



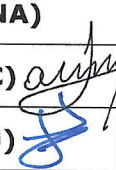
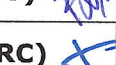
**INSTITUTO NACIONAL DE HIDRAULICA
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

RESUMEN EJECUTIVO

**ESTUDIO "DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO RÍO
MATAQUITO, LICANTÉN A DESEMBOCADURA, REGIÓN
DEL MAULE**

01/ DICIEMBRE / 2025



FICHA TÉCNICA DEL PROYECTO						
PROYECTO REALIZADO PARA DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS						
NOMBRE DEL PROYECTO ESTUDIO "DIAGNOSTICO HIDRÁULICO RÍO MATAQUITO, LICANTÉN A DESEMBOCADURA, REGIÓN DEL MAULE					FECHA 01/12/2025	
MIEMBROS DEL EQUIPO						
Nombre Apellido (NA)		Especialidad, Cargo en el proyecto, Unidad				
Jaime Cotroneo (JC) 		Ingeniero Civil, jefe de proyecto, I+d+i				
Francisco Ulloa (FU) 		Ingeniero Civil, jefe de proyecto (S), Ingeniería				
Claudia Sanhueza (CS) 		Ingeniero Civil, Ingeniera de Proyecto, Ingeniería				
Camila Osorio (CO) 		Ing. Civil en Geografía, Ingeniera de Proyecto, Ingeniería				
Marcos Diaz (MD) 		Ingeniero Geomensor, responsable trabajos de terreno, Operaciones				
Bastían Venegas (BV) 		Dibujante, Dibujante, Operaciones				
Ronald Chamorro (RC) 		Ingeniero Geomensor, Geomensor, Operaciones				
CONTRAPARTE TÉCNICA						
Nombre Apellido (NA)		Especialidad, Departamento				
Alexis Quiroz (AQ)		Ingeniero Civil, Inspección Fiscal, DOH				
REVISADO Y APROBADO POR		INH			INSP. FISCAL	
Rev.	Fecha	Preparó	Revisó	Aprobó	Reviso	Aprobó
A	10/11/2025	JC/FU	FU	RH		NP
B	01/12/2025	JC/FU	FU	RH		NP
CLASIFICACION DEL INFORME Revisión Cliente						

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. CARACTERIZACIÓN	3
3. ESTUDIOS BÁSICOS	4
4. DIAGNOSTICO	5
4.1 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD E INFRAESTRUCTURA.....	7
4.1.1 Infraestructura Esencial	7
4.1.2 Propiedades Rurales	8
5. PROPUESTAS DE MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES	10
5.1 MEDIDAS ESTRUCTURALES	10
5.2 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES	15
5.2.1 Delimitar áreas de acuerdo con la amenaza de inundación	15
5.2.2 Sistema de alerta temprana	17
6. PROPOSICIÓN DE DESLINDES.....	18

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio	3
Figura 2: Caudal asociado a 2 años periodo de retorno, $Q: 1309\text{m}^3/\text{s}$	5
Figura 3: Área de inundación para todos los caudales simulados en el sector de Licantén.	6
Figura 4: Obra de terraplen en Licanten, en amarillo. En azul se puede observar el área de quebradas que estaría conteniendo la obra del terraplén.	10
Figura 5: Esquema de terraplén de de tierra revestidos con manta de refuerzo vegetal (TRM) + Hidrosiembra.....	11
Figura 6: Área de amenaza de inundación para $T=100$ años, criterio MOP-DOH, sector Puente Lautaro y Mataquito.	16
Figura 7: Área de amenaza de inundación para $T=100$ años, criterio MOP-DOH, sector Licantén.	16
Figura 8: Deslinde norte y sur en el sector Licantén.	18

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Diferencias entre el caso sin y con terraplén.	6
Tabla 2: Conteo de edificaciones afectadas por localidad y asociadas a crecidas hidrológicas.	7
Tabla 3 : Infraestructura Esencial.	8
Tabla 4: Conteo de predios afectados por localidad y asociadas a crecidas hidrológicas. ..	9
Tabla 5: Resumen del análisis de obras Terraplén de protección con manta de refuerzo vegetal (TRM) + Hidrosiembra.	12

1. INTRODUCCIÓN

La Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del MOP, responsable de la conservación de los cauces naturales, el 2023 enfrentó una emergencia en las cuencas del Mataquito y Maule. Tras una alerta de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), un sistema frontal severo, intensificado por un "río atmosférico", afectó la zona central entre el 19 y 22 de agosto. Las mayores precipitaciones se concentraron en las zonas cordillerana y precordillerana, impactando directamente la Región del Maule.

En la Región del Maule, el evento meteorológico provocó un aumento crítico de caudal en el Río Mataquito, resultando en la inundación de sus terrazas y en desbordes específicos en ambas riberas. Esta situación dejó en estado de vulnerabilidad a viviendas y terrenos agrícolas ribereños en varias localidades, incluyendo Idahue, Constantue, Docamavida y, de manera significativa, la ciudad de Licantén.

Ante la gravedad y urgencia de la situación, la DOH ha determinado la necesidad de contratar, mediante trato directo, al Instituto Nacional de Hidráulica (INH) para la consultoría denominada "Diagnóstico Hidráulico Río Mataquito, Licantén a Desembocadura". El objetivo de este estudio es realizar un análisis de ingeniería del comportamiento, a través del análisis del comportamiento hidráulico fluvial del cauce del río Mataquito en la zona de Licantén. El estudio de diagnóstico proporcione medidas estructurales y no estructurales las cuales permitan a la DOH implementar un manejo adecuado del cauce y mitigar el riesgo en los terrenos inundables a futuro.

Para lograr el objetivo, se realiza la revisión de antecedentes asociados a crecidas anteriores, registros de variables hidráulicas, análisis de imágenes satelitales y revisión de estudios anteriores para poder caracterizar la zona de estudio. Lo anterior se complementa con la realización de trabajos de terreno para la medición de topografía, batimetría, registro de caudales, niveles y corrientes, levantamiento de información acerca de infraestructura esencial y obras en el río, recolección de muestras de sedimento.

En base a la revisión de antecedentes y los datos recolectados, se realiza un estudio hidrológico de la cuenca y en particular en la zona de estudio, obteniendo así valores tales como hidrogramas de crecidas, caudales asociados a periodos de retorno hidrológicos y considerando efectos de cambio climático.

