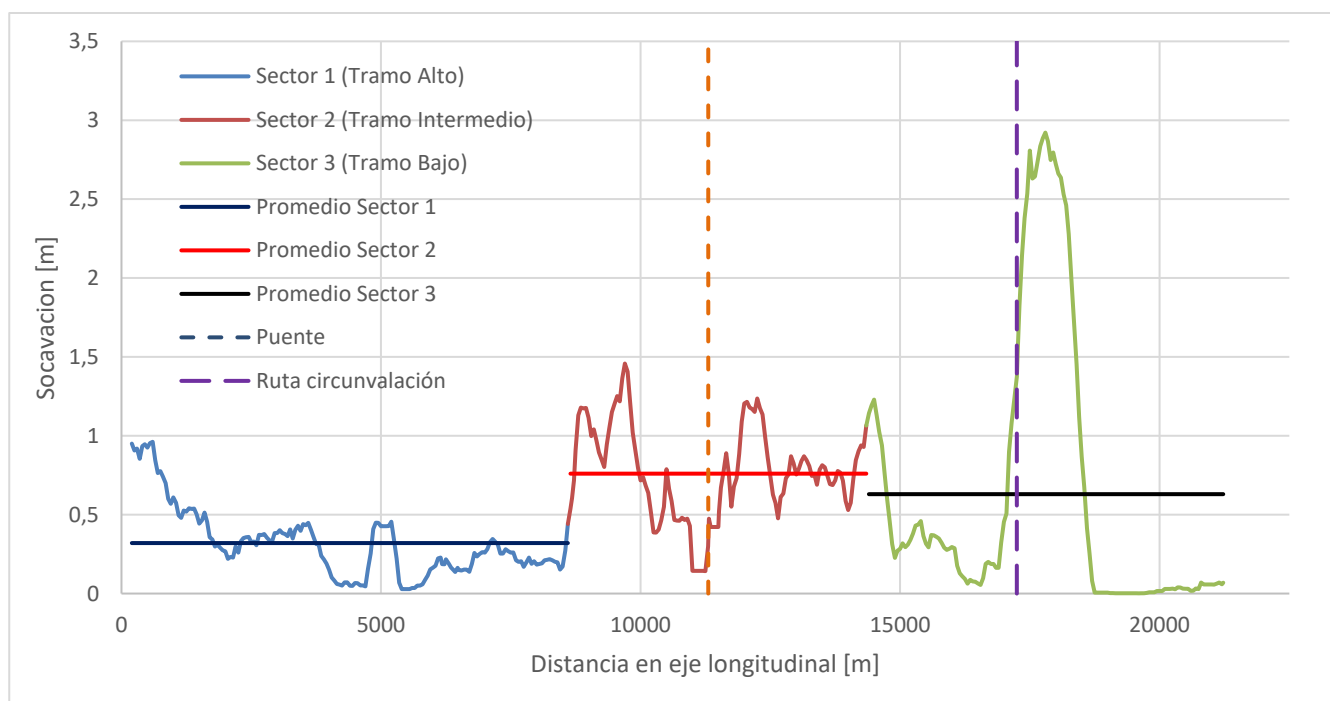


FIGURA 4-5: SOCAVACION GENERAL EN RIO SAN PEDRO

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4-6 se presenta la socavación general en el eje longitudinal del Rio Vilama, se observa que las socavaciones decrecen a medida que se desarrolla el eje longitudinal, lo que se explica en base a que la zona inicial del tramo analizado es donde existe un mayor encauzamiento el cual se va ensanchando hasta desaparecer alrededor de los 700 metros.

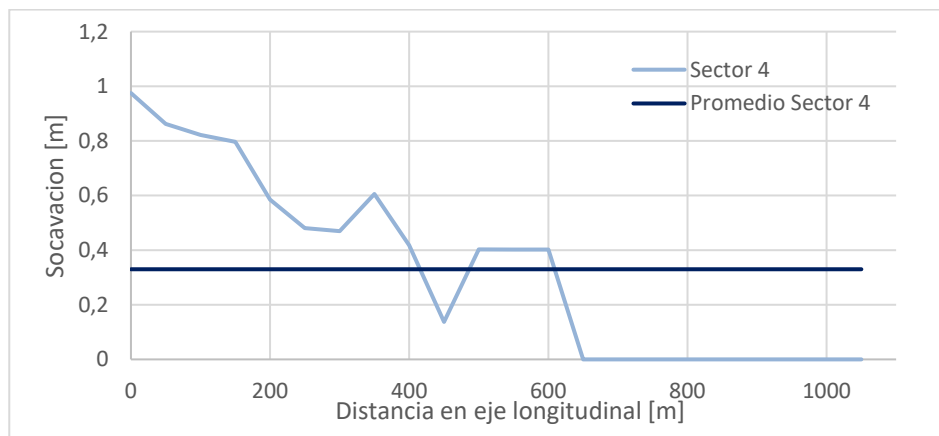


FIGURA 4-6: SOCAVACION GENERAL EN RIO VILAMA

Fuente: Elaboración propia.

En el área de estudio la socavación local sólo será aplicable al puente de acceso a San Pedro, en el Cuadro 4-4 se presenta la socavación local de dicho puente.

CUADRO 4-4: SOCAVACIÓN LOCAL PUENTE SAN PEDRO

Sector	Puente	Elemento	Km Inicio	Socavación Local (m)						
				T2	T5	T10	T25	T50	T100	T200
1	San Pedro	Pila	-11303.5	2.47	2.93	3.07	3.16	3.19	3.20	3.21

Fuente: Elaboración propia.

Al observar los resultados de la socavación local para el puente San Pedro podemos ver que se tienen valores superiores a los 3 metros para periodo de retorno superiores a 10 años. Si a esto le sumamos el valor de socavación general promedio del sector (76 centímetros), obtenemos valores del orden de la profundidad a la cual se funda la pila (4 metros) y, por lo tanto, se estaría por debajo de la cota de fundación, comprometiendo la estabilidad del puente.

4.4.2. Transporte de Sedimentos y Depositación

La cuenca del rio San Pedro tiene una producción de sedimento considerable, la que se genera principalmente en su zona alta donde se concentra la mayor área aportante y quebradas con alta disponibilidad de arenas. Esto se condice con la gran cantidad de material que se ha acumulado en la zona urbana durante las últimas crecidas.

A partir del balance sedimentológico, se puede observar que en el sector alto del Río San Pedro existe una zona candidata para la extracción de áridos entre los kilómetros 4,0 y 6,0 (referido al eje longitudinal del cauce), la que debe ser descartada por la presencia de bocatomas las cuales pueden verse afectadas producto de las modificaciones de las cotas a causa de las extracciones en el río.

En el sector intermedio del río San Pedro existe una zona a la altura de Pucará de Quito que desde el punto de vista numérico podría ser candidato a sectores de extracción de áridos. Sin embargo, esta zona se descarta al verse localizada en un lugar urbano y que podría comprometer la integridad de las defensas fluviales.

En el sector bajo del río San Pedro (Sector 3), existe una zona candidata a la altura del Ayllu de Coyo, la cual no presentaría ninguno de los inconvenientes previamente nombrados. En efecto, en terreno se identificó que esta zona presenta un sector de extracción, el cual no tiene permisos de extracción de áridos otorgados (según lo informado por la municipalidad).

Finalmente, en el Río Vilama no se observa dentro del balance sedimentológico un lugar con una tendencia a la depositación de sedimentos. Tampoco se sugiere instalar zonas de extracciones de áridos dentro del área de estudio, ya que existen defensas fluviales las cuales podrían verse comprometidas por los efectos erosivos de la extracción, además de encontrarse cercano a zonas de interés arqueológico.

5. DIAGNÓSTICO

5.1. Evaluación de la Vulnerabilidad

Sobre la base de los antecedentes y estudios básicos realizados, se formuló un diagnóstico integral de la vulnerabilidad de la infraestructura existente, afectada por las crecidas.

Respecto de la infraestructura relevante, se presenta una Tabla Resumen y un mapa de riesgo por sector, con una escala básica de colores de 3 niveles (alto-medio-bajo del riesgo de inundación o aluvión), que presente el riesgo asociado a la obra de infraestructura que se evalúa.

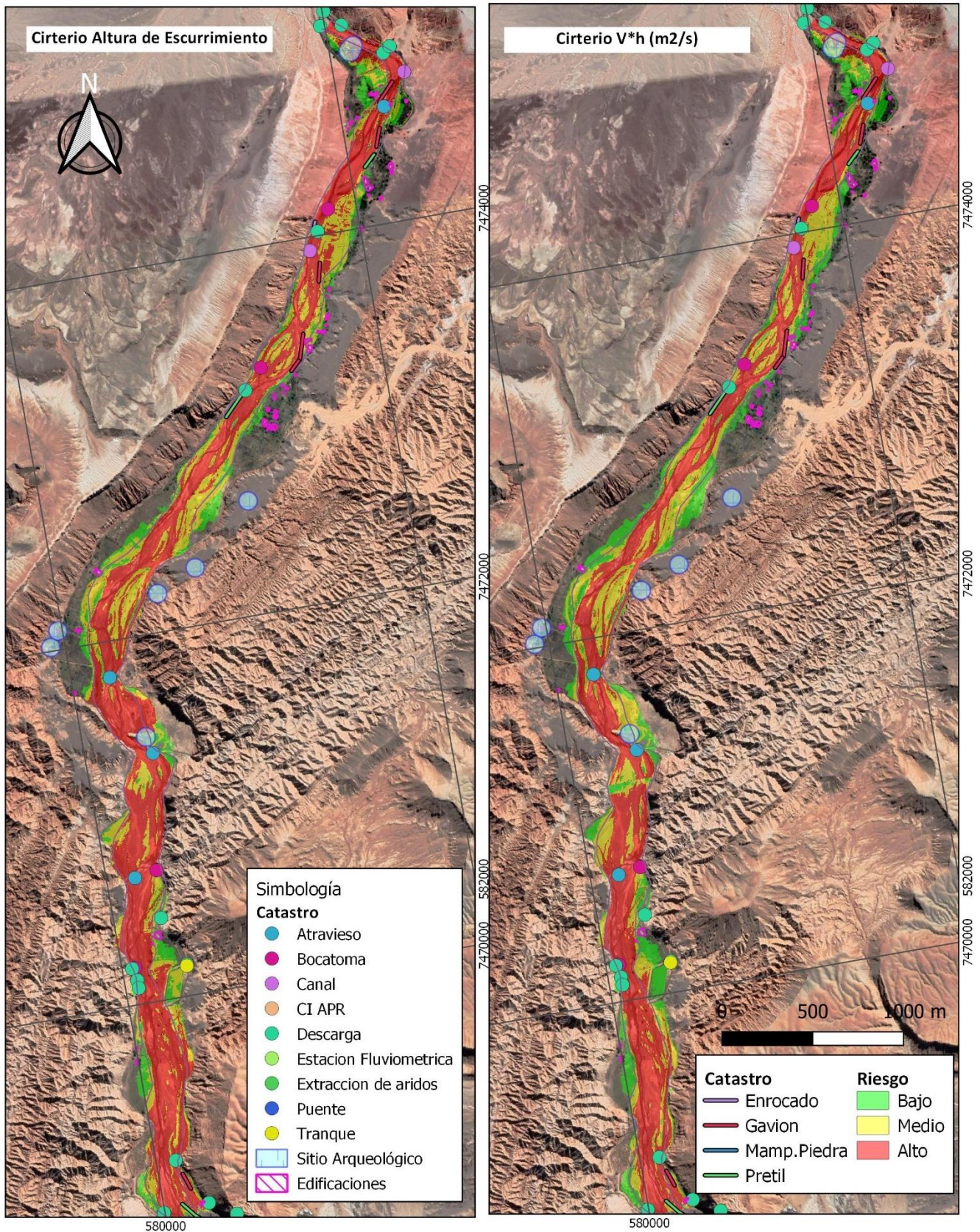


FIGURA 5-1: MAPA DE RIESGO SECTOR 1 RÍO SAN PEDRO PARA T=100 AÑOS

Fuente: Elaboración propia

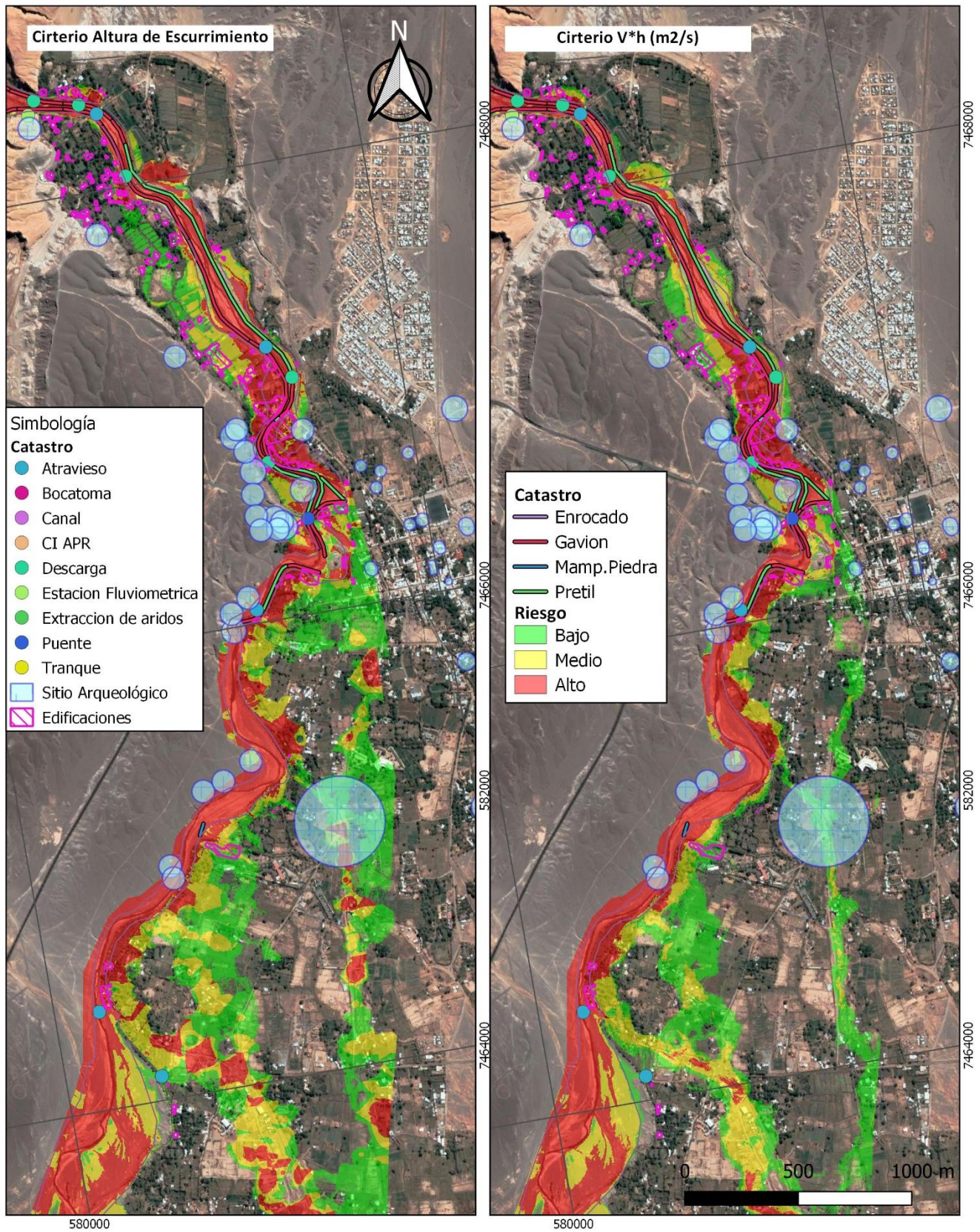


FIGURA 5-2: MAPA DE RIESGO SECTOR 2 RÍO SAN PEDRO PARA T=100 AÑOS

Fuente: Elaboración propia

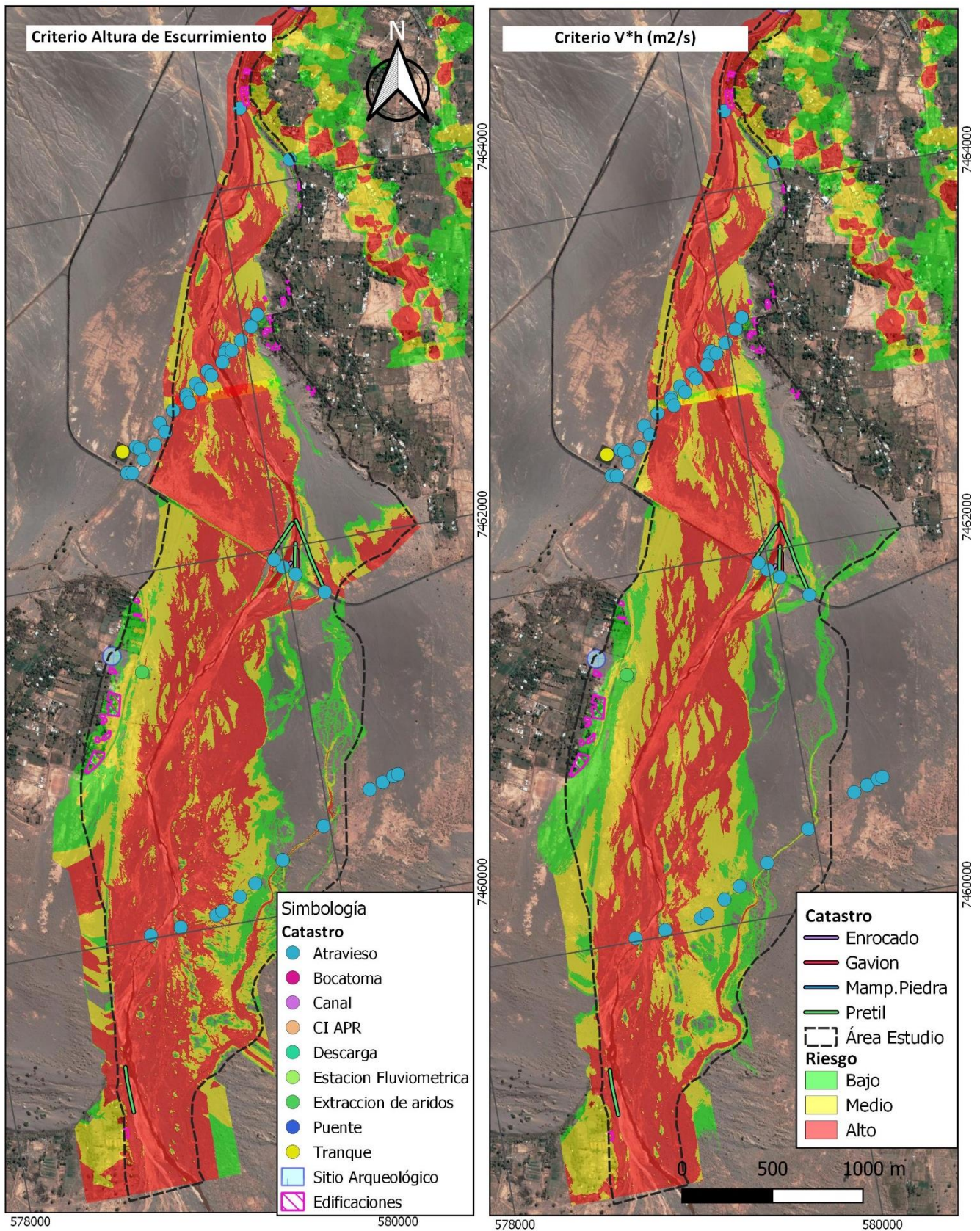


FIGURA 5-3: MAPA DE RIESGO SECTOR 3 RÍO SAN PEDRO PARA T=100 AÑOS

Fuente: Elaboración propia

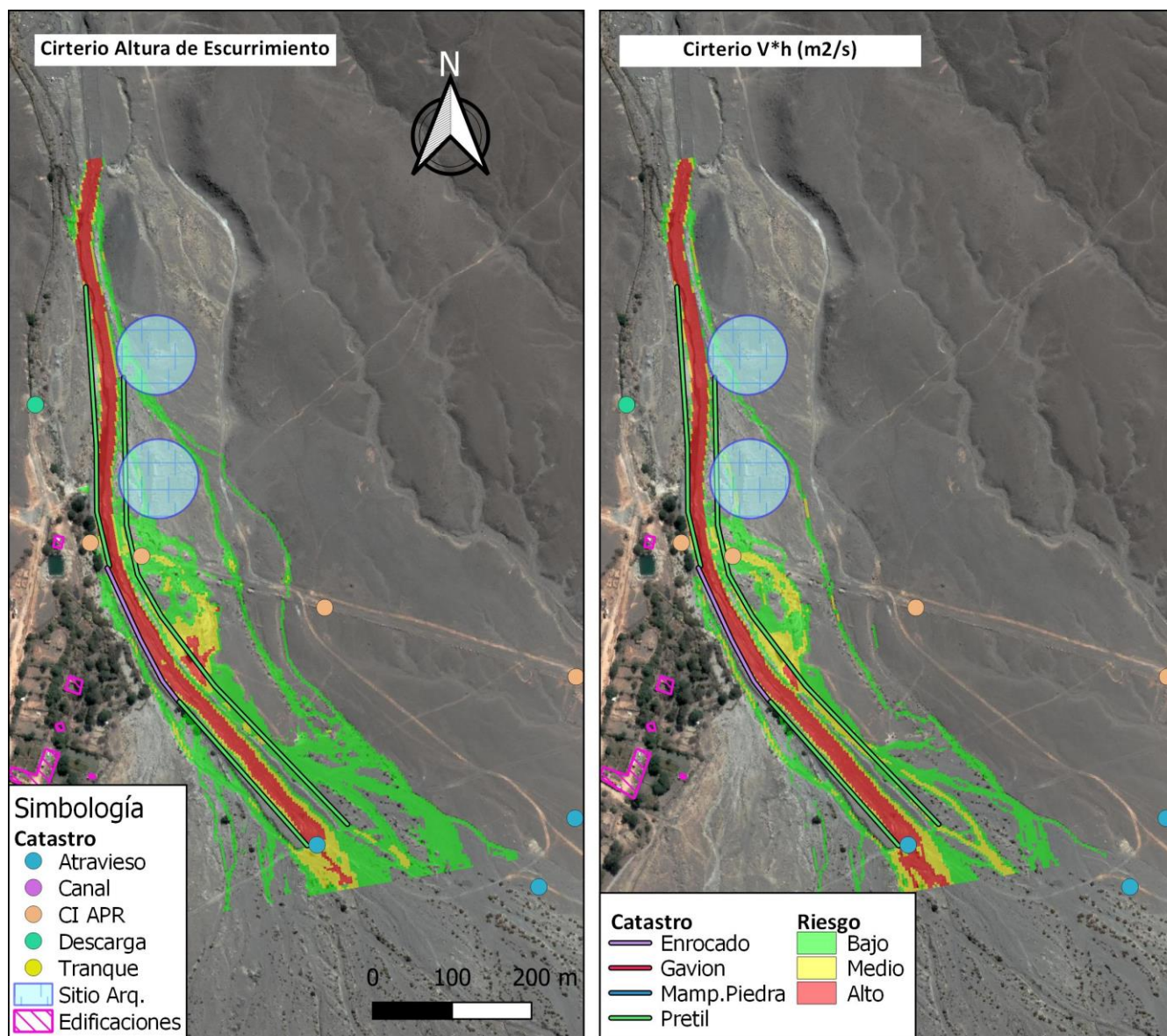


FIGURA 5-4: MAPA DE RIESGO SECTOR 4 RÍO SAN VILAMA PARA T=100 AÑOS

Fuente: Elaboración propia

5.2. Diagnóstico Hidráulico del Cauce y de la Infraestructura Existente

Se realizó el diagnóstico de la situación de los cauces naturales del área de estudio, efectuado principalmente sobre la base de los estudios básicos, visitas a terreno, catastros de infraestructura existente y el análisis hidráulico y de mecánica fluvial de cada cauce con crecidas de diferentes períodos de retorno.

Para este diagnóstico, se aborda la situación de cada uno de los 4 sectores en el área de estudio, cuya definición se basó en características comunes, considerando en ellos los problemas y riesgos a los cuales se ven expuestos.

En la Figura 5-5, se observa las áreas de inundación en el sector S1 de río San Pedro, que se producirían para crecidas asociadas a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, cuyas zonas de inundación se ilustran en forma separada. Además, se destacan en dicha figura los puntos relevantes ubicados en el cauce, según el catastro realizado, tales como, defensas fluviales, atravesos y otros. En dicha Figura 5-5 se puede observar principalmente lo siguiente:

- Para T=2 años se observa en general que el río está bien encauzado en este tramo sin producirse desborde hacia los predios agrícolas. Se aprecia que en el kilómetro 5,9, sector ubicado unos 700 m aguas arriba del tranque Huachar, en el atraveso del camino de acceso a Catarpe, la longitud de camino que se inunda es de aproximadamente 180 m con una profundidad máxima de escurrimiento de aproximadamente 1 m, lo cual es consistente con el riesgo de interrupción de camino identificado por ONEMI.
- Para T=5 años, el flujo en el cauce aumenta un poco su ancho, observándose que la mayoría de las defensas fluviales existentes logran contener el río dentro de su margen, a excepción de la defensa fluvial que protege la sede social de Catarpe, la cual se ve sobrepasada y se produce una altura de inundación de aproximadamente 0,4 m por sobre el umbral del gavión.
- Para T=10 años, se observan similares resultados que para T=5 años, con la diferencia que comienzan a aparecer algunos sectores puntuales de inundación parcial de predios agrícolas en el sector de Cuchabrachi y en predio ubicado en ribera izquierda del cauce a unos 500 m aguas arriba de la sede de Catarpe. Las velocidades de escurrimiento en un 60% del tramo superan los 2 m/s, valor que se considera potencialmente erosivo, alcanzando valores cercanos a los 4 m/s en el tramo que se ubica 200 m aguas arriba de la sede de Catarpe. Respecto a las obras de defensa fluvial de gaviones existentes, 4 de las 6 se ven sobrepasadas, asimismo, el camino se ve sobrepasado casi en la totalidad de su trazado.
- Para T=25 años, se produce un aumento en la superficie inundada en los mismos predios señalados para T=10 años y además se comienzan a inundar predios ubicados en la ribera derecha del cauce (respecto al sentido de escurrimiento), en un tramo de 1 km aproximadamente, específicamente a partir del km 3,6 del tramo en estudio. También se aprecia la inundación en los bordes del tranque Huachar, sin sobrepasar los muros del mismo y en un tramo del canal de riego que sale desde el tranque. Respecto a las obras de defensa fluvial de gaviones existentes, 5 de las 6 obras se ven sobrepasadas. Asimismo, el camino se ve sobrepasado en la totalidad de su trazado.
- Para T=50 años, se produce un mayor aumento de predios inundados, junto con la afectación de 7 construcciones. En la ribera izquierda a unos 800 m aguas abajo del inicio del tramo de estudio, se produce la afectación de 2 construcciones y otras 3 construcciones se ven afectadas en el sector de la sede de Catarpe, otra construcción en el sector del tranque Huachar y la última corresponde a la caseta de acceso a Catarpe. En un 70% del sector 1 el cauce presenta velocidades potencialmente erosivas.

- Para T=100 años en un 80% del sector 1 el cauce presenta velocidades potencialmente erosivas. En términos generales la superficie inundada aumenta marginalmente respecto a la que se produce para T=50 años.
- Para T=200 años se produce un leve aumento del área inundada respecto de la superficie que se tiene para la crecida de 100 años de periodo de retorno. Dicho aumento no alcanza a ser mayor a un 10%. Para esta crecida, un 85% del sector 1 el cauce presenta velocidades potencialmente erosivas.

En la Figura 5-6, se observa las áreas de inundación en el sector S2 de río San Pedro, que se producirían para crecidas asociadas a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, cuyas zonas de inundación se ilustran en forma separada. Además, se destacan en dicha figura los puntos relevantes ubicados en el cauce, según el catastro realizado, tales como, defensas fluviales, atraviesos y otros. En dicha Figura 5-6 se puede observar principalmente lo siguiente:

- Para T=2 años se observa en general que el río está bien encauzado en este tramo sin producirse desborde. La altura de escurrimiento en los sectores de atraveso del cauce en Pucará de Quito, Domingo Atienza y acceso a Séquito son de 1; 1,3 y 1,2 m, respectivamente, por lo que para esta condición no es posible cruzar el cauce sin contar con una obra de arte en el cauce.
- Para T=5 años, El flujo en el cauce aumenta un poco su ancho, observándose que todas las defensas fluviales existentes logran contener el río dentro de su margen. Prácticamente en el 80% del tramo se presentan velocidades superiores a los 2 m/s, valor considerado como potencialmente erosivo y que afecta al tramo de la ribera izquierda del río que presenta un pretil de material de lecho fluvial entre el kilómetro 9,1 y 10,5 sobre el cual transcurre el camino que permite acceder por el norte con la ruta 27CH. De igual manera se presentan velocidades potencialmente erosivas en la ribera izquierda en el sector de badén de acceso a Séquito, en cuya ribera se pudo constatar la presencia de infraestructura hotelera en el margen de la ribera y sin contar con medida de mitigación frente al riesgo de erosión.
- Para T=10 años, el cauce desborda en ambas riberas en un tramo de aproximadamente 200 m de longitud, específicamente en el sector de intersección del cauce con la calle Domingo Atienza. Cabe mencionar que dicho sector cuenta con obras de defensa fluvial, correspondientes a las obras de emergencia ejecutadas por la DOH. Sin embargo, en este tramo las obras se ven sobrepasadas por sobre su coronamiento por una altura de aproximadamente 0,2 m.

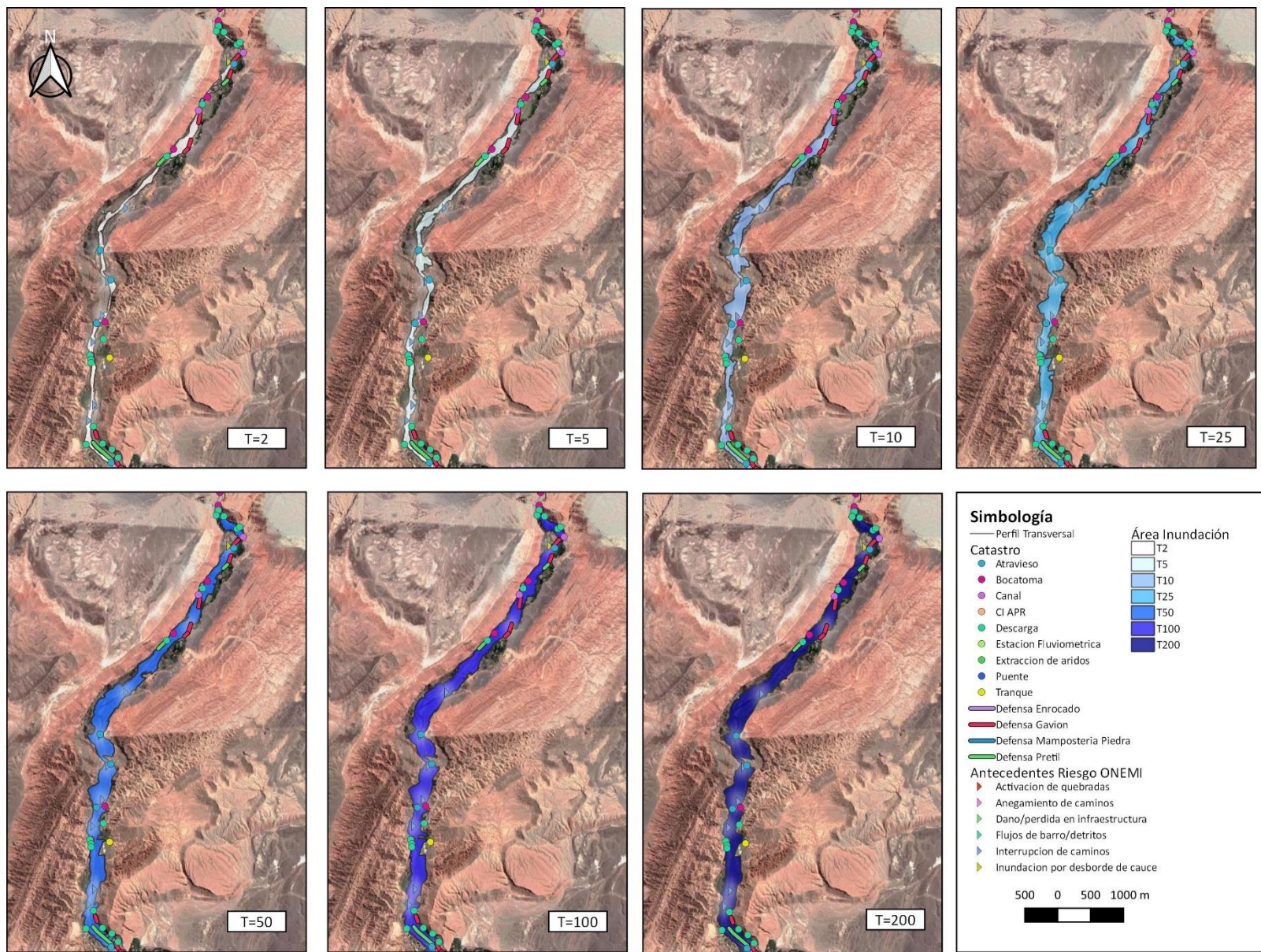


FIGURA 5-5: INUNDACIONES EN SECTOR 1 RÍO SAN PEDRO, SEGÚN T

Fuente: Elaboración propia.

- Para T=25 años, se produce un aumento en la superficie inundada. Los gaviones existentes frente al Pucará de Quito se ven sobrepasados en un tramo de aproximadamente 300 m, con una altura por sobre el coronamiento de estas obras que fluctúa entre 0,2 y 0,7 m. En el puente de la ruta que une Calama y San Pedro, se observa una revancha o borde libre de aproximadamente 0,85 m, lo cual es inferior a la revancha mínima de diseño para este tipo de obra. Se observa también que, las defensas de gaviones inmediatamente aguas abajo del puente, también se ven sobrepasadas inundando construcciones en el sector de Conde Duque. La defensa de gaviones que se ubica al final de la calle Caracoles, se ve sobrepasada por su borde inicial, lo cual implica la posible falla de la obra por escurrimiento en su borde posterior el cual no cuenta con material de relleno que soporte al último nivel de gavión. Se produce la inundación de una de las dos construcciones situadas en la ribera izquierda del cauce a la altura del badén de Séquito.
- Para T=50 años, se produce un mayor aumento de predios y construcciones inundados. Las obras de defensa ubicadas inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del puente se ven sobrepasadas, ya que la altura de escurrimiento supera los 4 m. De los 4 km de obras de defensa fluvial y canalización del río San Pedro en el sector 2, solo 0,8 km de dicho tramo logran contener la crecida sin producir desbordes.
- Para T=100 años e inclusive para T=200 años, el puente permite el paso de ambas crecidas, sin que se alcance el nivel mínimo de la viga, sin embargo, la revancha o borde libre es inferior a 0,2 m. Se observan velocidades potencialmente erosivas en la sección del puente, sin embargo, se debe tener en cuenta las obras que se encuentra realizando la Dirección de Vialidad para la protección del puente, las cuales se componen por obras de defensa fluvial de gaviones de 4 niveles con revestimiento de hormigón armado, lo cual permite velocidades mayores. También, se debe verificar el comportamiento de esta obra en la situación con proyecto, ya que si bien es cierto permitirá la protección de las riberas, restringe aún más la sección de escurrimiento por lo que se podría tener como resultado que el puente se vea sobrepasado para las condiciones de crecida detrítica que se analizan en el presente estudio.