Todo esto forma parte de la información de entrada para los modelos marítimos y fluviales necesarios para entender la dinámica hidráulica y sedimentología del sistema.

El clima de oleaje predominante en la zona de la desembocadura se caracterizó mediante un análisis detallado de la propagación del oleaje, esto y estadística de 35 años de oleaje espectral, permitieron la estimación de la tasa de transporte neto y total de sedimentos empleando distintas formulaciones como Kamphuis, CERC y Van Rijn. De este análisis, se evidencia una interacción permanente entre los procesos naturales fluviales y las corrientes marinas, lo que está estrechamente relacionada con la dinámica sedimentaria del estuario. La comprensión de esta compleja interacción es crucial para la gestión costera, especialmente ante la ocurrencia de eventos extremos y la planificación de posibles intervenciones humanas.

El diagnóstico fluvial se aborda mediante modelaciones hidráulicas, incluyendo la calibración con datos de eventos anteriores y la simulación de crecidas hidrológicas con y sin el efecto de cambio climático. El análisis considera distintos escenarios para comprender la interacción de elementos como la barra litoral o los terraplenes de acceso a los puentes Mataquito y Lautaro en la determinación de los niveles de inundación.

Finalmente, el informe presenta una serie de propuestas de mitigación a la amenaza de inundación, incluyendo la definición de terraplenes de protección, el diseño de un sistema de alerta temprana y recomendaciones para la gestión territorial en el área de estudio.

1.1 OBJETIVOS

En el presente estudio de ingeniería, a través del análisis del comportamiento hidráulico fluvial del cauce del río Mataquito en la zona de Licantén, se espera obtener un diagnóstico de la dinámica fluvial y marítima del sector, que permita elaborar una propuesta de medidas estructurales y no estructurales que permitan adoptar un adecuado manejo del cauce y de los terrenos inundables.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, que permitan alcanzar el objetivo general, es posible señalar lo siguiente:

- i. Realizar un diagnóstico hidráulico fluvial del río Mataquito, comuna de Licantén, identificando zonas de inundación y donde existan procesos de erosión de riberas.
- ii. Efectuar una caracterización de la geomorfología del río Mataquito y su evolución en un periodo de tiempo que permita establecer patrones de dinámica fluvial.
- iii. Proponer medidas estructurales que permitan mitigar las inundaciones.
- iv. Proponer medidas no estructurales.
- v. Desarrollar los estudios técnicos y una propuesta preliminar de deslindes del cauce del río Mataquito, conforme a lo señalado en el DS N° 609 del Ministerio de Bienes Nacionales, que sirva como insumo para el Informe Técnico que debe realizar la Dirección de Obras Hidráulicas.
- vi. Realizar un estudio de la dinámica marítima fluvial que permita conocer las condiciones de borde de la descarga del río Mataquito, y posibles medidas estructurales en ese sector.

2. CARACTERIZACIÓN

La zona de estudio abarca el sector poniente de la cuenca del río Mataquito entre Licantén y la desembocadura en el Océano Pacífico, incluyendo partes de las comunas de Licantén y Curepto (ver Figura 1).

Geomorfológicamente, se sitúa la zona dentro del valle del río Mataquito y se caracteriza la geomorfología regional y local, definiendo unidades como la Planicie Marina y el Estuario. El clima se caracteriza por un clima templado de tipo mediterráneo, con un periodo seco de cuatro a cinco meses. El uso predominante del suelo es terreno agrícola (37,6 %), praderas y matorrales (21,7 %).

Dentro de la zona de estudio destaca la presencia de dos sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad en la desembocadura, incluyendo el Área Marina Huenchullami-Mataquito y la Desembocadura río Mataquito, ambos considerados importantes ecosistémicamente.

Finalmente, se recopila información de inundaciones históricas y recientes (incluyendo eventos de 1986, 2008, y junio y agosto de 2023), identificando Licantén como la comuna más afectada.

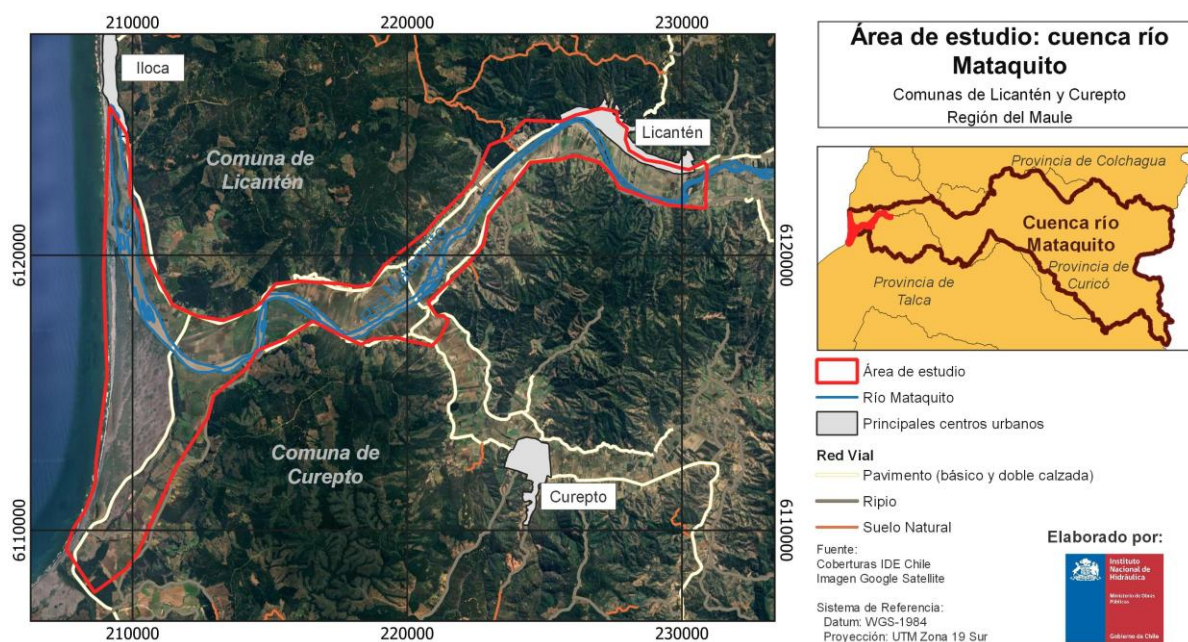


Figura 1: Área de estudio
(Fuente: Elaboración propia en base a IDECHILE)

3. ESTUDIOS BÁSICOS

Este capítulo sintetiza las campañas de levantamiento de información y los análisis fundamentales que sustentan el diagnóstico, cuyos detalles metodológicos y memorias de cálculo se encuentran en los Anexos A (Topografía), C (Hidrología) y D (Hidráulica).