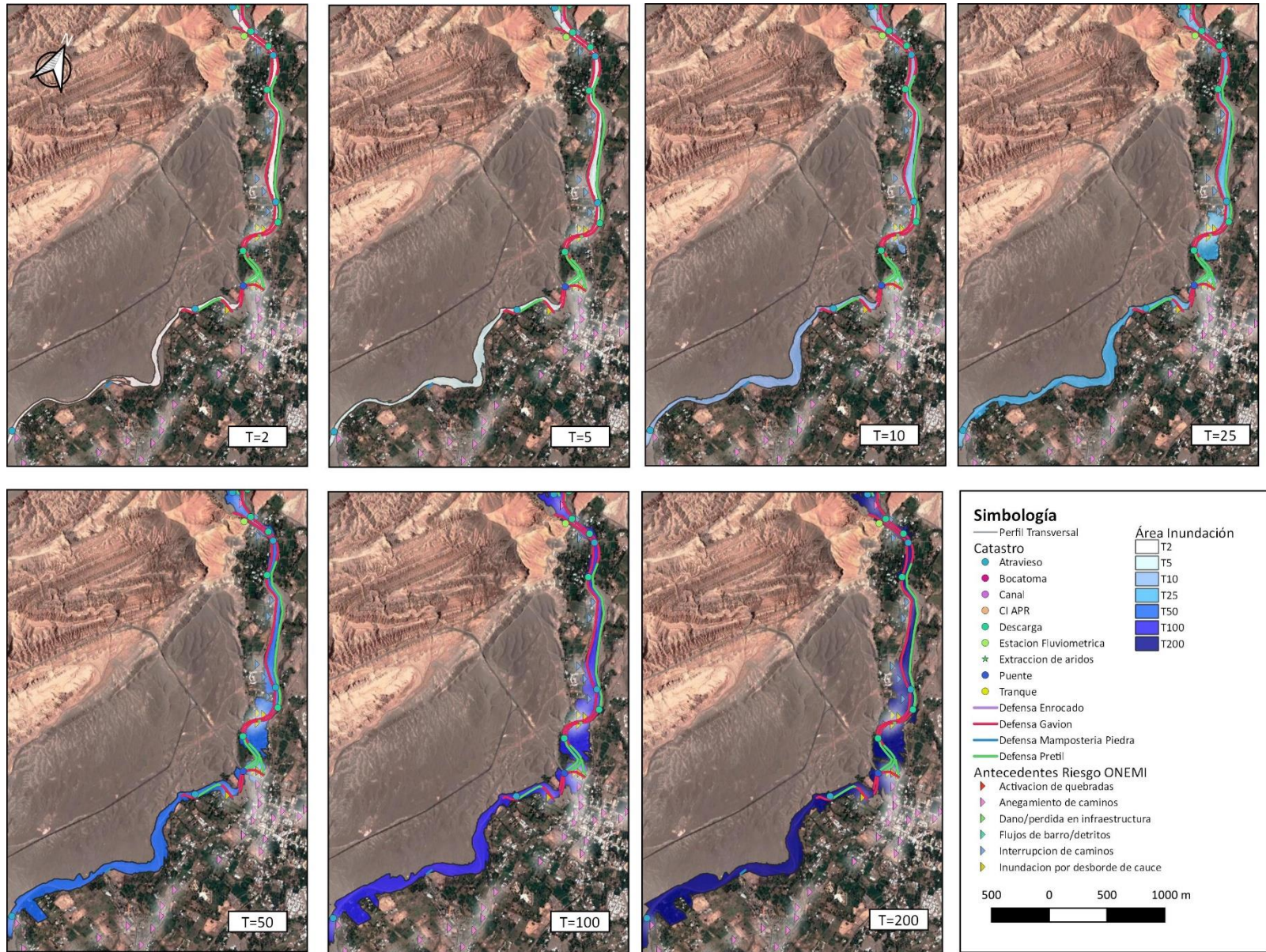


FIGURA 5-6: INUNDACIONES EN SECTOR 2 RÍO SAN PEDRO, SEGÚN T

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5-7, se observa las áreas de inundación en el sector S3 de río San Pedro, que se producirían para crecidas asociadas a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, cuyas zonas de inundación se ilustran en forma separada. Además, se destacan en dicha figura los puntos relevantes ubicados en el cauce, según el catastro realizado, tales como, defensas fluviales, atraviesos y otros.

En dicha Figura 5-7 se puede observar principalmente lo siguiente:

- Para T=2 años se observa en general que el río en forma natural se presenta bien encauzado en este tramo sin producirse desbordes. Las obras de arte permiten el paso del caudal del río San Pedro en el cruce con la Ruta Circunvalación
- Para T=5 años, el flujo en el cauce aumenta su ancho, se observa que se produce el embalsamiento de las aguas producto de la interferencia que produce la Ruta Circunvalación. Las obras de arte existentes no son capaces de evacuar el caudal del río y se produce desborde hacia ambas riberas, activándose el escurrimiento a través del paso bajo nivel (ruta tropera) que se encuentra en la ribera izquierda, dirigiéndose hacia pie de Séquitor. Además, se produce desborde hacia el camino y viviendas del Ayllu de Tulor, provocando que el Ayllu quede parcialmente desconectado.
- Para T=10 años, se produce la inundación de las cámaras de la tubería que alimenta el tranque de riego de Coyo, produciéndose también la inundación del tranque de riego. También se produce la inundación de una de las obras del sifón del canal Vilama.
- Para T=25 años, se produce un aumento en la superficie inundada incluyendo la inundación de infraestructura aparentemente correspondiente a corrales en sector de Séquitor, la cual se emplaza dentro de la planicie de inundación del río San Pedro. También se produce la inundación del camino que une Coyo y Tulor, provocando que este último quede completamente desconectado a partir del evento de 25 años de periodo de retorno.
- Para T=50 años, se produce un mayor aumento de predios inundados, afectando tanto a los Ayllu de Coyo y Tulor. Cabe mencionar que, existen tramos en que la topografía disponible no permite representar el alcance completo del área inundada, debido a que se trata de amplias extensiones de terreno con muy baja pendiente, por lo que se presume que se produciría afectación del sector de pie de Séquitor y que la ruta de circunvalación podría verse sobrepasada en el punto bajo que existe frente a pie de Séquitor y dicho escurrimiento, a su vez, podría provocar la inundación del Ayllu de Beter.
- Para T=100 años se produce un aumento mayor de la inundación del Ayllu de Tulor. Se produce también la afectación del predio que la comunidad de Coyo indicó está proyectada la construcción de 20 viviendas, el cual se encuentra contiguo al terreno de acopio de áridos.

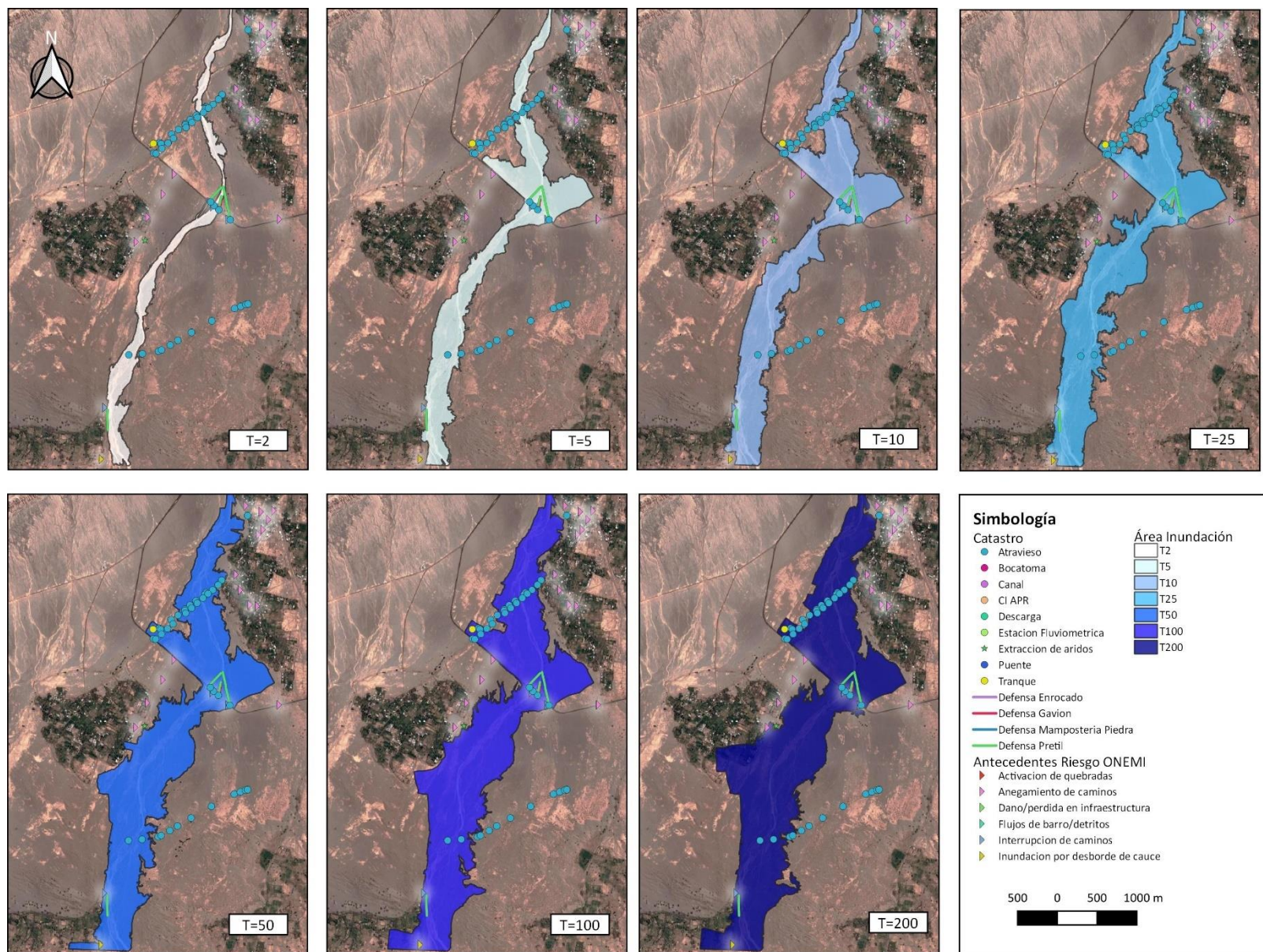


FIGURA 5-7: INUNDACIONES EN SECTOR 3 RÍO SAN PEDRO, SEGÚN T

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5-8, se observa las áreas de inundación en el sector S4 en río Vilama, que se producirían para crecidas asociadas a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, cuyas zonas de inundación se ilustran en forma separada. Además, se destacan en dicha figura los puntos relevantes ubicados en el cauce, según el catastro realizado, tales como, defensas fluviales, atravesos y otros. En dicha se puede observar principalmente lo siguiente:

- Para T=2 años hasta T=50 años se observa en general que el río está bien encauzado en este tramo sin producirse desborde hacia el Ayllu de Vilama.
- A partir de T=10 años se producen velocidades superiores a 2 m/s lo que se considera erosivo para los tramos de pretil que presenta el río Vilama en el área de estudio.
- Para T=100 años se produce desborde sobre el pretil de la ribera izquierda a partir de los 250 m aguas abajo del punto de inicio del tramo de estudio.
- Para T=200 años se produce un aumento de la superficie de inundación, tanto en la ribera izquierda como en el tramo final del encauzamiento del río. Sin embargo, no se produce afectación de la infraestructura existente asociada a la planta de APR. En los últimos 50 m del tramo de estudio, se produce una baja abrupta de la velocidad de escurrimiento producto del aumento del área de escurrimiento. En este caso, como se trata de la activación de más brazos de escurrimiento, el resultado que mejor representa este tramo es el que se obtiene con el modelo 2D.

Cabe destacar que los resultados que se presentan deberán ser actualizados acorde a los resultados que se obtengan para todos los periodos de retorno que se estudian con el modelo 2D. Por ejemplo, en el caso del periodo de retorno 100 años, el modelo 1D no muestra que se produzca desborde por la ribera derecha, mientras que el modelo 2D indica que se produce desborde a partir del kilómetro 0,4 donde se encuentra una cámara de inspección del APR Vilama. A partir de este punto, el modelo 2D muestra que el flujo que se desborda escurre por un brazo del cauce que se encuentra a menor cota, lo cual es consistente con lo visto en terreno y con el punto de riesgo de desborde que indica ONEMI.

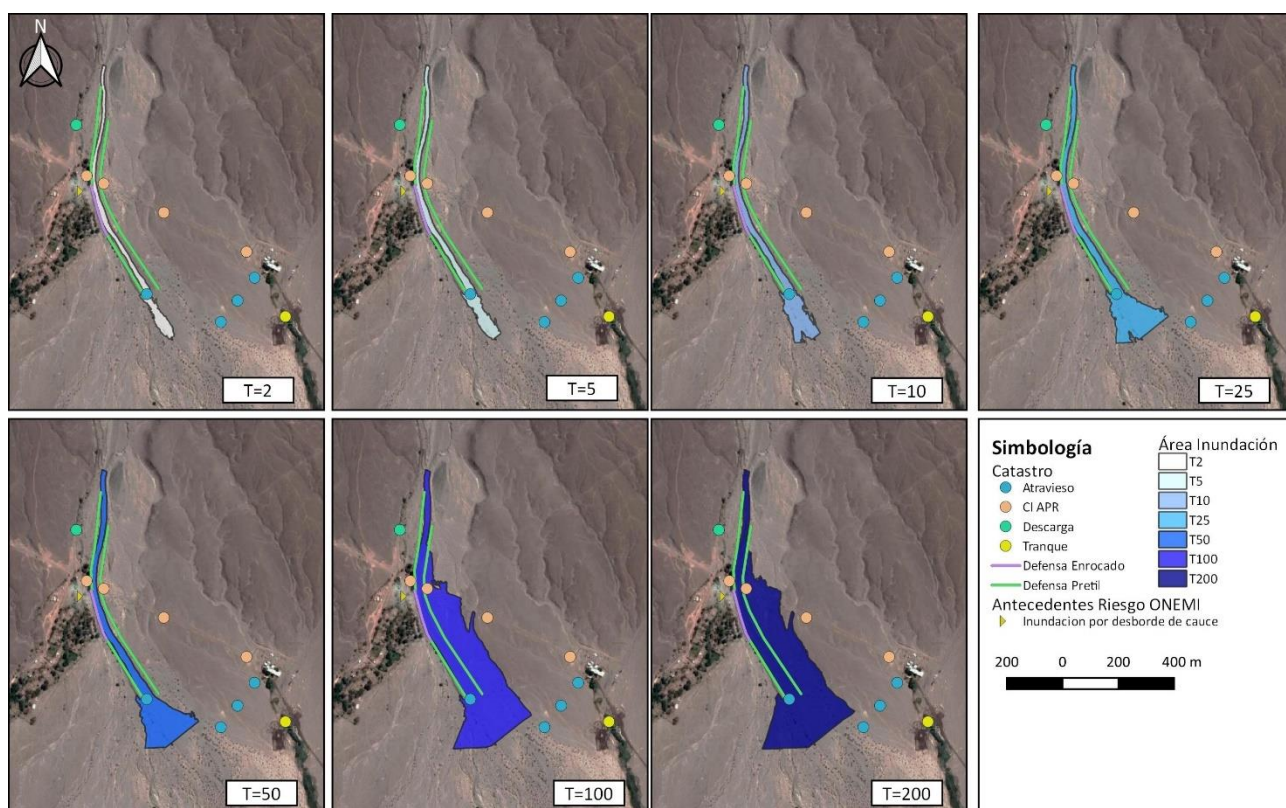


FIGURA 5-8: INUNDACIONES EN SECTOR 4 RÍO SAN VILAMA, SEGÚN T

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Identificación, Caracterización Socioeconómica y Valoración Económica de los Daños del Evento de febrero de 2019

En el Cuadro 5-1 se presenta un resumen de los daños catastrados que se pudieron identificar señalando, en lo posible, las cantidades de las unidades que han sido estimadas para cada ítem.