Las actividades principales se agrupan en las siguientes áreas técnicas:

- **Topografía y Batimetría de Alta Precisión:** Se generó un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) mediante tecnología LiDAR para la superficie terrestre, complementado con un levantamiento batimétrico del cauce en cuatro zonas (desde Licantén a la desembocadura) utilizando ecosonda y embarcación.
- **Hidrometría y Granulometría:** Se ejecutó una campaña de mediciones en terreno de 33 días que incluyó la instalación de mareógrafos y equipos ADCP (fijos y móviles) para medir caudales y corrientes estuarinas. Asimismo, se caracterizó el sedimento mediante calicatas, detectando un aumento del diámetro medio (d_{50}) hacia la desembocadura por el lavado de finos producto de la marea. Los valores van desde 0.106 mm en la zona superior hasta 0.255 mm en la zona inferior (desembocadura).
- **Hidrología y Cambio Climático:** Mediante la distribución estadística Pearson III, se analizaron los caudales máximos, definiendo un caudal formativo de $107\text{m}^3/\text{s}$. Se revisaron eventos históricos críticos (2002, 2006, 2008), destacando la crecida de agosto de 2023. Para el diseño de obras, se adoptó un criterio conservador ante la incertidumbre del cambio climático, incrementando los caudales máximos de diseño en un 10%.
- **Modelación Hidráulica Avanzada:** Se utilizó el software TELEMAC 2D para simular la dinámica fluvial. El modelo fue calibrado con la crecida de agosto de 2023, estimándose para dicho evento un caudal de $5.974\text{ m}^3/\text{s}$, asociado a un periodo de retorno de 92 años.
- **Dinámica Costera y Sedimentológica:** Se empleó el modelo SWAN para caracterizar el clima de oleaje y el transporte de sedimentos. El análisis geomorfológico clasificó al estuario como un sistema inestable con tendencia a la migración, y al tramo fluvial superior como tipo "Riffle-Pool" (Rosgen B5).

4. DIAGNOSTICO

El diagnóstico identificó que el riesgo de inundación en la ciudad de Licantén se genera principalmente por efectos de los caudales del río (ver Figura 3). Se modelaron crecidas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Los modelos muestran que incluso para eventos frecuentes ($T=2$ años), existen desbordes en zonas bajas agrícolas (ver Figura 2).

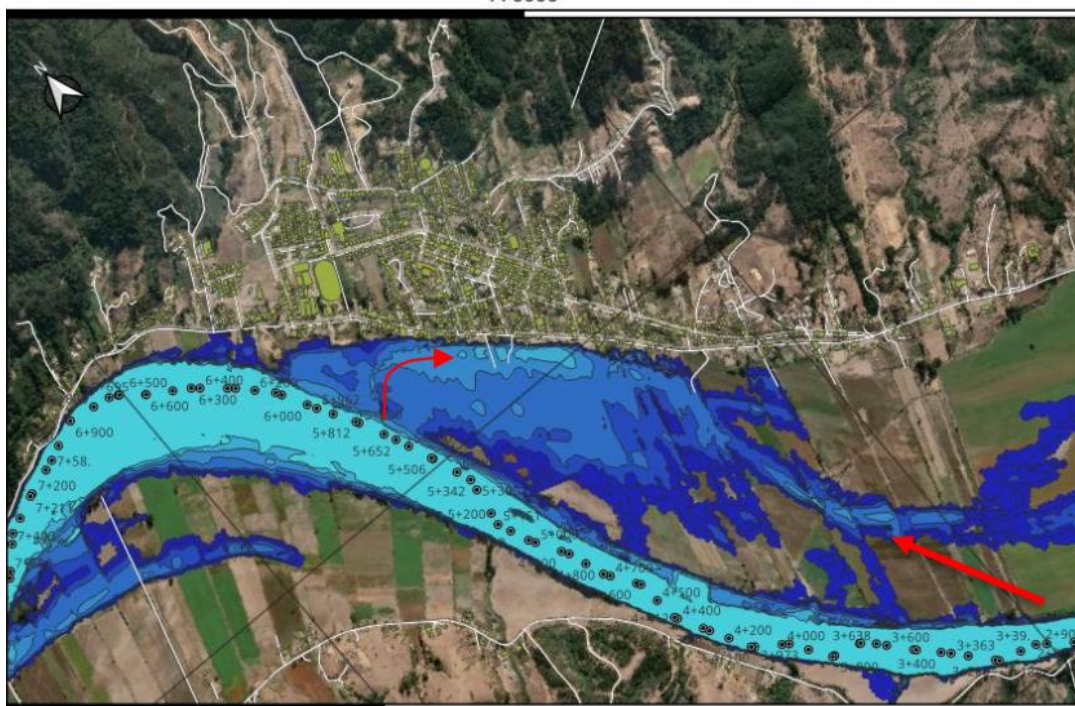


Figura 2: Caudal asociado a 2 años periodo de retorno, $Q: 1309\text{m}^3/\text{s}$