CUADRO 5-1: RESUMEN DE CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS

Ítem	Unidad	Cantidad
Población fallecida o desaparecida	N°	0
Viviendas afectadas por crecida		
Altura de inundación 30 - 60 cm	N°	5
Altura de inundación >60 cm	N°	58
Damnificados y Albergados		
Damnificados	N°	334
Albergados (promedio de personas por día)	Pers/día	46
Raciones alimenticias	N°	4.593
Raciones alimenticias JUNAEB	N°	1.041
Caja de Alimentos	N°	36
Agua	m3	13.330.000
Frazadas	N°	8.000
Bobina film plástico	N°	68
Kit aseo domiciliario	N°	117
Sacos control aluvional	N°	840

CUADRO 5-1: RESUMEN DE CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS

Ítem	Unidad	Cantidad
Carretillas	N°	20
Mascarillas	caja 50	21
Linternas	N°	10
Colchones	N°	405
Agua (formato botellas 500 ML)	L	8.500
Daños en cauces naturales		
Colapso de gaviones existentes en Ayllu de Quitur Sector Bajo	%	40
Colapso de gaviones existentes en Ayllu de Quitur Sector Medio	%	100
Colapso de gaviones existentes en Pucara de Quitur Sector Alto	%	30
Gaviones existentes sobrepasados Ayllu Conde Duque	S/I	S/I
Colapso de gaviones existente en Sector Alto de Ayllu Conde Duque	%	100
Gaviones existentes sobrepasados en Ayllu de Tulor	S/I	S/I
Daños agricultura		
Superficie Frutales afectada	Ha	4,77
Superficie Hortalizas afectadas	Ha	5,24
Superficie Forrajeras afectadas	Ha	13,9
Ganado afectado	N°	491
Canales	Metros	205
Bocatomas	N°	2
Daños Salud		
Vacunas Hepatitis A administradas	N°	238
Daños en turismo		
Disminución Unidades de Alojamiento Ocupadas en 2019	N°	297,8

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 5-2 se presenta el resumen de la valorización económica de los daños catastrado que se pudo identificar. Al observar estos valores, que corresponden sólo a los directamente relacionados al área de estudio, se puede concluir que el 34% de los daños económicos corresponden al ítem “proyectos adjudicados de limpieza y conservación de cauce y riberas”, seguido por “proyectos conservación de la red vial” (20%) y “pérdida de micro y pequeñas empresas” (19%). Lo anterior, da cuenta de lo importante que puede resultar como medida preventiva la consideración de obras para la contención y mitigación de los daños por crecidas, ya que, además de la protección de la vida humana y animal, los efectos positivos se pueden apreciar en el propio cauce y en la infraestructura pública y privada que sostiene el resto de la actividad económica.

CUADRO 5-2: DAÑOS ASIGNABLES A LAS CRECIDAS DE 2019 EN EL ÁREA DE ESTUDIO (\$)

Ítem	Monto total (\$)
Viviendas afectadas por crecida	
Altura de inundación > 30 y ≤ 60	\$ 12.257.570
Altura de inundación > 60	\$ 204.175.299
Damnificados y Albergados	
Recursos desplegados por ONEMI para damnificados y albergados	\$ 899.892.257
Raciones JUNAEB	\$ 2.252.724
Aportes de otros Municipios	\$ 14.949.663
Aportes de Privados	\$ 9.578.000
Daños en Cauces Naturales	
Proyectos adjudicados de limpieza y conservación de cauce y riberas	\$ 1.925.112.943
Daños en Agricultura	
Superficies de cultivos afectadas	\$ 113.871.229

CUADRO 5-2: DAÑOS ASIGNABLES A LAS CRECIDAS DE 2019 EN EL ÁREA DE ESTUDIO (\$)

Ítem	Monto total (\$)
Ganado	\$ 32.832.100
Infraestructura agrícola	\$ 131.333.710
Aportes Emergencia INDAP	\$ 14.952.650
Daño Infraestructura vial	
Proyecto conservación de la Red Vial	\$ 1.163.349.711
Daños Salud	
Vacunas administradas Hepatitis A	\$ 2.689.400
Daños en Turismo	
Pérdida por baja en la ocupación de Unidades de Alojamiento	\$ 31.215.153
Daños en Comercio	
Pérdidas de micro y pequeñas empresas	\$ 1.078.530.000
TOTAL	\$ 5.634.739.685

Fuente: Elaboración propia.

6. PLAN DE MANEJO DE CAUCE**6.1. Objetivos Propuestos para el plan de Manejo de Cauces**

Con el fin de establecer un marco adecuado que permitiera dirigir las medidas propuestas en el presente Plan de Manejo, se definieron 5 objetivos generales transversales a toda el área de estudio, de los cuales se desprenden 10 objetivos específicos, también aplicables a toda el área que pueden responder a más de un objetivo general (Cuadro 6-1). Esta definición consideró un horizonte de cumplimiento de 5 hasta 10 años.

Se estableció como primer objetivo específico, dada su importancia y la incidencia sobre otros objetivos, al correspondiente a la definición del espacio mínimo fluvial, entendido esto como el ancho del cauce que este podría ocupar frente a los eventos periódicos de crecidas y que busca reducir los efectos negativos de estas crecidas frecuentes sobre personas, bienes e infraestructura. Se propone como espacio mínimo fluvial al asociado a la línea geomorfológica de la ribera propuesta como parte del análisis realizado en el presente estudio.

Si bien los objetivos generales y específicos se definieron de forma transversal para toda el área de estudio, es necesario indicar que dicha área no es homogénea desde el punto de vista de las condiciones hidráulicas y mecánica fluviales, como tampoco respecto de los usos que aquí se presentan ni de las necesidades de la comunidad y usuarios de los cauces y quebradas afluentes. Por este motivo, se identificó los objetivos específicos atingentes a cada sector según sus necesidades. Sin embargo, se determinó como objetivos específicos transversales a todos los sectores siguientes: (i) Mejorar la coordinación institucional, a distinto nivel, en los quehaceres referidos al manejo de cauces; y (ii) Promover la educación ambiental de la población, incentivando la participación ciudadana en el control de cauces y en la reducción de la vulnerabilidad.

CUADRO 6-1: OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS DEL PLAN DE MANEJO

		OBJETIVOS GENERALES				
		A	B	C	D	E
OBJETIVOS ESPECÍFICOS		Ordenar las actividades y/o usos que se realicen en el cauce y en las riberas adyacentes, dentro del marco de las necesidades hidráulicas del cauce.	Fomentar el uso apropiado del suelo en aquellos sectores vulnerables por erosión y/o inundación o remoción en masa.	Reducir la vulnerabilidad de la población, actividad agrícola, e infraestructura relevante frente a riesgos de inundación y remoción en masa.	Favorecer el manejo sustentable del cauce, quebradas y su entorno, compatibilizando la reducción del riesgo frente a crecidas y remociones en masa con el cuidado ambiental.	Propiciar la coordinación institucional entre organismos públicos, en sus distintos niveles, para el manejo integrado de cauces¹.
1	Definición del espacio mínimo fluvial	X	X	X		
2	Regular la extracción de áridos	X	X		X	X
3	Regular botaderos formales e informales en el cauce y en zonas aledañas	X	X		X	X
4	Orientar la protección de zonas agrícolas	X	X	X		X
5	Proteger zonas pobladas	X	X	X		X
6	Proteger la infraestructura pública (puentes, caminos)			X		X
7	Proteger el ambiente y prevenir la contaminación				X	X
8	Regular la actividad recreacional expuesta a riesgo	X	X	X		X
9	Generar una mesa de trabajo de coordinación interinstitucional para el manejo integrado de cauces ¹ .	X	X			X
10	Generar instancias de participación ciudadana para abordar temática de educación ambiental, con vinculación de organismos públicos, respecto al control de cauces y la reducción de la vulnerabilidad.			X	X	X

Fuente: Elaboración propia

¹Se entenderá por Manejo Integrado de Cauce, a las intervenciones directas o indirectas de un cauce, propiciadas por medidas estructurales y no estructurales, en ámbitos técnicos, administrativos y legales, que permitan, en su conjunto, abordar aspectos de manejo de cuencas y planificación territorial en zonas de riesgos de inundación por crecidas.

6.2. Medidas Estructurales

En el Cuadro 6-2 se expone las medidas estructurales de tipo general (código “ES”) propuestas para toda el área de estudio, con el correspondiente resumen del diagnóstico hidráulico que justifica la solución. Asimismo, se presenta en la Figura 6-1 a la Figura 6-4 la ubicación de soluciones estructurales propuestas por el Plan de Manejo de Cauce.

Cabe mencionar que, en las figuras presentadas, se incluye también los predios que potencialmente se deba expropiar para materializar algunas de las soluciones estructurales propuestas. Si bien es cierto que se busca evitar realizar expropiación, existen sectores en el tramo intermedio (Sector 2) en que el cauce del río San Pedro se encuentra confinado a una sección menor a la sección natural que el cauce presenta en el sector 1 y en los que se requiere ampliar la capacidad de porteo del cauce. Por lo tanto, en dichos sectores la medida propuesta se justifica en que la superficie potencialmente a expropiar es significativamente menor a la superficie inundable.

CUADRO 6-2: SOLUCIONES ESTRUCTURALES

DIAGNÓSTICO			DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES				
SECTOR	Km	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	CATEGORÍA	OBRA	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
S1	0,7 al 8,4	Camino principal de Catarpe queda interrumpido en los puntos de atraveso del cauce y en los tramos en que el trazado está en la caja del cauce para crecidas de bajo periodo de retorno	S1-ES-01	Garantizar Conectividad	Pretil Defensa Fluvial y Mejoramiento camino	Realizar un mejoramiento de trazado del camino, junto con las obras de arte necesarias para que cumpla su función al menos hasta T=25 años	Vialidad
S1	0,4	Canal de riego, predio y sector de vivienda en ribera derecha son inundados por la crecida de T=100 años	S1-ES-02	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	Se agrega defensa fluvial siguiendo el trazado del canal de riego existente	DOH
S1	0,65	Defensa fluvial de gaviones ubicada en la ribera derecha (km 0,65) en sector Cuchabrachi, es sobrepasada para T=25 años.	S1-ES-03	Protección de la Población	Defensa Fluvial	Extensión y Mejoramiento de la obra existente, con altura aproximada de 3 m	DOH
S1	0,73	Acceso a vivienda en ribera derecha no cuenta con obra de arte de cruce del río	S1-ES-OA1	Garantizar Conectividad	Baden	Se agrega un badén diseñado para periodo de retorno T=5 años	Vialidad
S1	1,2	Viviendas en ribera izquierda (km 1,2) en sector Cuchabrachi, se inundan para T=50 años y se presentan velocidades erosivas en el tramo	S1-ES-04	Protección de la Población	Defensa Fluvial	Se agrega tramo de gaviones de altura aproximada 3 m que permitan proteger el camino de acceso y las viviendas. La obra se mejora para T=100 años.	DOH
S1	1,4	La bocatoma del canal Patilla en la ribera derecha, se encuentra "colgada", producto de la erosión del fondo del lecho (km 1,4)	S1-ES-05	Control de Erosión	Gabión sábana	Obra tipo muro guarda radier en forma puntual en forma puntual en sector de bocatoma, combinado con la propagación de vegetación ribereña que permita estabilizar el lecho y controlar el efecto erosivo del flujo	DOH/CNR/Regantes
S1	1,75	Defensa fluvial en ribera izquierda en sector Catarpe (km 1,75), es sobrepasada para T=25 años	S1-ES-06	Protección de la Población	Defensa Fluvial	Se elimina obra existente, ya que no cierra paso al flujo tras los gaviones	DOH
S1	1,86	Descarga de la quebrada el Diablo está ubicada sobre el nuevo trazado de camino a Catarpe, se requiere obra de arte	S1-ES-OA2	Garantizar conectividad	Puente de Madera	Se agrega un puente de madera para el cruce del sector de descarga de la quebrada	Vialidad
S1	2,0	Sector cercano a sede comunitaria Catarpe en ribera izquierda (km2,0) se inunda para T=25 años	S1-ES-07	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	Se agrega obra de defensa fluvial que empalma con ladera de cerro y permite direccionar la descarga de quebrada lateral. La obra se mejora para T=100 años.	DOH
S1	4,24	Acceso a vivienda y predios agrícolas en ribera derecha no cuenta con obra de arte de cruce del río	S1-ES-OA3	Garantizar Conectividad	Badén	Se agrega un badén diseñado para periodo de retorno T=5 años	Vialidad
S1	5,0 al 5,9	Atraveso camino principal de acceso a Catarpe (km 5,1). La obra es sobrepasada a partir de T=5 años	S1-ES-08	Garantizar Conectividad	Defensa Fluvial	Se realiza encauzamiento del río San Pedro y obra de defensa fluvial	DOH
S1	5,15	Descarga de la quebrada el Chulakao está ubicada sobre el nuevo trazado de camino a Catarpe, se requiere obra de arte	S1-ES-OA4	Garantizar Conectividad	Puente de Madera	Se agrega un puente de madera para el cruce del sector de descarga de la quebrada	Vialidad
S1	5,8	Bocatoma canal Huachar en ribera izquierda (km 5,8). Se producen velocidades potencialmente erosivas a partir de T=10años y desborde hacia la obra a partir de T=25 años	S1-ES-09	Protección Infraestructura	Obra de protección	Se cambia el punto de captura de la bocatoma al Km 5,4 se protege la toma con muro de hormigón y se realiza canalización de conexión	DOH/CNR/Regantes
S1	6,3	Inundación de viviendas para T=100 años aguas arriba de tranque Huachar (km6,3), en ribera izquierda	S1-ES-10	Protección de la Población	Defensa Fluvial	Tramo puntual de gaviones para evitar inundación de viviendas. La obra se diseña para T=100 años.	DOH
S1	7,0	Acceso a vivienda y predios agrícolas en ribera derecha no cuenta con obra de arte de cruce del río	S1-ES-OA5	Garantizar Conectividad	Badén	Se agrega un badén diseñado para periodo de retorno T=5 años	Vialidad
S1	7,5 al 8,7	Pretil ribera izquierda en sector de barrera de acceso a Catarpe (km8,05) es sobrepasado a partir de T=10 años	S1-ES-11	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	Encauzamiento río San Pedro. Modificación pretil existente, aumentando cota de coronamiento a al menos 3 m sobre nivel del fondo del cauce. La obra se mejora para T=25 años.	DOH
S1	8,4	Sector que se utiliza como atraveso de una ribera a otra del río San Pedro en punto de garita de acceso a Catarpe no cuenta con obra de arte de cruce del río	S1-ES-OA6	Garantizar Conectividad	Badén	Se agrega un badén diseñado para periodo de retorno T=5 años	Vialidad
S2	8,7 al 8,95	La Defensa Fluvial de ambas riberas en Sector Quito es sobrepasada a contar de T=25 años	S2-ES-01	Protección de la Población	Defensa Fluvial	Rediseño y mejoramiento de la obra existente. La obra se debe desplazar para aumentar sección del cauce para T=100 años.	DOH
S2	8,95	Atraveso camino acceso a sector Pucará de Quito, no es factible el atraveso para T=5 años	S2-ES-02	Obra de Cruce	Pasarela	Implementar pasarela peatonal que permite cruzar el cauce de Quito alto a Quito bajo en periodo de lluvias estivales	Municipalidad/Serviu
S2	9,2 al 9,65	Se produce desborde del cauce en ribera izquierda para la crecida de T=100 años, generándose un escurrimiento paralelo detrás del pretil existente que continúa e ingresa hacia el poblado de San Pedro por calle Domingo Atienza	S2-ES-03	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	Se agrega obra de defensa fluvial aumentando la sección de escurrimiento del cauce y evitando desborde para T=100 años	DOH
S2	9,2 al 9,75	Se produce desborde del cauce en ribera izquierda para la crecida de T=100 años, generándose inundación de viviendas y un escurrimiento paralelo al cauce	S2-ES-04	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	Se agrega obra de defensa fluvial aumentando la sección de escurrimiento del cauce y evitando desborde para T=100 años	DOH
S2	10,35	Defensa fluvial ribera derecha y atraveso Domingo Atienza, no es factible el atraveso para T=5 años	S2-ES-05	Obra de Cruce	Pasarela	Implementar pasarela peatonal que permite cruzar el cauce desde Domingo Atienza hacia la ribera poniente	Municipalidad/Serviu
S2	9,85 al 10,8	Defensas fluviales en Sector angostamiento cauce en Domingo Atienza. Las obras se desbordan a contar de T=5 años	S2-ES-06	Protección de la Población	Encauzamiento y defensa fluvial	Se propone devolver la sección original al cauce en este tramo. En una longitud de aproximadamente 1050 m se debe ampliar el ancho del cauce hasta los márgenes que delimitan la línea de árboles en cada ribera. Lo anterior implica desalojar toma y realizar expropiaciones	DOH