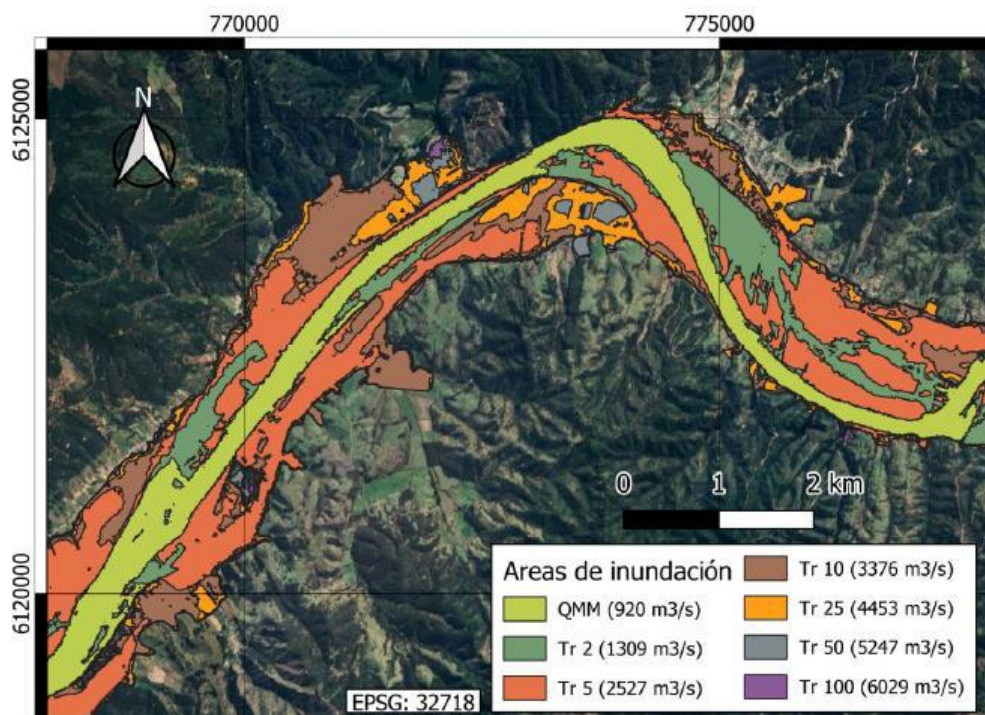


Figura 3: Área de inundación para todos los caudales simulados en el sector de Licantén.

Ahora bien, la apertura de la barra no incide significativamente en la cota de las inundaciones ocasionadas por crecidas en el sector del Licantén. La presencia de la barra significa aprox. 30 cm más en la cota de inundación, en las inmediaciones del puente Mataquito.

Igual señalar que crecidas mayores a T=2 años abren la barra naturalmente, producto del sobrepaso y socavación de la misma por el caudal.

Con el fin de determinar la influencia de las estructuras propuestas, se realizaron simulaciones hidráulicas comparativas (escenarios "con obra" y "sin obra") para los terraplenes situados en las proximidades de los puentes Lautaro y Mataquito. El análisis demostró que el efecto de remanso (incremento de la lámina de agua) generado por estas defensas es marginal, con variaciones en la elevación del nivel de agua que no superan los 30 cm aguas arriba de los terraplenes, lo cual se detalla y cuantifica en la Tabla 1.

Tabla 1: Diferencias entre el caso sin y con terraplén.

SECTOR	Diferencia Cota con Terraplén vs Sin Terraplén (m)
Licantén	0,03
Pasarela Los Escalones	-0,06
Puente Lautaro	0,3
Puente Mataquito	-0,3

El puente Lautaro, es la estructura crítica dentro de la zona estudio, esto significa que para periodos de retorno de 100 años este sería alcanzado por al menos 0.17m, otra condición desfavorable detectada es la gran cantidad de material vegetal presente en el tiempo de la inspección técnica, la presencia de estos elementos impacta de forma negativa a las alturas de escurrimiento y esfuerzos soportados por la estructura. Pasarela Los escalones tendría 0.88m de revancha en la cepa y 3.68m en la parte más alta de la pasarela. El puente Mataquito tendría 3.42m de revancha.

Para el caso de evaluar el efecto en las inundaciones de las islas y embaques del río, se optó por analizar el caso más conservador, que fue la eliminación de islas y embaques y dejar un canal pendiente único.

Como resultado, la remoción de islas o embanques no genera una reducción significativa en las cotas de inundación, ni siquiera en el escenario más optimista que contempla la extracción de 12 millones de m³. Adicionalmente, esta medida es poco sostenible, dado que la sedimentación volvería a depositarse en el corto plazo.

4.1 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD E INFRAESTRUCTURA

En el caso de las crecidas hidrológicas, se realiza un conteo general de las edificaciones afectadas según el periodo de retorno, disgregando el conteo por localidad. No se cuenta con información acerca del uso de las edificaciones (viviendas, galpones, etc., que no constituyen infraestructura esencial), por lo que no es posible asociarlas a otros sub ítems. Del total de edificaciones afectadas para crecidas con periodo de retorno asociado a 100 años (1605 unidades), el 57% se encuentra en Licantén Urbano, un 15% en Calpún, un ~11% en Lora, un ~4% en Paraguay y Quelmén, las demás localidades representan un 8% de las edificaciones afectadas.

Tabla 2: Conteo de edificaciones afectadas por localidad y asociadas a crecidas hidrológicas.

(Se contabiliza si la edificación es alcanza de forma total o parcial)

Localidades / Periodo retorno	ESCENARIO BASE					
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
CALPÚN	0	71	173	211	224	234
DEPÚN	2	6	7	7	7	8
DOCAMÁVIDA	0	1	4	11	22	26
HUAPI	0	3	7	9	13	16
INDETERMINADA D1 LICANTEN	2	2	2	2	2	2
INDETERMINADA D2 LICANTEN	2	5	7	9	15	17
INDETERMINADA D3 LICANTEN	2	2	3	3	5	5
INDETERMINADA D4 CUREPTO	4	7	10	14	16	16
LA LEONERA	0	0	0	2	2	2
LA ORILLA	0	6	13	35	44	49
LORA	0	16	51	103	144	173
Licantén Urbano	3	119	515	748	863	920
MONTE GRANDE	0	1	1	1	2	2
NAICURA	0	0	0	0	1	1
PARAGUAY	0	5	20	51	55	69
QUELMÉN	8	42	55	62	64	65
TOTAL	23	286	868	1268	1479	1605

(Fuente: Elaboración propia)

4.1.1 Infraestructura Esencial

La cuantificación de la infraestructura esencial afectada se realiza de forma detallada, considerando las áreas de inundación asociadas a los periodos de retorno hidrológicos. Como infraestructura esencial se consideran las edificaciones que son vitales para el funcionamiento de servicios básicos, tales como centros de salud, educación, bomberos,

comisaría, transporte, sanitarios, energía y edificios estatales. En este conteo se excluyen los puentes, ya que se encuentran dentro del cauce. En la Tabla 3, se marca con una X si la infraestructura esencial es afectada por la inundación asociada a cada periodo de retorno en estudio, se detalla el nombre, tipo, localidad. Para crecidas de 100 años, el 57% (19 de 33 de la infraestructura identificada es afectada, encontrándose esta en su mayoría en Licantén).

Tabla 3 : Infraestructura Esencial.