CUADRO 6-2: SOLUCIONES ESTRUCTURALES

DIAGNÓSTICO			DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES				
SECTOR	Km	DESCRIPCION	CÓDIGO	CATEGORÍA	OBRA	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
S2	10,6 al 11,1	Defensas fluviales en Sector angostamiento cauce en Domingo Atienza. Las obras se desbordan a contar de T=5 años	S2-ES-07	Protección de la Población	Encauzamiento	Se propone devolver la sección original al cauce en este tramo. En una longitud de aproximadamente 475 m se debe ampliar el ancho del cauce hasta los márgenes que delimitan la línea de árboles en cada ribera. Lo anterior implica eliminar camino lateral en ribera izquierda y realizar expropiaciones	DOH
S2	11,3 al 11,65	Se produce desborde del cauce en la ribera derecha, aguas abajo del puente de acceso a San Pedro para la crecida de 100 años. Se inunda vivienda.	S2-ES-08	Evitar Desbordamiento	Puente, Defensa fluvial y encauzamiento	Se propone incrementar el ancho del puente, para que esta solución sea efectiva se debe mejorar el trazado del cauce aguas abajo, mejorar la sección e incluir obra de defensa en ribera derecha	DOH
S2	11,9	Sector de cruce del río desde la calle Caracoles, que permite conectar hacia camino a Calama y hacia camino a Coyo no cuenta con obra de cruce del río	S2-ES-OA1	Garantizar Conectividad	Badén	Se agrega un badén diseñado para periodo de retorno T=5 años	Vialidad
S2	11,55 al 19,5	Defensa fluvial sector Conde Duque (km 11,65). Se produce desborde hacia las viviendas para T=25 años	S2-ES-09	Protección de la Población	Defensa fluvial y encauzamiento	Se debe aumentar la altura de la defensa junto con mejorar el encauzamiento del río en sector de curva pronunciada. La obra se mejora para T=100 años.	DOH
S2	12,05 al 12,15	Defensa fluvial sector Cruce calle Caracoles (km 12). Se desborda para T=25 años	S2-ES-10	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	Se agregan 3 espigones botadores y se debe extender la obra de defensa existente hacia aguas abajo hasta empalmar con tramo recto del cauce. La obra se mejora para T=100 años.	DOH
S2	12,65 al 12,9	Se produce desborde del cauce en Km 12,75 generándose un brazo secundario y paralelo al río para la crecida de 100 años. Dicho desborde inunda camino y viviendas de Ayllu Yaye	S2-ES-11	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	Se incorpora obra de defensa fluvial paralela a camino existente que permite evitar desborde para T100 años	DOH
S2	13 al 14,7	Sector badén acceso Séquitur. Se produce inundación de viviendas a contar de T=25	S2-ES-12	Evitar Desbordamiento	Defensa fluvial y encauzamiento	Deshabilitar las construcciones que se encuentran en el borde y proteger el resto de viviendas que están más alejadas del borde	DOH
S2	14,3	Sector de cruce del río desde la rotonda Séquitur, que permite conectar hacia camino a Calama y hacia camino a Coyo no cuenta con obra de cruce del río	S2-ES-OA2	Garantizar Conectividad	Badén	Se agrega un badén diseñado para periodo de retorno T=5 años	Vialidad
S3	15,7 al 16,75	Canal de riego y Postación eléctrica hacia Coyo (km15,95). Se produce inundación a partir de T=5 años	S3-ES-01	Protección Infraestructura	Gavión de protección	Se agrega obra de protección de contorno mediante 2 niveles de gaviones	Regantes/empresa servicio electricidad
S3	17,25	Atraveso ruta Circunvalación. A partir de T=5 años, el cauce desborda por sobre la ruta	S3-ES-02	Garantizar Conectividad	Puente	Se debe rediseñar la obra de atraveso considerando una obra de mayor tamaño, aumentando la cota de rasante de la ruta e incluir al menos una obra de arte adicional para el paso de las aguas de un brazo del cauce que se activa por la ribera derecha para caudales de mayor periodo de retorno. Esta obra debe ser diseñada para T=100 años	Vialidad
S3	17,6 al 18,7	Ayllu de Coyo. Se produce desborde para T=50 años en km 18,3	S3-ES-03	Evitar Desbordamiento	Defensa fluvial	Se plantea un tramo de defensa fluvial tipo pretil a lo largo de todo el Ayllu que permita evitar que las aguas desborden hacia el camino. En la zona de mayor afectación, la defensa debe ser de un material más resistente	DOH
S3	19,6	Sector de cruce del río desde camino que une Coyo y Tulo, que permite conectar hacia Ayllú de Better no cuenta con obra de cruce del río	S3-ES-OA1	Garantizar Conectividad	Badén	Se agrega un badén diseñado para periodo de retorno T=5 años	Vialidad
S3	20,1 al 22,1	Pretil camino acceso a Tulo, se desborda a partir de T=10 años	S3-ES-04	Evitar Desbordamiento	Defensa fluvial	Extensión y mejoramiento del pretil, que proteja al menos para T=100 años. Se propone que la defensa sea de enrocados acorde a lo solicitado por la Comunidad	DOH
S4	0 al 0,6	Se produce desborde del pretil existente en ribera izquierda hacia sector de sitio arqueológico	S4-ES-01	Protección Patrimonial	Defensa fluvial	Mejoramiento de la sección del cauce y protección de ambas riberas mediante enrocado	DOH
S4	0,6 al 1,1	Pretil ribera derecha Vilama. Se produce desborde para T=100 años	S4-ES-02	Evitar Desbordamiento	Defensa fluvial	Perfilamiento del cauce siguiendo la línea geomorfológica de la ribera. Se incluye pretil de protección ribera derecha	DOH
S1, S2 y S3	-	-	GEN-ES-01	-	Señalética en Cauces	Incorporar señalética de áreas inundables del cauce, de usos del cauce, sectores patrimoniales y otros.	MunicipH6:K19alidad

Fuente: Elaboración propia

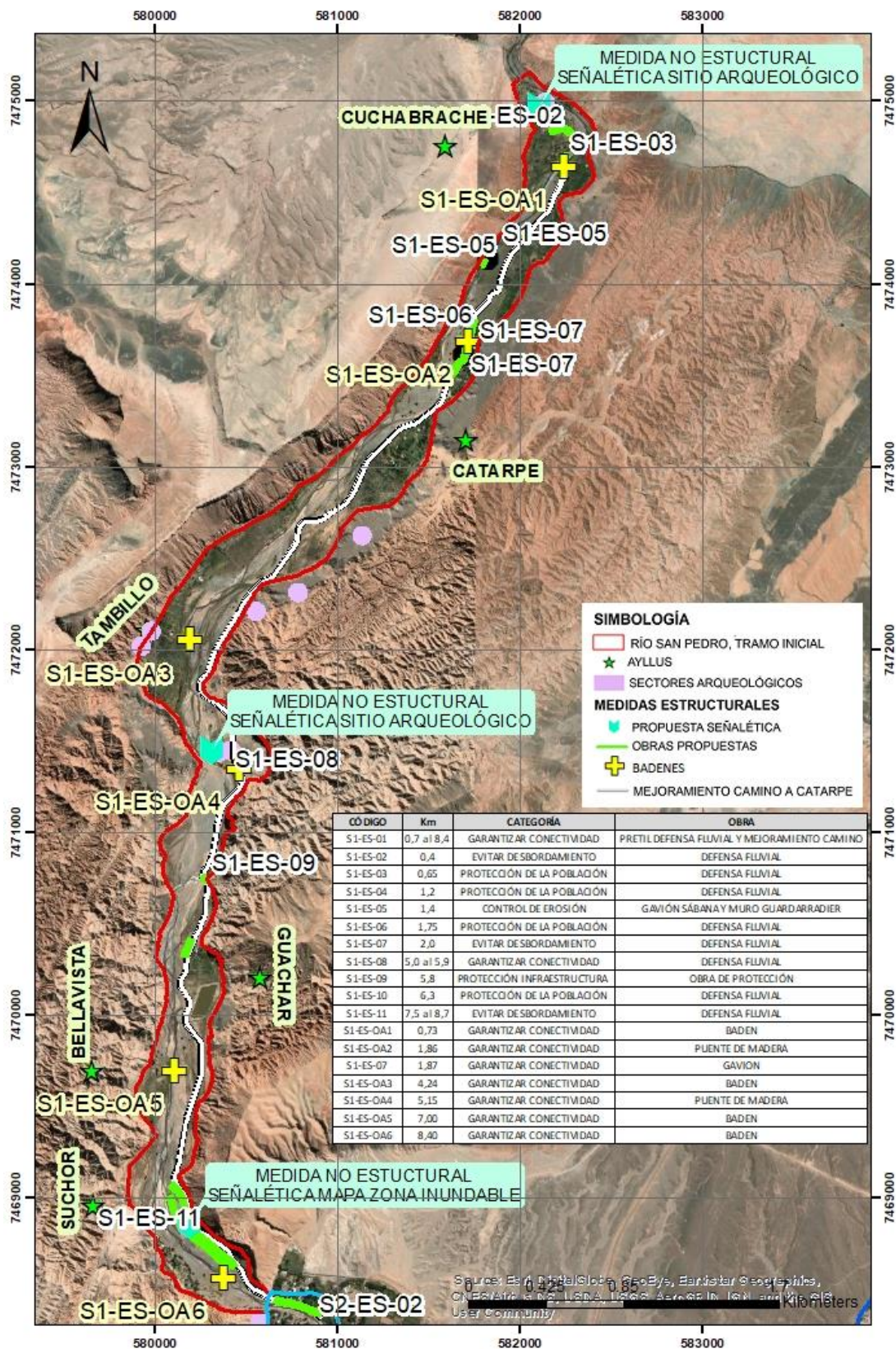


FIGURA 6-1: SOLUCIONES PROPUESTAS POR EL PLAN DE MANEJO – SECTOR 1

Fuente: Elaboración propia.

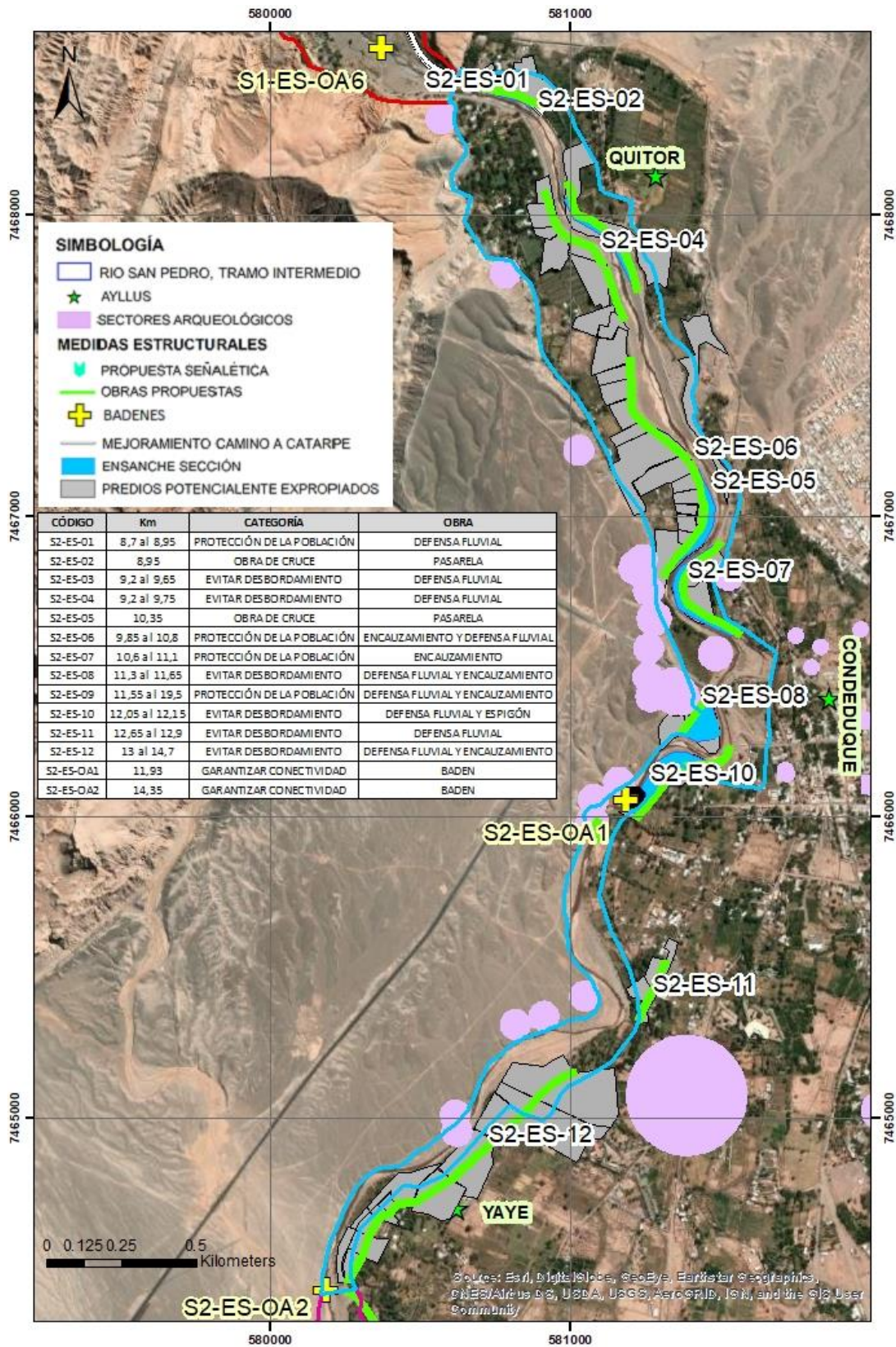


FIGURA 6-2: SOLUCIONES PROPUESTAS POR EL PLAN DE MANEJO – SECTOR 2

Fuente: Elaboración propia.

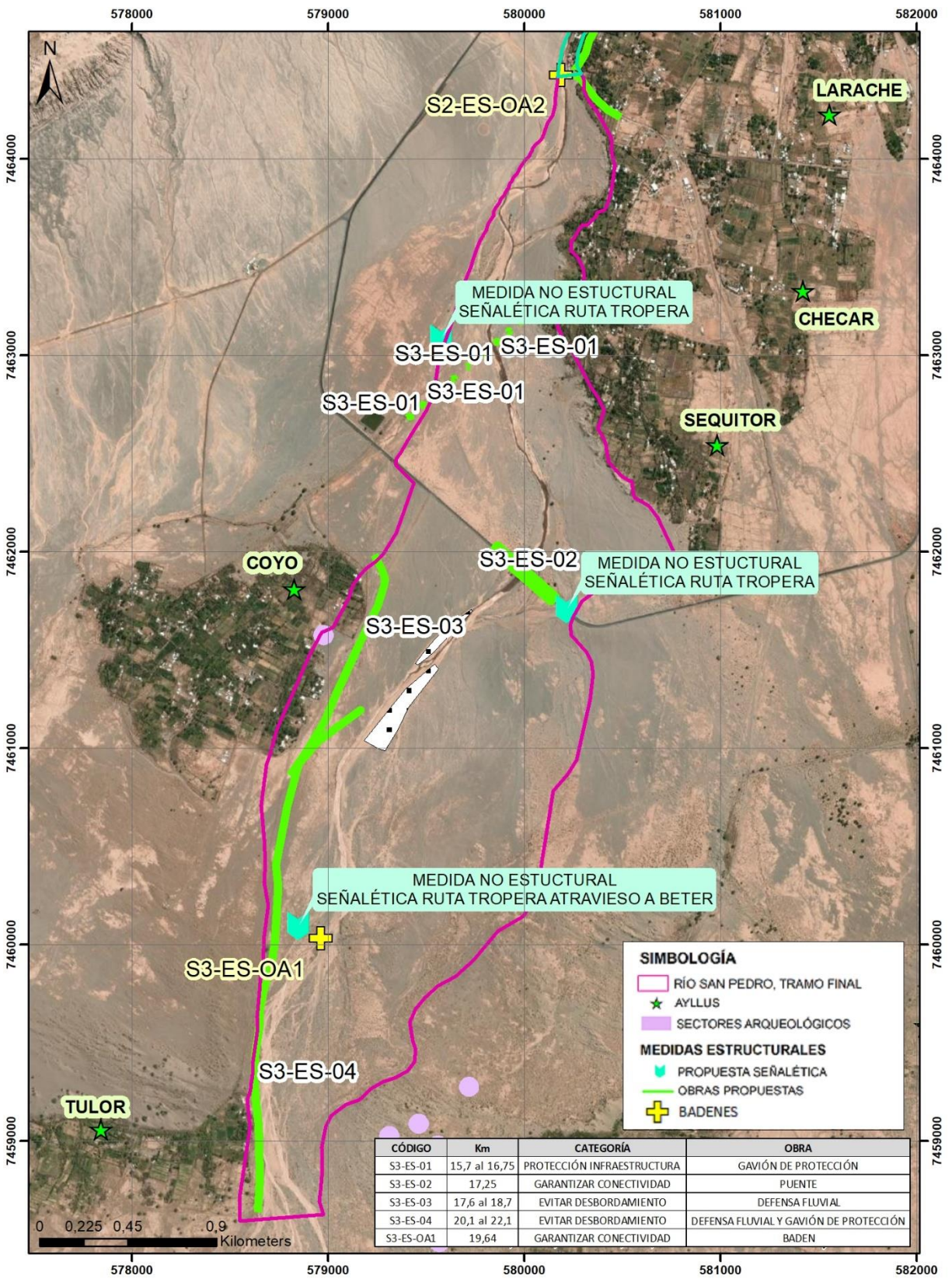


FIGURA 6-3: SOLUCIONES PROPUESTAS POR EL PLAN DE MANEJO – SECTOR 3

Fuente: Elaboración propia.