NOMBRE	TIPO	LOCALIDAD	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
Escuela Juan Jesús Gonzales Avendaño	Educacional	Calpún			X	X	X	X
Posta de Salud Rural Calpún	Salud							
Escuela La Orilla	Educacional	La Orilla				X	X	X
Sede social La Orilla	JJVV							
Servicio Sanitario Rural La Orilla	SSR					X	X	X
Escuela La Trinchera	Educacional	La Trinchera						
Posta de Salud Rural Las Lomas	Salud	Las Lomas						
Bomberos de Licantén	Bomberos	Licantén					X	X
Segunda comisaría de Licantén	Comisaría				X	X	X	X
Conservador de Bienes raíces Licantén	Edificio Estatal				X	X	X	X
Registro Civil e Identificación	Edificio Estatal					X	X	X
Centro de Desarrollo Integral infantil	Edificio Estatal					X	X	X
Gimnasio Municipal	Edificio Estatal							
Municipalidad de Licantén	Edificio Estatal				X	X	X	X
Departamento del tránsito Licantén	Edificio Estatal				X	X	X	X
Biblioteca Pública	Edificio Estatal						X	X
Juzgado de policía Local	Edificio Estatal					X	X	X
Liceo Augusto Santelices Valenzuela	Educacional				X	X	X	X
Escuela Juan Ignacio Molina de Licantén	Educacional							
Jardín Infantil Pequeños Maestros	Educacional							X
Jardín Infantil Kumelen	Educacional							
Jardín Infantil Papelucho	Educacional							X
Jardín Infantil S.C. Capullito	Educacional				X	X	X	X
Jardín Infantil Cuncunita	Educacional							
Hospital de Licantén	Salud				X	X	X	X
Hospital modular de Licantén	Salud							
Ubicación hospital nuevo de Licantén	Salud							
Hospital de Licantén	Salud							
Servicio Sanitario Rural Lora	SSR	Lora			X	X	X	X
Escuela Alejandro Rojas Sierra	Educacional							
Posta de Salud Rural Lora	Salud							
Escuela José Luis Richards Gonzalez	Educacional	Paraguay						
Subestación Licantén	Energía	Quelmen				X	X	X

4.1.2 Propiedades Rurales

La determinación de propiedades rurales afectadas se realiza en base a la información geoespacial vectorial, en escala 1:10.000 generada CIREN para el Servicio de Impuestos Internos (SII) en el año 2021, según se indica en la descripción del producto la información contenida es solo referencial, cuya exactitud es relativa a su escala. Si bien, en la plataforma del SII se puede visualizar información con más detalle, no se pudo acceder a ella de forma oficial. En la Tabla 4, se contabiliza como propiedad afectada si el área de inundación afecta de forma parcial o total a la propiedad.

Tabla 4: Conteo de predios afectados por localidad y asociadas a crecidas hidrológicas.

MEDIDAS ESTRUCTURALES	ESCENARIO BASE					
Localidades / Periodo retorno	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
CALPÚN	54	113	139	142	144	145
CHANQUIUQUE	2	2	2	2	2	2
DEPÚN	15	15	16	16	16	16
DOCAMÁVIDA	9	13	16	16	17	17
HUAPI	25	26	29	38	41	42
INDETERMINADA D1 LICANTEN	2	2	2	2	2	2
INDETERMINADA D2 LICANTEN	4	6	8	8	9	9
INDETERMINADA D3 LICANTEN	32	32	32	27	32	32
INDETERMINADA D4 CUREPTO	17	17	18	18	18	18
LA LEONERA	55	60	61	62	62	62
LA ORILLA	55	61	66	70	74	77
LICANTÉN	0	8	11	14	15	16
LORA	62	75	88	92	99	103
LOS RINCONES	2	2	2	2	2	2
LOS RÁBANOS	3	3	3	3	3	3
Licantén Urbano	13	28	35	48	51	53
MONTE GRANDE	33	36	36	36	38	38
NAICURA	7	7	7	7	7	10
PARAGUAY	34	37	42	46	49	53
QUELMÉN	40	64	80	81	81	81
Total	464	607	693	730	762	781

5. PROPUESTAS DE MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES

Dado que el diagnóstico hidráulico descartó la posibilidad de influir significativamente en el comportamiento de las crecidas con medidas de tipo morfológico, este capítulo se enfoca en las medidas de contención efectiva para mitigar el riesgo en las zonas con mayor concentración de edificaciones e infraestructura esencial (Licantén urbano, Calpún, Paraguay, Quelmén y Lora)

5.1 MEDIDAS ESTRUCTURALES

Se evalúan soluciones de contención para Licantén, Paraguay, Quelmén, Calpún y Lora. La tipología seleccionada es la construcción de terraplenes de tierra revestidos con manta de refuerzo vegetal (TRM) + Hidrosiembra (una Solución Basada en la Naturaleza - SbN) debido a las bajas velocidades de flujo proyectadas, tal y como se observa en la Figura 5 .

La defensa de la zona urbana de Licantén se proyecta mediante un terraplén de confinamiento con una longitud estimada de 5 km y alturas que varían, pudiendo alcanzar un máximo de 7 metros. El diseño de perfil esta estructura no consideró el manejo integrado del drenaje superficial. El terraplén interceptará la escorrentía proveniente de una cuenca aportante de cabecera con una superficie aproximada de 14.58 km², lo que exigirá una intervención específica para garantizar la evacuación segura de estas aguas. El trazado del terraplén y el área de drenaje afectada se aprecian en la Figura 4.