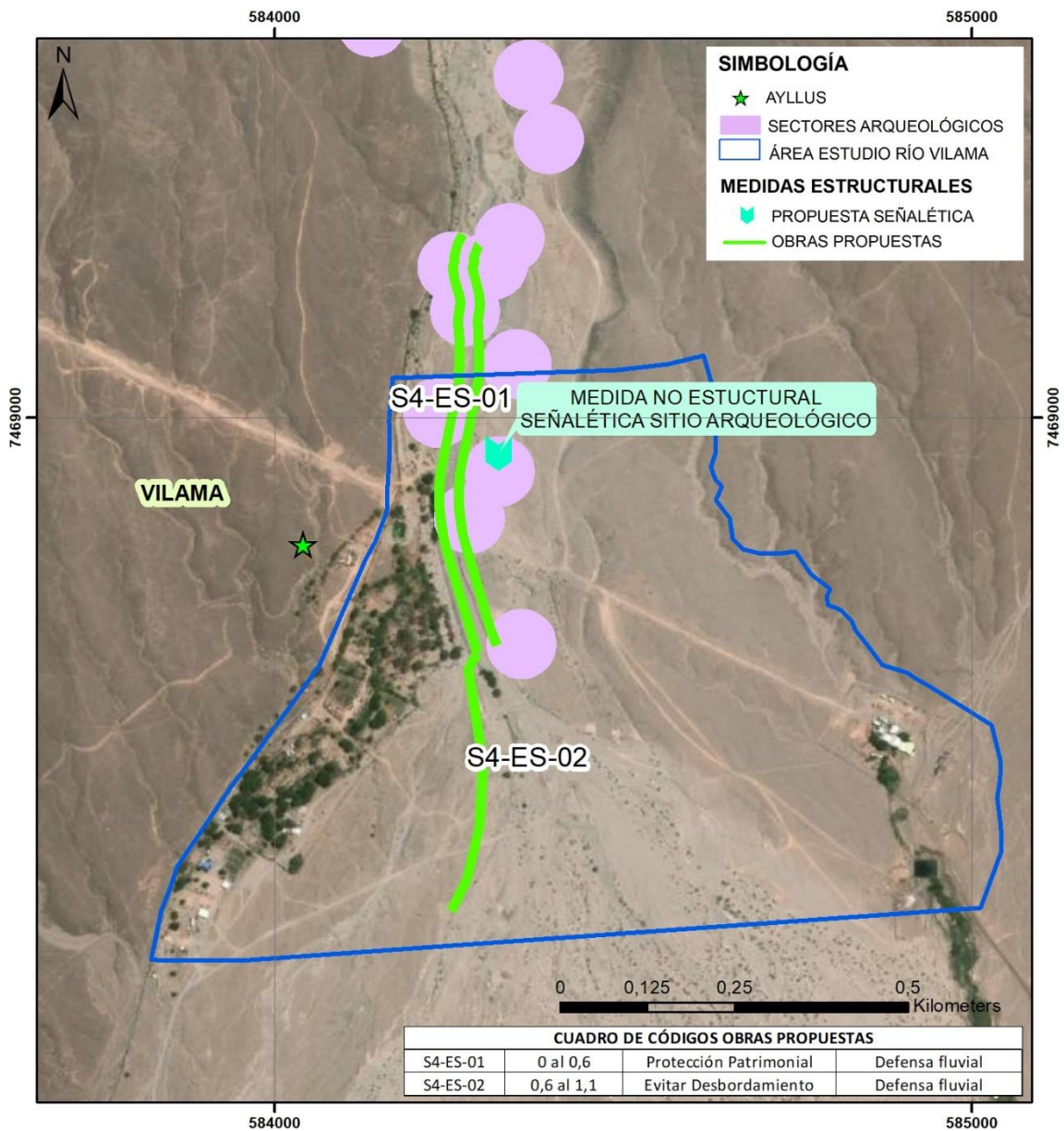


FIGURA 6-4: SOLUCIONES PROPUESTAS POR EL PLAN DE MANEJO – SECTOR 4

Fuente: Elaboración propia.

6.3. Evaluación Técnico-Económica de las Medidas Estructurales

En el Cuadro 6-3 se presentan los resultados del análisis costo-efectividad en términos del valor actual de los costos (VAC) y el costo anual equivalente (CAE).

CUADRO 6-3: RESULTADOS ANÁLISIS COSTO-EFECTIVIDAD

N°	Sector	Proyecto	VAC (\$)	CAE (\$)
1	S1	S1-ES-02	124.165.160	9.020.464
2	S1	S1-ES-03	215.008.630	15.620.143
3	S1	S1-ES-04	151.668.229	11.018.532
4	S1	S1-ES-05	26.986.028	1.960.506
5	S1	S1-ES-06	40.843.766	2.967.255
6	S1	S1-ES-07	145.000.818	10.534.152
7	S1	S1-ES-09	61.592.545	4.474.631
8	S1	S1-ES-10	166.753.245	12.114.442
9	S1	S1-ES-OA1	75.699.596	5.499.493
10	S1	S1-ES-OA2	103.489.616	7.518.408
11	S1	S1-ES-OA3	176.831.132	12.846.589
12	S1	S1-ES-OA4	176.831.132	12.846.589
13	S1	S1-ES-OA5	75.699.596	5.499.493
14	S1	S1-ES-OA6	75.699.596	5.499.493
15	S2	S2-ES-02	75.770.501	5.504.644
16	S2	S2-ES-05	73.388.688	5.331.608
17	S2	S2-ES-10	116.792.938	8.484.880
18	S2	S2-ES-11	205.032.336	14.895.376
19	S2	S2-ES-OA1	75.699.596	5.499.493
20	S2	S2-ES-OA2	75.699.596	5.499.493
21	S3	S3-ES-01	155.508.573	11.297.529
22	S3	S3-ES-03	256.293.382	18.619.435
23	S3	S3-ES-OA1	75.699.596	5.499.493

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en el Cuadro 6-4 se resumen los principales resultados de la Evaluación Costo Beneficio realizada a cada obra propuesta para el área de estudio. Como puede observarse, solo dos proyectos presentan de rentabilidad positiva S3-ES-02 y S3-ES-04, obteniendo la gran mayoría resultados muy bajos, principalmente debido a la poca densidad de población en las zonas afectadas y a que la infraestructura dañada es de tipo básico.

CUADRO 6-4: RESULTADOS ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

N°	Sector	Proyecto	VAN (\$)	TIR (%)	VAN / Inv.	Sup. / Inv. (m2/\$)	Infr. / Inv.	Superficie beneficiada (ha)	Infraestructura protegida (\$)
1	S1	S1-ES-08	-843.313.956	-1,1%	-0,79	0,000	0,1	1,3	84.370.304
2	S1	S1-ES-11	-1.640.531.711	-2,2%	-0,88	0,000	0,0	1,9	82.830.296
3	S2	S2-ES-01	-255.585.686	2,1%	-0,45	0,000	0,2	1,3	100.813.357
4	S2	S2-ES-03	-1.511.245.352	-0,9%	-0,76	0,000	0,1	2,9	166.167.906
5	S2	S2-ES-04	-143.882.667	4,4%	-0,19	0,000	0,2	4,0	185.268.538
6	S2	S2-ES-06	-496.577.374	2,9%	-0,36	0,000	0,2	7,9	271.759.964
7	S2	S2-ES-07	-146.907.650	4,4%	-0,19	0,000	0,3	2,9	196.109.178
8	S2	S2-ES-08	-1.245.650.690	0,2%	-0,64	0,000	0,1	2,2	177.692.046
9	S2	S2-ES-09	-526.636.725	1,3%	-0,53	0,000	0,1	18,4	88.089.267
10	S2	S2-ES-12	-161.738.943	4,1%	-0,22	0,000	0,1	27,9	80.139.048
11	S3	S3-ES-02	5.311.584.191	27,6%	2,88	0,000	0,3	23,3	599.706.349
12	S3	S3-ES-04	37.206.132	6,2%	0,03	0,000	0,3	17,8	410.290.777
13	S4	S4-ES-01	-307.429.155	1,3%	-0,53	0,000	0,1	3,4	54.172.381
14	S4	S4-ES-02	-720.190.278	-2,1%	-0,90	0,000	0,0	1,8	4.031.011

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se presentan en el Cuadro 6-5 y Cuadro 6-6 muestran la variación de la rentabilidad de cada proyecto evaluado con la metodología costo-beneficio en función del cambio de la inversión y los daños en Situación Sin Proyecto (daño evitado con la obra), respectivamente. Estos análisis confirman la no conveniencia, desde el punto de vista económico, de los proyectos que originalmente son no rentables.

CUADRO 6-5: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD VARIACIÓN DE LA INVERSIÓN

N°	Sector	Proyecto	Inversión -10%			Inversión +10%			Variación Necesaria para VAN=0
			VAN (\$)	TIR (%)	Variación VAN (%)	VAN (\$)	TIR (%)	Variación VAN (%)	
1	S1	S1-ES-08	-736.621.219	-0,8%	-12,65%	-950.006.692	-1,3%	12,65%	-79,0%
2	S1	S1-ES-11	-1.454.285.182	-2,0%	-11,35%	-1.826.778.240	-2,4%	11,35%	-88,1%
3	S2	S2-ES-01	-198.940.958	2,6%	-22,16%	-312.230.414	1,6%	22,16%	-45,1%
4	S2	S2-ES-03	-1.313.038.717	-0,6%	-13,12%	-1.709.451.988	-1,2%	13,12%	-76,2%
5	S2	S2-ES-04	-69.816.801	5,1%	-51,48%	-217.948.533	3,7%	51,48%	-19,4%
6	S2	S2-ES-06	-357.359.792	3,6%	-28,04%	-635.794.956	2,4%	28,04%	-35,7%
7	S2	S2-ES-07	-70.932.631	5,1%	-51,72%	-222.882.668	3,7%	51,72%	-19,3%
8	S2	S2-ES-08	-1.051.626.502	0,6%	-15,58%	-1.439.674.878	-0,2%	15,58%	-64,2%
9	S2	S2-ES-09	-426.607.820	1,8%	-18,99%	-626.665.630	0,9%	18,99%	-52,6%
10	S2	S2-ES-12	-89.535.176	4,8%	-44,64%	-233.942.711	3,5%	44,64%	-22,4%
11	S3	S3-ES-02	5.495.788.768	30,7%	3,47%	5.127.379.613	25,1%	-3,47%	288,4%
12	S3	S3-ES-04	170.462.006	7,1%	358,16%	-96.049.742	5,5%	-358,16%	2,8%
13	S4	S4-ES-01	-249.364.644	1,8%	-18,89%	-365.493.665	0,9%	18,89%	-52,9%
14	S4	S4-ES-02	-640.153.609	-2,0%	-11,11%	-800.226.946	-2,3%	11,11%	-90,0%

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 6-6: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD VARIACIÓN DEL DAÑO EVITADO

N°	Sector	Proyecto	Daños Sin Proyecto -10%			Daños Sin Proyecto +10%			Variación Necesaria para VAN=0
			VAN (\$)	TIR (%)	Variación VAN (%)	VAN (\$)	TIR (%)	Variación VAN (%)	
1	S1	S1-ES-08	-870.472.383	-1,4%	3,22%	-816.155.529	-0,9%	-3,22%	310,5%
2	S1	S1-ES-11	-1.667.894.138	-2,4%	1,67%	-1.613.169.284	-2,1%	-1,67%	599,6%
3	S2	S2-ES-01	-287.371.172	1,5%	12,44%	-223.800.200	2,6%	-12,44%	80,4%
4	S2	S2-ES-03	-1.564.240.487	-1,2%	3,51%	-1.458.250.218	-0,6%	-3,51%	285,2%
5	S2	S2-ES-04	-204.259.594	3,6%	41,96%	-83.505.741	5,1%	-41,96%	23,8%
6	S2	S2-ES-06	-587.238.287	2,3%	18,26%	-405.916.461	3,5%	-18,26%	54,8%
7	S2	S2-ES-07	-209.292.972	3,7%	42,47%	-84.522.328	5,1%	-42,47%	23,5%
8	S2	S2-ES-08	-1.316.210.877	-0,2%	5,66%	-1.175.090.503	0,5%	-5,66%	176,5%
9	S2	S2-ES-09	-575.013.750	0,9%	9,19%	-478.259.700	1,8%	-9,19%	108,9%
10	S2	S2-ES-12	-218.468.144	3,4%	35,07%	-105.009.743	4,8%	-35,07%	28,5%
11	S3	S3-ES-02	4.595.566.505	24,8%	-13,48%	6.027.601.876	30,4%	13,48%	-74,2%
12	S3	S3-ES-04	-105.311.407	5,4%	-383,05%	179.723.670	7,1%	383,05%	-2,6%
13	S4	S4-ES-01	-335.539.352	0,8%	9,14%	-279.318.957	1,8%	-9,14%	109,4%
14	S4	S4-ES-02	-733.451.384	-2,3%	1,84%	-706.929.172	-2,0%	-1,84%	543,1%

Fuente: Elaboración propia.

6.4. Medidas No Estructurales

En términos generales, como Medidas No Estructurales se utiliza la regulación de áreas con riesgo de inundación y/o erosión a través de planes reguladores.

Básicamente, los tipos de Medidas No Estructurales que se plantean son:

- Franja de restricción cauces naturales por inundación
- Establecimiento de áreas de exclusión para edificación permanente
- Fijación de deslindes
- Realizar planificación territorial mediante la actualización del Plan Regulador Comunal y elaboración de Plan Regulador Intercomunal, que incluyan los resultados del presente Estudio, con el fin de mitigar al máximo el impacto que las inundaciones producen en la población ribereña.
- Zonas donde la solución fluvial no es posible y debe buscarse una alternativa en la construcción de viviendas y similares.
- Plan de evacuación de aguas lluvias
- Señalización en las áreas de riesgo
- Desarrollar programas Difusión de resultados del Estudio y programas de educación a la población respecto de los riesgos de las crecidas y la importancia de la existencia de medidas referidas a la gestión del riesgo (Planes de evacuación y emergencia camino a Catarpe y zonas con restricción de uso de suelo).
- Desarrollo de un Plan de Manejo de Cauce del Río Vilama entre los ayllús de Vilama y Solor

6.5. Priorización de las Medidas Propuestas por el Plan

6.5.1. Medidas No Estructurales

En el Cuadro 6-7 se presenta la priorización de las medidas no estructurales propuestas.

6.5.2. Medidas Estructurales

En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta la priorización de las medidas estructurales propuestas.

CUADRO 6-7: PRIORIZACIÓN MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

N°	Tipo de Medida	Letra	Medida a Ejecutar	Institución Responsable	Dificultad para Implementar		Priorización
					Análisis	Nivel	
1	Definición del espacio fluvial de los cauces y sus usos	a	Definición de áreas de restricción de los cauces de los ríos San Pedro y Vilama por riesgo de inundación	Esta zonificación deberá ser considerada para integrar o complementar lo indicado en el Plan Regulador Comunal de San Pedro, mediante ordenanza municipal	Esta medida afecta todo tipo de propiedades, potencialmente requiere consulta indígena	ALTO	3° Prioridad
		b	Establecimiento de áreas de exclusión para edificación permanente en los ríos San Pedro y Vilama		Esta medida afecta todo tipo de propiedades, potencialmente requiere consulta indígena	ALTO	3° Prioridad
		c	Fijación de deslindes en los ríos San Pedro y Vilama	Ministerio de Bienes Nacionales	Requiere de estudio de títulos de toda el área de estudio.	ALTO	2° Prioridad
		d	Actualización de plan regulador intercomunal	Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Se encuentra en ejecución. Este instrumento de planificación territorial (IPT), se espera incorpore en sus definiciones las zonas con riesgo de inundación definidas en este estudio.	ALTO	1° Prioridad
		e	Plan de evacuación de aguas lluvias del área urbana y de expansión (informal) de la comuna de San Pedro de Atacama	DOH	Requiere de un exhaustivo estudio arqueológico de toda el área urbana y de expansión	ALTO	2° Prioridad
2	Explotación de Áridos	a	Definición de zonas donde se debe prohibir la extracción de áridos en los ríos San Pedro y Vilama	DOH y ordenanza Municipal - Comunidades Indígenas	Existen comunidades indígenas que realizan esta actividad ancestralmente, e incluso en forma mecanizada como la Comunidad de Coyo, por lo cual esta medida requiere diálogo con las comunidades y potencialmente una consulta indígena.	ALTO	1° Prioridad
3	Difusión y Educación	a	Programa de Difusión de resultados del Plan de Manejo de Cauces	DOH	Esta medida solo requiere de los resultados del PMC	BAJO	1° Prioridad
		b	Programa de Educación sobre los programas, planes y proyectos en desarrollo en los cauces	DOH	Esta medida solamente requiere del diseño y programación de las actividades por lo cual se considera de una baja dificultad de implementación	BAJO	1° Prioridad
4	Gestión del Riesgo	a	Plan de Evacuación y Emergencia para el uso del camino en sector de Catarpe	Municipalidad de San Pedro y Comunidad de Catarpe	Esta medida se plantea considerando ya implementadas las modificaciones al camino propuestas en este PMC, por lo cual requiere ir en paralelo con la materialización de dichas obras, que tendrían primera prioridad de ejecución.	BAJO	2° Prioridad
		b	Plan de Evacuación y Emergencia para zonas con restricción de uso de suelo	Municipalidad de San Pedro	Para la implementación de esta medida se requiere que estén implementadas las medidas de restricción al uso de suelo, o que se realice en forma paralela.	BAJO	2° Prioridad

Fuente: Elaboración propia en base a los Términos de Referencia del Estudio

Nota: Las medidas 4a y 4b se indican en 2da prioridad porque dependen de que se ejecuten otras medidas o se hagan en paralelo