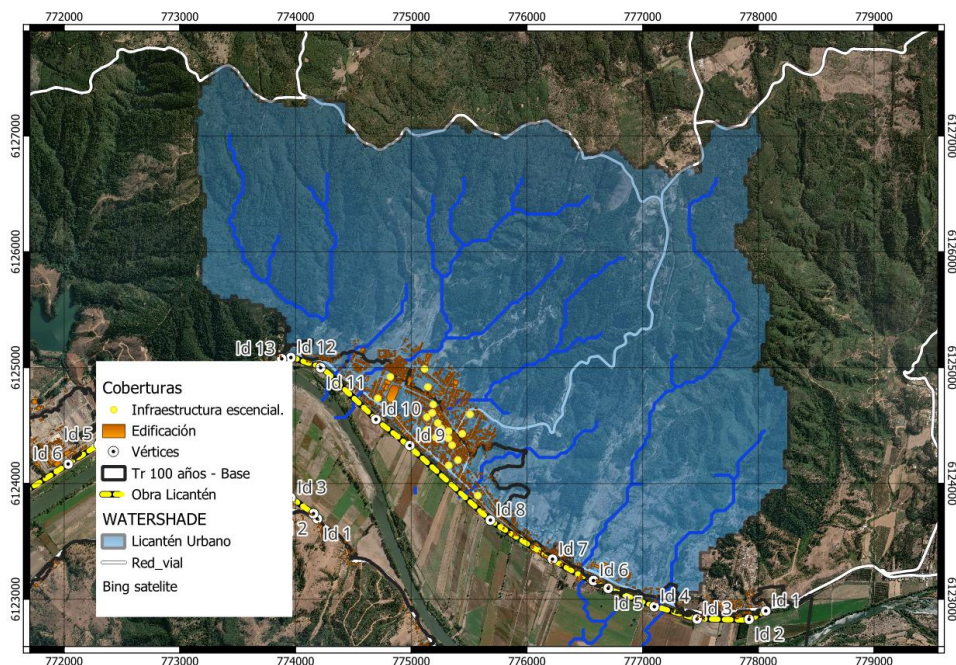


Figura 4: Obra de terraplen en Licantén, en amarillo. En azul se puede observar el área de quebradas que estaría conteniendo la obra del terraplén.

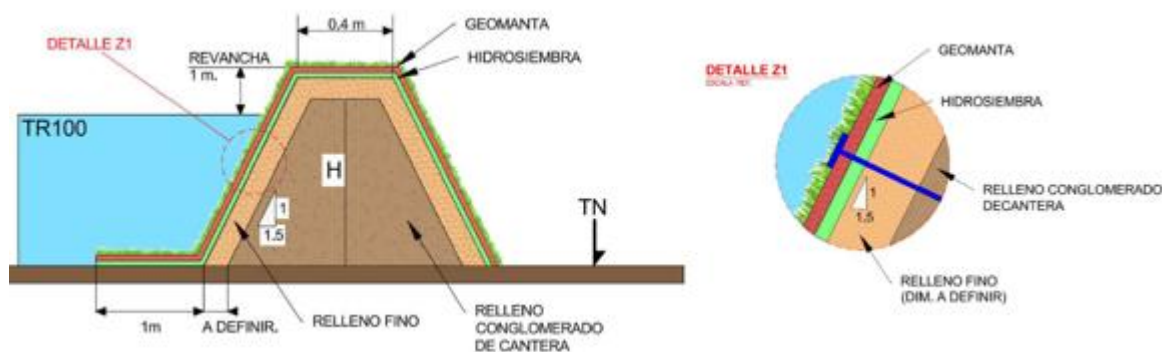


Figura 5: Esquema de terraplén de tierra revestidos con manta de refuerzo vegetal (TRM) + Hidrosiembra.

A modo de síntesis, la Tabla 5 presenta el listado definitivo de los terraplenes propuestos para mitigar los riesgos identificados en el diagnóstico. Un factor clave en la viabilidad y celeridad de la implementación de estas obras de protección es su **pertinencia ambiental**. Se concluye que, por sus características técnicas, los terraplenes generalmente no requieren el ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), lo que facilita y acorta significativamente los plazos de su tramitación y ejecución.

A continuación, se presenta una tabla con los aspectos relevantes de las medidas estructurales como de las obras del análisis del diagnóstico.

Tabla 5: Resumen del análisis de obras Terraplén de protección con manta de refuerzo vegetal (TRM) + Hidrosiembra.

LOCALIDAD	ENFORQUE	DIMENSIONES TIPO	VOLUMEN (M ³)	SEIA	TIPO DE ESTRUCTURAS EN EL ÁREA	OBSERVACIÓN
Licantén	Contención crecida – Terraplén con manta de refuerzo vegetal (TRM) + hidrosiembra	Longitud de ~5 km, talud 1.5:1 (H:V), altura variable. Altura máxima y promedio en el eje del terraplén: 7.12 y 3.94 m, respectivamente.	258,892	NO	Edificación/infraestructura esencial.	La implementación de esta obra tiene un impacto directo en las edificaciones e infraestructura que quedan por detrás de la obra, evitando que sean alcanzadas por la inundación. Por otra parte, presenta una dificultad que debe ser resuelta antes de la implementación; esta es el manejo de aguas provenientes de las cuencas en la cabecera de Licantén urbano. Se estimó un área aportante aproximada de 14.58 km ² .
Paraguay	Contención crecida – Terraplén con manta de refuerzo vegetal (TRM) + hidrosiembra	Longitud de ~0.86 km, talud 1.5:1 (H:V), altura variable. Altura máxima y promedio en el eje del terraplén: 2.16 y 1.42 m, respectivamente.	17,596	NO	Edificación	La implementación de esta obra tiene un impacto directo en las edificaciones del sector, evitando que sean alcanzadas por la inundación. Por otra parte, presenta una dificultad que debe ser resuelta antes de la implementación; esta es el manejo de aguas provenientes de las cuencas en su cabecera. Se estimó un área aportante aproximada de 1.3 km ² .
Quelmén	Contención crecida –	Longitud de ~1,8 km, talud 1,5:1 (H:V), altura variable. Altura máxima y promedio en el eje del terraplén: 5.46 y 2.11 m, respectivamente.	49,867	NO	Edificación/infraestructura esencial.	La implementación de esta obra tiene un impacto directo en las edificaciones e infraestructura del sector, evitando que sean alcanzadas por la inundación. Por otra parte, presenta una dificultad que debe ser resuelta antes de la implementación; esta es el manejo de aguas provenientes de las cuencas en su cabecera. Se estimó un área aportante aproximada de 8.2 km ² .

LOCALIDAD	ENFORQUE	DIMENSIONES TIPO	VOLUMEN (M³)	SEIA	TIPO DE ESTRUCTURAS EN EL ÁREA	OBSERVACIÓN
Quelmen	Terraplén con manta de refuerzo vegetal (TRM) + hidrosiembra	Longitud de ~0.78 km, talud 1.5:1 (H:V), altura variable. Altura máxima y promedio en el eje del terraplén: 5.01 y 3.56 m, respectivamente.	38,807	NO	Edificación	La implementación de esta obra tiene un impacto directo en las edificaciones del sector, evitando que sean alcanzadas por la inundación. Por otra parte, presenta una dificultad que debe ser resuelta antes de la implementación; esta es el manejo de aguas provenientes de las cuencas en su cabecera. Se estimó un área aportante aproximada de 0.49 km².
Lora	Contención crecida -	Longitud de ~1.43 km, talud 1.5:1 (H:V), altura variable. Altura máxima y promedio en el eje del terraplén: 2,96 y 1,97 m, respectivamente.	39,555	NO	Edificación/infraestructura esencial.	La implementación de esta obra tiene un impacto directo en las edificaciones e infraestructura del sector, evitando que sean alcanzadas por la inundación. Por otra parte, presenta una dificultad que debe ser resuelta antes de la implementación; esta es el manejo de aguas provenientes de las cuencas en su cabecera. Se estimó un área aportante aproximada de 2.9 km².
Lora	Terraplén con manta de refuerzo vegetal (TRM) + hidrosiembra	Longitud de ~0.46 km, talud 1.5:1 (H:V), altura variable. Altura máxima y promedio en el eje del terraplén - 0.05 y -1.97 m respectivamente.	10,962	NO	Edificación/infraestructura esencial.	La implementación de esta obra tiene un impacto directo en las edificaciones e infraestructura esenciales del sector, evitando que sean alcanzadas por la inundación. Por otra parte, presenta una dificultad que debe ser resuelta antes de la implementación; esta es el manejo de aguas provenientes de las cuencas en su cabecera. Se estimó un área aportante aproximada de 0.3 km².
Lora	Contención crecida -	Longitud de ~0.84 km, talud 1.5:1 (H:V), altura variable. Altura máxima y promedio en el eje del terraplén: 3.65 y 2.42 m, respectivamente.	25,492	NO	Edificación	La implementación de esta obra tiene un impacto directo en las edificaciones del sector, evitando que sean alcanzadas por la inundación. Por otra parte, presenta una dificultad que debe ser resuelta antes de la implementación; esta es el manejo de aguas provenientes de las cuencas en su cabecera. Se

LOCALIDAD	ENFORQUE	DIMENSIONES TIPO	VOLUMEN (M³)	SEIA	TIPO DE ESTRUCTURAS EN EL ÁREA	OBSERVACIÓN
						estimó un área aportante aproximada de 2.7 km².
Calpún	Terraplén con manta de refuerzo vegetal (TRM) + hidrosiembra	Longitud de ~0.91 km, talud 1.5:1 (H:V), altura variable. Altura máxima y promedio en el eje del terraplén: 3.96 y 2.52 m, respectivamente.	86,479	NO	Edificación/infraestructura esencial.	La implementación de esta obra tiene un impacto directo en las edificaciones del sector, evitando que sean alcanzadas por la inundación. Por otra parte, presenta una dificultad que debe ser resuelta antes de la implementación; esta es el manejo de aguas provenientes de las cuencas en su cabecera. Se estimó un área aportante aproximada de 3.6 km².

(Fuente: Elaboración propia)

5.2 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

Se propone implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT), utilizando la hidrología y los umbrales meteorológicos definidos. También se elaboran Mapas de Amenaza de Inundación basados en los criterios DOH-MOP, AIDR y DEFRA para delimitar áreas de riesgo en la planificación territorial.

5.2.1 Delimitar áreas de acuerdo con la amenaza de inundación

El análisis de la amenaza de inundación basado en el criterio de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH-MOP) muestra que la mayor parte del área de estudio presenta una categorización de "Amenaza Alta" para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. En el presente resumen se muestra el caso para un periodo de retorno de 100 años (Figura 6 y Figura 7).

Esta amplia clasificación se debe directamente a la formulación del criterio DOH-MOP, el cual establece que la Amenaza Alta se alcanza si se cumple al menos una de las dos condiciones hidráulicas críticas:

1. La altura de inundación es superior o igual a 1 metro ($H \geq 1\text{ m}$).
o
2. El producto de la velocidad por la altura (severidad) es superior o igual a ($v \cdot H \geq 1.5\text{ m}^2/\text{s}$)

En el caso del río Mataquito, se verificó que la altura de inundación (H) a menudo supera el umbral de 1 metro, incluso cuando las velocidades del flujo son bajas. Dado que el criterio opera bajo una disyunción lógica ("O"), la satisfacción de la condición de altura es suficiente para clasificar la zona como Amenaza Alta, resultando en una extensión considerable de esta categoría en la planicie de inundación.

5.2.1.1 Contraste con Criterios Internacionales

La aplicación de metodologías internacionales, como AIDR (2017) y DEFRA & Wallingford (2006), reveló una distribución de la amenaza más gradual y variable. Estos criterios combinan la profundidad y la velocidad de forma más interdependiente o con umbrales más diferenciados.

Esta diferencia conceptual es clave: mientras los criterios internacionales ofrecen una categorización con más matices (Baja, Media, Alta), el criterio DOH-MOP, al ser disyuntivo, actúa como una aproximación conservadora en la gestión del riesgo, identificando amplias zonas con potencial de impacto significativo si se cumple cualquiera de los factores críticos.

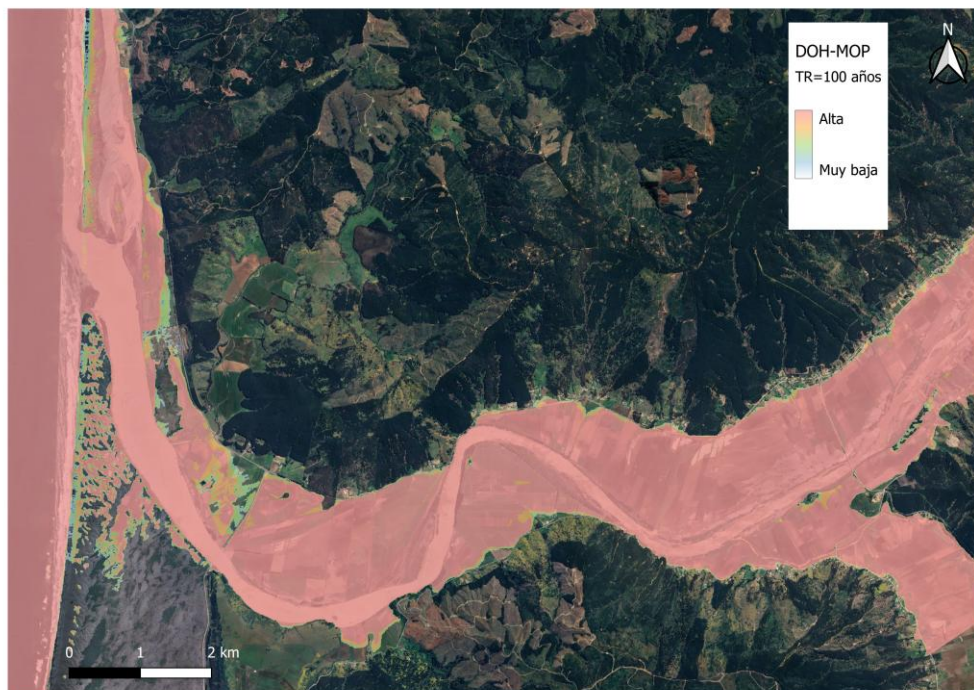


Figura 6: Área de amenaza de inundación para T=100 años, criterio MOP-DOH, sector Puente Lautaro y Mataquito.
(Fuente: Elaboración propia)