CUADRO 6-8: MATRIZ DE PRIORIZACIÓN PLAN DE MANEJO DE CAUCE

MEDIDA N°	TIPO DE MEDIDA	DIAGNÓSTICO PROBLEMA	REQUERIMIENTO	MEDIDA A EJECUTAR	EVALUACIÓN DEL RIESGO QUE LA OBRA ELIMINA O AMINORA												EVALUACIÓN ECONÓMICA				PRIORIZACIÓN		
					HIDROLÓGICO		RIESGO A LAS PERSONAS		AISLAMIENTO		DAÑO A LAS PROPIEDADES		DAÑO A LOS CULTIVOS		DAÑO A LA INFRAESTRUCTURA		TOTAL DE PONDERACIÓN POR RIESGO	PRIORIZACIÓN POR RIESGO	INVERSIÓN			RENTABILIDAD	RESULTADO DE LA PONDERACIÓN DEL RIESGO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA
					EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN			BENEFICIO MEDIBLE	PONDERACIÓN POR INVERSIÓN			
1	Garantizar Conectividad	Camino principal de Catarpe queda interrumpido en los puntos de cruce del cauce y en los tramos en que el trazado está en la caja del cauce para crecidas de bajo periodo de retorno	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Pretil Defensa Fluvial y Mejoramiento camino	No	4	No	3	Si	1	No	3	No	3	No	4	18	4	Si	3	No	7	4a prioridad
2	Evitar Desbordamiento	Canal de riego, predio y sector de vivienda en ribera derecha son inundados por la crecida de T=100 años	Requerimiento del estudio	Defensa Fluvial	Si	1	Si	2	No	3	Si	2	Si	1	Si	2	11	2	Si	2	No	4	1a prioridad
3	Protección de la Población	Defensa fluvial de gaviones ubicada en la ribera derecha (km 0,65) en sector Cuchabrachi, es sobrepasada para T=25 años.	Requerimiento del estudio	Defensa Fluvial	Si	1	Si	2	No	3	Si	2	Si	2	Si	4	14	3	Si	3	No	6	3a prioridad
4	Garantizar Conectividad	Acceso a vivienda en ribera derecha no cuenta con obra de arte de cruce del río	Requerimiento del estudio	Baden	No	4	No	3	Si	2	No	3	No	3	Si	3	18	4	Si	2	No	6	3a prioridad
5	Protección de la Población	Viviendas en ribera izquierda (km 1,2) en sector Cuchabrachi, se inundan para T=50 años y se presentan velocidades erosivas en el tramo	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa Fluvial	Si	1	Si	2	No	3	Si	2	Si	2	Si	4	14	3	Si	2	No	5	2a prioridad
6	Control de Erosión	La bocatoma del canal Patilla en la ribera derecha, se encuentra "colgada", producto de la erosión del fondo del lecho (km 1,4)	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Gabión sábana	No	4	No	3	No	3	No	3	No	3	Si	2	18	4	Si	1	No	5	2a prioridad
7	Protección de la Población	Defensa fluvial en ribera izquierda en sector Catarpe (km 1,75), es sobrepasada para T=25 años	Requerimiento del estudio	Defensa Fluvial	Si	3	Si	3	No	3	Si	3	Si	3	Si	4	19	4	Si	1	No	5	2a prioridad
8	Garantizar conectividad	Descarga de la quebrada el Diablo está ubicada sobre el nuevo trazado de camino a Catarpe, se requiere obra de arte	Requerimiento del estudio	Puente de Madera	No	4	No	3	Si	2	No	3	No	3	Si	3	18	4	Si	2	No	6	3a prioridad
9	Evitar Desbordamiento	Sector cercano a sede comunitaria Catarpe en ribera izquierda (km2,0) se inunda para T=25 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa Fluvial	Si	1	Si	2	No	4	Si	2	Si	2	Si	4	15	3	Si	2	No	5	2a prioridad
10	Garantizar Conectividad	Acceso a vivienda y predios agrícolas en ribera derecha no cuenta con obra de arte de cruce del río	Requerimiento del estudio	Badén	No	4	No	3	Si	2	No	3	No	3	Si	3	18	4	Si	2	No	6	3a prioridad
11	Garantizar Conectividad	Atraveso camino principal de acceso a Catarpe (km 5,1). La obra es sobrepasada a partir de T=5 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa Fluvial	No	4	No	3	Si	1	No	3	No	3	No	4	18	4	Si	5	No	9	6a prioridad
12	Garantizar Conectividad	Descarga de la quebrada el Chulakao está ubicada sobre el nuevo trazado de camino a Catarpe, se requiere obra de arte	Requerimiento del estudio	Puente de Madera	No	4	No	3	Si	2	No	3	No	3	Si	3	18	4	Si	2	No	6	3a prioridad
13	Protección Infraestructura	Bocatoma canal Huachar en ribera izquierda (km 5,8). Se producen velocidades potencialmente erosivas a partir de T=10años y desborde hacia la obra a partir de T=25 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Obra de protección	No	4	No	3	No	3	No	3	No	3	Si	2	18	4	Si	2	No	6	3a prioridad

CUADRO 6-9: MATRIZ DE PRIORIZACIÓN PLAN DE MANEJO DE CAUCE

MEDIDA N°	TIPO DE MEDIDA	DIAGNÓSTICO PROBLEMA	REQUERIMIENTO	MEDIDA A EJECUTAR	EVALUACIÓN DEL RIESGO QUE LA OBRA ELIMINA O AMINORA														EVALUACIÓN ECONÓMICA				PRIORIZACIÓN		
					HIDROLÓGICO		RIESGO A LAS PERSONAS		AISLAMIENTO		DAÑO A LAS PROPIEDADES		DAÑO A LOS CULTIVOS		DAÑO A LA INFRAESTRUCTURA		TOTAL DE PONDERACIÓN POR RIESGO		PRIORIZACIÓN POR RIESGO		INVERSIÓN			RENTABILIDAD	RESULTADO DE LA PONDERACIÓN DEL RIESGO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA
					EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	TOTAL DE PONDERACIÓN POR RIESGO	PRIORIZACIÓN POR RIESGO	BENEFICIO MEDIBLE	PONDERACIÓN POR INVERSIÓN					
14	Protección de la Población	Inundación de viviendas para T=100 años aguas arriba de tranque Huachar (km6,3), en ribera izquierda	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa Fluvial	Si	1	Si	2	Si	3	Si	2	Si	2	Si	4	14	3	Si	2	No	5	2a prioridad		
15	Garantizar Conectividad	Acceso a vivienda y predios agrícolas en ribera derecha no cuenta con obra de arte de cruce del río	Requerimiento del estudio	Badén	No	4	No	3	Si	2	No	3	No	3	Si	3	18	4	Si	2	No	6	3a prioridad		
16	Evitar Desbordamiento	Pretil ribera izquierda en sector de barrera de acceso a Catarpe (km8,05) es sobrepasado a partir de T=10 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa Fluvial	No	1	No	3	Si	1	No	2	No	3	No	4	14	3	Si	5	No	8	5a prioridad		
17	Garantizar Conectividad	Sector que se utiliza como atravesado de una ribera a otra del río San Pedro en punto de garita de acceso a Catarpe no cuenta con obra de arte de cruce del río	Requerimiento del estudio	Badén	No	4	No	3	Si	2	No	3	No	3	Si	3	18	4	Si	2	No	6	3a prioridad		
18	Protección de la Población	La Defensa Fluvial de ambas riberas en Sector Quito es sobrepasada a contar de T=25 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa Fluvial	Si	1	Si	1	Si	1	Si	1	No	4	9	1	Si	4	No	5	2a prioridad				
19	Obra de Cruce	Atravesado camino acceso a sector Pucará de Quito, no es factible el atravesado para T=5 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Pasarela	No	4	No	3	Si	1	No	3	No	3	No	4	18	4	Si	2	No	6	3a prioridad		
20	Evitar Desbordamiento	Se produce desborde del cauce en ribera izquierda para la crecida de T=100 años, generándose un escurrimiento paralelo detrás del pretil existente que continúa e ingresa hacia el poblado de San Pedro por calle Domingo Atienza	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa Fluvial	Si	3	Si	1	Si	1	Si	3	Si	1	Si	4	13	2	Si	5	No	7	4a prioridad		
21	Evitar Desbordamiento	Se produce desborde del cauce en ribera izquierda para la crecida de T=100 años, generándose inundación de viviendas y un escurrimiento paralelo al cauce	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa Fluvial	Si	1	Si	1	Si	2	Si	1	Si	2	Si	4	11	2	Si	4	No	6	3a prioridad		
22	Obra de Cruce	Defensa fluvial ribera derecha y atravesado Domingo Atienza, no es factible el atravesado para T=5 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Pasarela	No	4	No	3	Si	1	No	3	No	3	No	4	18	4	Si	2	No	6	3a prioridad		
23	Protección de la Población	Defensas fluviales en Sector angostamiento cauce en Domingo Atienza. Las obras se desbordan a contar de T=5 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Encauzamiento y defensa fluvial	Si	1	Si	1	No	3	Si	1	Si	1	Si	4	11	2	Si	5	No	7	4a prioridad		
24	Protección de la Población	Defensas fluviales en Sector angostamiento cauce en Domingo Atienza. Las obras se desbordan a contar de T=5 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Encauzamiento	Si	1	Si	1	No	3	Si	2	Si	1	Si	4	12	2	Si	4	No	6	3a prioridad		
25	Evitar Desbordamiento	Se produce desborde del cauce en la ribera derecha, aguas abajo del puente de acceso a San Pedro para la crecida de 100 años. Se inunda vivienda.	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Puente-Defensa fluvial y encauzamiento	Si	1	Si	1	Si	1	Si	2	Si	1	Si	4	10	1	Si	5	No	6	3a prioridad		

CUADRO 6-10: MATRIZ DE PRIORIZACIÓN PLAN DE MANEJO DE CAUCE

MEDIDA N°	TIPO DE MEDIDA	DIAGNÓSTICO PROBLEMA	REQUERIMIENTO	MEDIDA A EJECUTAR	EVALUACIÓN DEL RIESGO QUE LA OBRA ELIMINA O AMINORA												EVALUACIÓN ECONÓMICA				PRIORIZACIÓN		
					HIDROLÓGICO		RIESGO A LAS PERSONAS		AISLAMIENTO		DAÑO A LAS PROPIEDADES		DAÑO A LOS CULTIVOS		DAÑO A LA INFRAESTRUCTURA		TOTAL DE PONDERACIÓN POR RIESGO	PRIORIZACIÓN POR RIESGO	INVERSIÓN			RENTABILIDAD	RESULTADO DE LA PONDERACIÓN DEL RIESGO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA
					EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN			BENEFICIO MEDIBLE	PONDERACIÓN POR INVERSIÓN			
26	Garantizar Conectividad	Sector de cruce del río desde la calle Caracoles, que permite conectar hacia camino a Calama y hacia camino a Coyo no cuenta con obra de cruce del río	Requerimiento del estudio	Badén	No	4	No	3	Si	2	No	3	No	3	Si	3	18	4	Si	2	No	6	3a prioridad
27	Protección de la Población	Defensa fluvial sector Conde Duque (km 11,65). Se produce desborde hacia las viviendas para T=25 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa fluvial y encauzamiento	Si	1	Si	1	Si	3	Si	1	Si	1	Si	4	11	2	Si	5	No	7	4a prioridad
28	Evitar Desbordamiento	Defensa fluvial sector Cruce calle Caracoles (km 12). Se desborda para T=25 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa Fluvial	Si	3	Si	2	Si	3	Si	1	Si	3	Si	4	16	3	Si	2	No	5	2a prioridad
29	Evitar Desbordamiento	Se produce desborde del cauce en Km 12,75 generándose un brazo secundario y paralelo al río para la crecida de 100 años. Dicho desborde inunda camino y viviendas de Ayllu Yaye	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa Fluvial	Si	1	Si	3	Si	3	Si	1	Si	1	Si	4	13	2	Si	2	No	4	1a prioridad
30	Evitar Desbordamiento	Sector badén acceso Séquitur. Se produce inundación de viviendas a contar de T=25 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa fluvial y encauzamiento	Si	1	Si	2	Si	3	Si	1	Si	1	Si	4	12	2	Si	4	No	6	3a prioridad
31	Garantizar Conectividad	Sector de cruce del río desde la rotonda Séquitur, que permite conectar hacia camino a Calama y hacia camino a Coyo no cuenta con obra de cruce del río	Requerimiento del estudio	Badén	No	4	No	3	Si	2	No	3	No	3	Si	3	18	4	Si	2	No	6	3a prioridad
32	Protección Infraestructura	Canal de riego y Postación eléctrica hacia Coyo (km15,95). Se produce inundación a partir de T=5 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Gavión de protección	No	4	No	3	No	3	No	3	No	3	Si	1	17	4	Si	2	No	6	3a prioridad
33	Garantizar Conectividad	Atraveso ruta Circunvalación. A partir de T=5 años, el cauce desborda por sobre la ruta	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Puente	Si	1	Si	2	Si	1	Si	2	Si	3	Si	4	13	2	Si	5	Si	1	2a prioridad
34	Evitar Desbordamiento	Ayllu de Coyo. Se produce desborde para T=50 años en km 18,3	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa fluvial	Si	1	Si	2	Si	3	Si	1	Si	1	Si	4	12	2	Si	2	No	4	1a prioridad
35	Garantizar Conectividad	Sector de cruce del río desde camino que une Coyo y Tulor, que permite conectar hacia Ayllú de Better no cuenta con obra de cruce del río	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Badén	No	4	No	3	Si	2	No	3	No	3	Si	3	18	4	Si	2	No	6	3a prioridad
36	Evitar Desbordamiento	Pretil camino acceso a Tulor, se desborda a partir de T=10 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa fluvial	Si	1	Si	2	Si	2	Si	2	Si	1	Si	4	12	2	Si	5	Si	1	2a prioridad
37	Protección Patrimonial	Se produce desborde del pretil existente en ribera izquierda hacia sector de sitio arqueológico	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa fluvial	Si	3	Si	3	Si	3	Si	3	Si	3	Si	4	19	4	Si	4	No	8	5a prioridad
38	Evitar Desbordamiento	Pretil ribera derecha Vilama. Se produce desborde para T=100 años	Requerimiento del estudio y del proceso de PAC	Defensa fluvial	Si	2	Si	3	Si	2	Si	3	Si	3	Si	2	15	3	Si	4	No	7	4a prioridad

Fuente: Elaboración propia

6.5.3. Programa de Ejecución Dirección de Obras Hidráulicas

Ahora bien, el cronograma debe definirse institucionalmente de acuerdo al marco presupuestario del servicio y a otros factores que se consideren pertinentes. Por ello, el Cuadro 6-11 presenta un cronograma, a modo de ejercicio, considerando una distribución de los costos de las obras a lo largo de los 10 años establecidos para el Plan. El costo total de las obras DOH es de MM\$ 18.065.

Para definir este orden temporal y distribuir de la mejor manera posible las soluciones planteadas, se utilizó el siguiente procedimiento:

- Primero, se asignaron los primeros periodos a los proyectos con mejor ranking.
- Segundo, se distribuyeron los proyectos procurando repartir el presupuesto en los años definidos, de manera equitativa. Cuando las obras presentan presupuestos mayores 2.500 millones de pesos, como es el caso de las obras de control aluvional en Quebrada Marquesa y Las Cañas, se distribuye la ejecución en más de 1 año. Nuevamente se hace hincapié que esto debe ser definido por la Dirección de Obras Hidráulicas.

CUADRO 6-11: PROGRAMA EJECUCIÓN OBRAS

PRIORIZACIÓN	CATEGORÍA	SOLUCIONES	CÓDIGO	HORIZONTE DE EJECUCIÓN (MM\$/AÑO)												
				CORTO PLAZO					LARGO PLAZO							
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	S1-ES-02	107,4												
1a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	S2-ES-11	185,3												
1a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa fluvial	S3-ES-03	186,3												
2a prioridad	Protección de la Población	Defensa Fluvial	S1-ES-04	133,1												
2a prioridad	Control de Erosión	Gavión sábana	S1-ES-05	16,5												
2a prioridad	Protección de la Población	Defensa Fluvial	S1-ES-06	27,8												
2a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	S1-ES-07	126,9												
2a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	S1-ES-10	147,2												
2a prioridad	Protección de la Población	Defensa Fluvial	S2-ES-01	566,9												
2a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	S2-ES-10		102,7											
3a prioridad	Protección de la Población	Defensa Fluvial	S1-ES-03		192,4											
3a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	S1-ES-09		48,9											
3a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	S1-ES-OA1		69,4											
3a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	S1-ES-OA2		95,4											
3a prioridad	Garantizar Conectividad	Badén	S1-ES-OA3		69,4											
3a prioridad	Garantizar Conectividad	Puente de Madera	S1-ES-OA4		164,0											
3a prioridad	Garantizar Conectividad	Badén	S1-ES-OA5		69,4											
3a prioridad	Garantizar Conectividad	Badén	S1-ES-OA6		69,4											
3a prioridad	Obra de Cruce	Pasarela	S2-ES-02		69,1											
3a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	S2-ES-04			741,3										
3a prioridad	Obra de Cruce	Pasarela	S2-ES-05		66,9											
3a prioridad	Protección de la Población	Encauzamiento	S2-ES-07			760,4										
3a prioridad	Evitar Desbordamiento	Puente-Defensa fluvial y encauzamiento	S2-ES-08				970,9	970,9								
3a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa fluvial y encauzamiento	S2-ES-12				361,3	361,3								
3a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa fluvial y encauzamiento	S2-ES-OA1				69,4									
3a prioridad	Garantizar Conectividad	Badén	S2-ES-OA2				69,4									
3a prioridad	Protección Infraestructura	Gavión de protección	S3-ES-01					139,4								
3a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa fluvial	S3-ES-OA1				69,4									
4a prioridad	Garantizar Conectividad	Pretil Defensa Fluvial y Mejoramiento camino	S1-ES-01						277,0							
4a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	S2-ES-03						1983,7							
4a prioridad	Protección de la Población	Encauzamiento y defensa fluvial	S2-ES-06							1393,3						
4a prioridad	Protección de la Población	Defensa fluvial y encauzamiento	S2-ES-09							1001,1						
4a prioridad	Garantizar Conectividad	Puente	S3-ES-02								614,5	614,5	614,5			
4a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa fluvial	S3-ES-04								1333,7					
4a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa fluvial	S4-ES-02								801,0					
5a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	S1-ES-11										932,0	932,0		
5a prioridad	Protección Patrimonial	Defensa fluvial	S4-ES-01										290,6	290,6		
6a prioridad	Evitar Desbordamiento	Defensa Fluvial	S1-ES-08											533,9	533,9	
TOTAL (MM\$)				1497,4	1016,7	1501,6	1540,3	1471,6	2260,7	2394,4	2749,2	2371,0	2371,0			

Fuente: Elaboración propia

7. ANÁLISIS AMBIENTAL

El Estudio de Análisis Ambiental tuvo por objeto desarrollar y analizar los diferentes elementos ambientales relacionados con las medidas propuestas por el Plan de Manejo de Cauce, de modo de que se incorpore al diseño, construcción y operación de las obras futuras, los aspectos ambientales atinentes a ellas y determinar, analizar y evaluar los potenciales impactos ambientales (positivos y negativos) que se generarán a consecuencia de la ejecución de las obras que se definan, de modo de identificar las respectivas medidas de prevención y mitigación ambiental, y las acciones necesarias para dar cumplimiento a la normativa ambiental sectorial.

Como parte del análisis ambiental, se realizó un diagnóstico territorial que incluyó la caracterización del medio físico, ecosistemas terrestres y acuáticos, patrimonio cultural y monumentos nacionales, áreas protegidas, uso del territorio, medio humano y la definición de áreas de sensibilidad ambiental. Se concluyó de este último punto que, el tramo con menores sensibilidades a la intervención producto de las obras que potencialmente se propongan en el PMC es el tramo intermedio del Río San Pedro, puesto que corresponde al sector con mayores intervenciones dentro del área del cauce.

Respecto del análisis de pertinencia de ingreso al SEIA, se concluye que, de las medidas propuestas en el PMC, existirían dos vías de ingreso al SEIA:

- 4 Proyectos cuyos movimientos de tierra superan los 50.000 m³: proyectos identificados con los códigos S1-ES-08, S1-ES-11, S2-ES-03 y S4-ES-02
- 2 proyectos ubicados dentro de los límites de áreas protegidas: S3-ES-04 y S3-ES-03.

En el análisis de evaluación preliminar de los potenciales impactos de las obras propuestas, se ha detectado que, para obras de la misma tipología, el Tramo 1 del río San Pedro presenta mayores niveles de impacto, dada su mayor naturalidad y por ende una mayor sensibilidad de las componentes analizadas, en comparación con otros tramos analizados dentro del área de estudio. Adicionalmente es relevante señalar que, en los otros tramos analizados, es la magnitud de la obra la que generaría un mayor nivel de impacto, particularmente sobre componentes sensibles como la flora y vegetación, particularmente por su limitada presencia en algunos sectores del área de estudio.

Con base en la información levantada y los análisis desarrollados en el PMC se propone una zonificación para el uso del territorio de riberas, con el objetivo de minimizar los daños producto de las crecidas para diferentes periodos de retorno, las cuales corresponden a las mismas zonas de prohibición y restricción definidas dentro de las medidas no estructurales del PMC.

Para el sector del Tramo 1 del Río San Pedro, se recomienda mantener el uso de los terrenos de cultivos como tales, sin incorporar nueva infraestructura, ya que estos favorecen la mantención de las condiciones naturales actuales del cauce.

Para la totalidad del área de estudio, se establece como zona de restricción los sectores en que producto del análisis de información arqueológica, se identifica la presencia de sitios con importancia preliminar.

Con el fin de evitar, atenuar, reparar y/o compensar los efectos adversos ocasionados en el medio ambiente producto de la intervención por la construcción de las obras consideradas en el Plan de Manejo de Cauces, se propone un Plan de Manejo Ambiental (PMA) genérico, compuesto por los siguientes sub planes:

- Plan de Medidas de Mitigación (PMM): conjunto de 28 tipos de acciones, que tienen como objetivo disminuir el efecto de los efectos adversos negativos o directamente evitarlos.
- Plan de Medidas de Restauración o Reparación (PMR): tiene como objetivo principal lograr reponer los componentes ambientales que han sido afectados por las actividades desarrolladas en alguna de las etapas del Proyecto, para devolverlos a una calidad o estado similar al que tenían previamente. Está compuesto por 4 acciones.
- Plan de Seguimiento Ambiental (PSA): se encuentra compuesto por 6 medidas principales y tiene la función de asegurar que los componentes ambientales analizados evolucionen según lo establecido en el Plan de Manejo Ambiental, luego de la adopción de las medidas tendientes a minimizar o evitar los impactos ambientales identificados.

8. PARTICIPACIÓN CIUDADANA

El objetivo principal fue el de desarrollar un proceso de Participación Ciudadana que, de acuerdo con el Marco Jurídico y Normativo, se oriente al diálogo y deliberación entre la ciudadanía y el Estado, informando sobre el proyecto y recogiendo las demandas e inquietudes sociales, atendiéndolas durante el desarrollo del Estudio, en el marco de la factibilidad del Proyecto, tanto en su dimensión técnica, como en su dimensión social y cultural”.

En ese contexto general y del análisis del proceso de Participación Ciudadana, se concluye que se ha cumplido a cabalidad el objetivo planteado en dicho proceso. Debido al contexto de la epidemia del coronavirus y las restricciones para las actividades de Participación Ciudadana, tales como reuniones, talleres, visitas a terreno y entrevistas presenciales, se utilizó la alternativa de actividades virtuales para afrontar las tareas solicitadas en los términos de referencia, manteniendo los objetivos específicos exigidos.

Así, se realizó una recopilación bibliográfica de los principales aspectos del área de estudio y de la problemática de inundaciones, complementados posteriormente con entrevistas que permitieron conocer la problemática de inundaciones y desbordes desde la perspectiva de los actores involucrados. Se realizaron encuestas, reuniones ampliadas y las reuniones con las dirigentes mujeres que permitieron una amplia participación de dirigentes sociales del área de estudio. Cuando las condiciones del COVID lo permitieron, se realizó una visita a terreno que consintió en recorrer con dirigentes sociales y funcionarios municipales los principales problemas de inundación detectados por ellos. Finalmente, se realizaron permanentes reuniones de coordinación entre el equipo de la consultora y el equipo de DOH, para ajustar la metodología solicitada en los términos de referencia a las condiciones sanitarias impuestas por el COVID.

Se realizaron en total 14 reuniones de participación ciudadana; la reunión Inicial, con cuatro encuentros, se realizó en el mes de marzo del año 2021; la segunda reunión de avance se efectuó en los meses de Julio del año 2021; también se realizaron dos encuentros específicos con dirigentes

mujeres, el primero de ellos (Focus group) se realizó en el mes de abril del 2021 y el segundo de ellos (Charla Educativa) se realizó en el mes de agosto del 2021 y la reunión final de participación ciudadana se desarrolló en el mes de noviembre del año 2021.

Las diversas actividades del programa (entrevistas, visitas a terreno y encuentros de participación ciudadana) permitieron levantar información valiosa del área de estudio, especialmente sobre las problemáticas, expectativas y percepciones de los diversos actores públicos y comunitarios en relación con la problemática del río San Pedro y río Vilama (inundaciones y desbordes en Ayllus y pueblo de San Pedro). En particular, se destacan las siguientes peticiones realizadas por la Comunidad:

- Aumentar el área de estudio incluyendo el área de inundación del río Vilama que cubre hasta la Villa Solor, lo cual si bien es cierto no fue posible realizar en el presente estudio, se incluyó como parte de las recomendaciones para los futuros estudios a realizar por la DOH
- Realizar el mejoramiento del trazado del camino a Catarpe en sector que se ve interrumpido por la inundación del río San Pedro, lo que fue incorporado en la solución estructural 1 del Plan, en la cual se plantea el cambio de trazado del camino permitiendo un nivel de seguridad para la crecida de periodo de retorno de 25 años
- Ampliar el cauce en sector de Domingo Atienza, lo que fue acogido como parte de una de las medidas del Plan en que se busca restaurar la sección del río San Pedro en dicho sector
- Considerar para el último tramo del río San Pedro obras de defensa cuya materialidad sea enrocados, lo cual fue incorporado en el tramo en que se propone obra de defensa para el camino que une Coyo y Tulor

Debido a las actividades ejecutadas en torno a los ríos San Pedro y Vilama, hay un grupo importante de instituciones del Estado involucradas entre los tomadores de decisiones de importancia para el río y su entorno (Municipio, DOH, DGA, Bienes Nacionales, entre otros). También existen varios actores presentes en el área de estudio, que tiene asociadas actividades como la agricultura, infraestructura de riego, extracción de áridos, viviendas, emprendimientos turísticos e infraestructura vial asociada a distintas comunidades. Cada actor asociado a estos usos tiene intereses, lógicas y expectativas diversas que se expresan en los conflictos/problemas detectados en los distintos sectores. De estos usos, la actividad extractiva de áridos, las tomas ilegales y los emprendimientos turísticos son reconocidas por los actores como generadores de problemas en los sectores donde estas actividades se desarrollan.

Como una de las recomendaciones, se propone que, en las siguientes etapas del estudio, se continúe con un proceso de participación y consulta, que garantice una amplia participación de la comunidad afectada y/o beneficiadas, que informe adecuadamente a las organizaciones representativas sobre los distintos estudios que se realizarán a futuro. En especial, con las comunidades indígenas, a través de un proceso de consulta indígena cuando corresponda, según las iniciativas involucradas y priorizadas.

Finalmente, las reuniones PAC permitieron una conversación sobre los problemas de los ríos San Pedro y Vilama y su entorno, llenando un vacío existente. Se ha corroborado la importancia que tienen y su cuidado para los actores públicos y comunitarios.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a) Respecto del estudio hidrológico las principales conclusiones son las que se indican a continuación
 - i Terminado el estudio de las precipitaciones se estuvo en condiciones de analizar la tormenta de enero-febrero del año 2019. Dicho análisis permitió concluir que la precipitación tuvo un período de retorno de 28 años.
 - ii La precipitación máxima en 24 horas (media para la cuenca) estimada en la cuenca del río San Pedro para el evento del año 2019, es de 52,52 mm. De acuerdo con los registros históricos de la estación Río Grande, esta precipitación, en 56 años de registro, ha sido superada en 5 oportunidades. Esto reafirma la conclusión que lo ocurrido el año 2019 no fue una situación meteorológica excepcional, correspondiendo más bien a una situación de baja ocurrencia, pero enmarcada dentro un régimen hidrológico normal.
 - iii Los caudales calculados para la crecida del año 2019, por métodos hidrológicos, también entregaron, para dicha crecida, un período de retorno entorno a los 25 años. Lo anterior permite concluir que los daños observados no se debieron a una crecida excepcional sino, más bien, a un mal uso de los espacios cercanos a los cursos fluviales.
- b) En relación al análisis mecánico fluvial realizado, se concluye que la cuenca del río San Pedro tiene una producción de sedimento considerable, la que se genera principalmente en su zona alta donde se concentra la mayor área aportante y quebradas con alta disponibilidad de arenas. Esto se condice con la gran cantidad de material que se ha acumulado en la zona urbana durante las últimas crecidas. Si bien es cierto que, el balance sedimentológico muestra como favorables sectores tanto en el tramo alto como en el intermedio del río San Pedro para la extracción de áridos, éstos se descartan debido a las obras de bocatoma y de defensa fluvial presentes en ambos sectores, siendo el único tramo recomendado para dicha actividad el que se ubica en el Sector 3 del río San Pedro cercano al Ayllu de Coyo.
- c) Se pudo realizar el análisis de vulnerabilidad y el diagnóstico hidráulico del cauce y de la infraestructura existente que se ve afectada por las crecidas de los ríos San Pedro y Vilama en los tramos estudiados, concluyéndose que:
 - i El sector que presenta mayor infraestructura vulnerable a riesgos es el sector 2 o intermedio del río San Pedro, encontrándose la mayor parte de la infraestructura catastrada dentro de la zona de riesgo alto para la crecida de periodo de retorno 100 años. Asimismo, el sector 2 es el que presenta mayor superficie de terrenos agrícolas y de edificaciones que se encuentran dentro de la zona de riesgo alto.

- ii Ninguna de las obras de defensa fluvial existentes entrega protección frente a la crecida de 100 años de periodo de retorno. La mayoría de ellas son sobrepasadas por la crecida de 25 años de periodo de retorno. En particular, se observa que en el sector 2 el cauce se desborda a partir de 25 años de periodo de retorno y dicha inundación escurre por las calles Domingo Atienza, Callejón Reales, Avda. Selti y camino a Beter, formándose a través de estas calles un cauce secundario paralelo al cauce principal.
 - iii Finalmente, respecto al sector de Vilama, se produce desborde de la obra de defensa existente hacia ambas riberas para la crecida de 100 años de periodo de retorno. Sin embargo, no se genera afectación sobre la infraestructura de la planta de agua potable rural ni tampoco la inundación alcanza a cubrir los terrenos agrícolas del Ayllu de Vilama, ya que escurre por el borde posterior de la defensa, a través del drenaje que quedó producto de las crecidas anteriores.
- d) Es importante destacar que **en el caso del río Vilama se sugiere incorporar en estudios posteriores toda el área aguas abajo del tramo de estudio hasta el Ayllu de Solor**, ya que en visita a terreno y de acuerdo a lo indicado por las comunidades, en ese tramo y en las quebradas afluentes existe población e infraestructura vulnerable a la inundación del río Vilama. Se recomienda que el análisis hidráulico se realice mediante modelación 2D y que, en las siguientes etapas de ingeniería, se verifique mediante modelación 2D las soluciones propuestas por el Plan, especialmente las del tramo intermedio del río San Pedro.
- e) Se sugiere en estudios posteriores realizar el análisis específico del eventual aporte aluvional de las quebradas laterales más importantes. Asimismo, se recomienda realizar un estudio específico, que considere embalses de control de crecidas en las cuencas de cabecera y quebradas laterales en los cuales se pueda infiltrar las aguas o entregar en forma controlada hacia aguas abajo. Cabe destacar que, la necesidad de estudio futuro para obras de regulación permitirá dar respuesta a la solicitud de comunidades en actividades de PAC.
- f) Por la naturaleza de las precipitaciones de la zona, que permiten espacios prolongados de tiempos sin actividad, es importante definir y respetar los espacios reservados para el escurrimiento fluvial. Se recomienda que los sectores aledaños a las riberas que presentan actividades agrícolas no cambien su uso del suelo ya que edificar estas zonas podría aumentar la situación de vulnerabilidad de la población, es por esto que la línea geomorfológica de la ribera propuesta indica que estos terrenos corresponden a zonas inundables.
- g) Desde el punto de vista geotécnico se recomienda lo siguiente:
 - i Dado el ambiente salino del sector de proyecto, cualquier obra de hormigón debe considerar un recubrimiento mínimo de 7,0 cm;
 - ii En aquellos sectores, en los que no se han perfilado los cauces, será necesario materializar una vía preferente para las escorrentías y crecidas de

- las quebradas de modo de proteger los pies de los muros de gaviones existentes;
- iii Los sellos de fundaciones de enrocados, gaviones o estructuras de hormigón deberá ser recibido conforme por un ingeniero especialista en el área geotécnica, antes de su materialización;
 - iv Antes de la extracción de materiales desde el empréstito seleccionado o cantera será necesario su aprobación por parte del proyectista involucrado, además de la ejecución de ensayos de laboratorio específicos como lo son el peso específico de partículas sólidas, desgaste en la máquina de Los Ángeles, porcentaje de Lajas, presencia de sales solubles totales, límites de Atterberg y clasificación USCS;
- h) Respecto de las medidas no estructurales propuestas se recomienda que, en el corto plazo, las instituciones correspondientes aborden las soluciones definidas como de primera prioridad, siendo éstas la de actualización del Plan Regulador Comunal y la de difusión y educación respecto a los resultados del Plan de Manejo de Cauce y Programa de Educación, sobre los programas, planes y proyectos en desarrollo en los cauces.
- i) Respecto de las medidas estructurales propuestas, se recomienda que, en el corto plazo se aborden las soluciones que por su tipología corresponden a protección de la población y que de acuerdo a la priorización realizada se encuentren en 1ra y 2da prioridad.
- j) En aquellos sectores en que la solución estructural de modificaciones en el cauce resulte compleja de implementar, debido a los aspectos ambientales, sociales y culturales, como también a la dificultad de relocalización de viviendas producto de la escasa disponibilidad de suelos para uso en proyectos habitacionales en la comuna, se recomienda que se cree un **programa de mejoramiento de la habitabilidad de las viviendas** de forma que permita que éstas sean modificadas con el objetivo de que sean **resilientes a la inundación**, ya sea que se encuentren sobre una base con altura superior a la de inundación o que tengan habilitado solo el segundo nivel y el primer nivel con uso restringido a estacionamiento, jardín, y espacios fácilmente recuperables en caso de inundación.
- k) Se recomienda evaluar, dentro de los criterios de diseño de futuras obras en el cauce, técnicas asociadas a la Ingeniería Naturalística, que permitan mantener la naturalidad o mitigar los impactos en el paisaje y ecosistema acuático, lo que sería coherente con el enfoque de restauración fluvial adoptado en el Plan, que permiten devolver la calidad ecológica a estos ambientes. Las especies de plantas presentes en los ecosistemas ribereños del área de estudio se encuentran adaptadas a múltiples factores estresantes locales como las dinámicas de inundación, el régimen de sedimentos, la escasez estacional de agua y la salinidad, por lo que se sugiere que la restauración fluvial se efectúe con especies presentes en los mismos cauces.