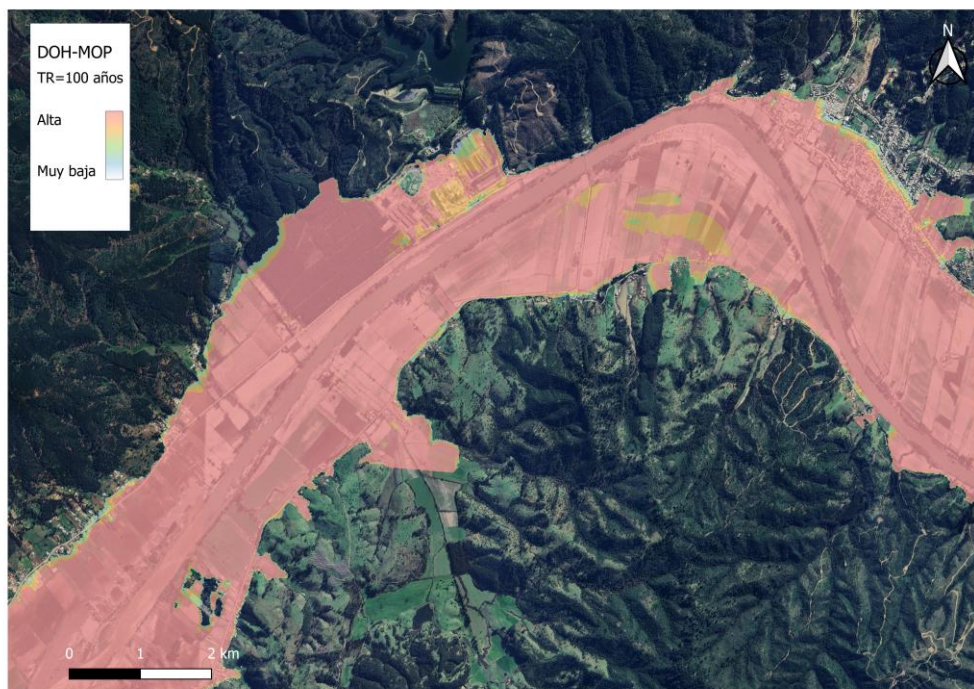


Figura 7: Área de amenaza de inundación para T=100 años, criterio MOP-DOH, sector Licantén.
(Fuente: Elaboración propia)

5.2.2 Sistema de alerta temprana

El diseño de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) se articula en torno a cuatro pilares funcionales: detección y pronóstico, evaluación de riesgos, comunicación, y planificación de la respuesta. El presente estudio ha generado los insumos fundamentales para la fase de detección y pronóstico en la cuenca del río Mataquito.

- **Aportes del Estudio para el Pronóstico**

El estudio proporciona la base técnica indispensable para la simulación de crecidas:

- a) Se han calculado los caudales máximos instantáneos para periodos de retorno desde $T = 2$ hasta $T = 100$ años en la estación Licantén.
- b) Con la topografía detallada (LiDAR y batimetría) y la modelación 2D realizada, se pueden pronosticar los niveles de inundación y las velocidades de flujo asociados a cada crecida.
- c) Esta información crucial permite una cuantificación preliminar del impacto potencial sobre viviendas, predios e infraestructura crítica en función de los niveles de inundación pronosticados.
- d) Los mapas de amenaza generados bajo distintos criterios (DOH-MOP, AIDR, DEFRA) definen espacialmente las zonas de posible anegamiento y su intensidad para diversos escenarios de crecida.

El análisis se complementa con umbrales meteorológicos operativos (DICTUC, 2024) para la cuenca, que permiten la activación de prealertas con hasta tres días de anticipación. Estos umbrales combinan precipitación acumulada, temperatura mínima e isoterma 0°C . La tendencia histórica de alza de la isoterma 0°C (aproximadamente 74 m por década) es un factor que debe ser integrado al SAT, ya que incrementa la fracción pluvial efectiva durante eventos invernales.

A modo de diseño de perfil, se recomienda como mínimo seguir los siguientes pasos para desarrollar un SAT, para la zona Mataquito-Licanten.

1. Monitoreo continuo: Cálculo automático de indicadores (PRECIP 3 días, TEMP min máx 3 días, ISO 0°C máx 3 días, niveles/caudales, tasas de ascenso).
2. Evaluación de umbrales DMC : Asignación de color meteorológico (Azul/Amarillo/Rojo) (DICTUC 2024)
3. Si Azul/Amarillo/Rojo: activar modelación 1–3 días con asimilación; setear línea de nieve/isoterma (definir escenarios, a considerar).
4. Obtener mapas de mapa de inundación, amenaza, en función del caudal estimado del pronóstico, previa modelación 2D. Correlacionar cada escenario con umbrales hidrológicos locales (nivel/caudal) para definir el estado de alerta hidrológica (prealerta/amarilla/roja).
5. Generar mensaje con peligro y riesgo: "color DMC" + sectores afectados, viviendas estimadas, velocidades, rutas seguras; coordinar emisión y acciones con municipalidad y servicios.
6. Seguimiento y actualización en tiempo real; cierre y evaluación post-evento para recalibrar umbrales.

6. PROPOSICIÓN DE DESLINDES

Se realizó el trazado de los deslindes del río Mataquito. La zona en estudio abarcó desde la localidad de Docamavida hasta la localidad costera de Rancura ubicada en la desembocadura del río.

El deslinde de la ribera norte tiene una longitud total de 37 km y 388 vertices, abarcando el tramo comprendido entre la localidad de Docamavida (aguas arriba) y la localidad de Rancura. Por otro lado, el trazado del deslinde de la ribera sur tiene una longitud de 29 km y 302 vertices, y comprende el tramo desde la localidad de Docamavida hasta el puente Mataquito, aproximadamente.

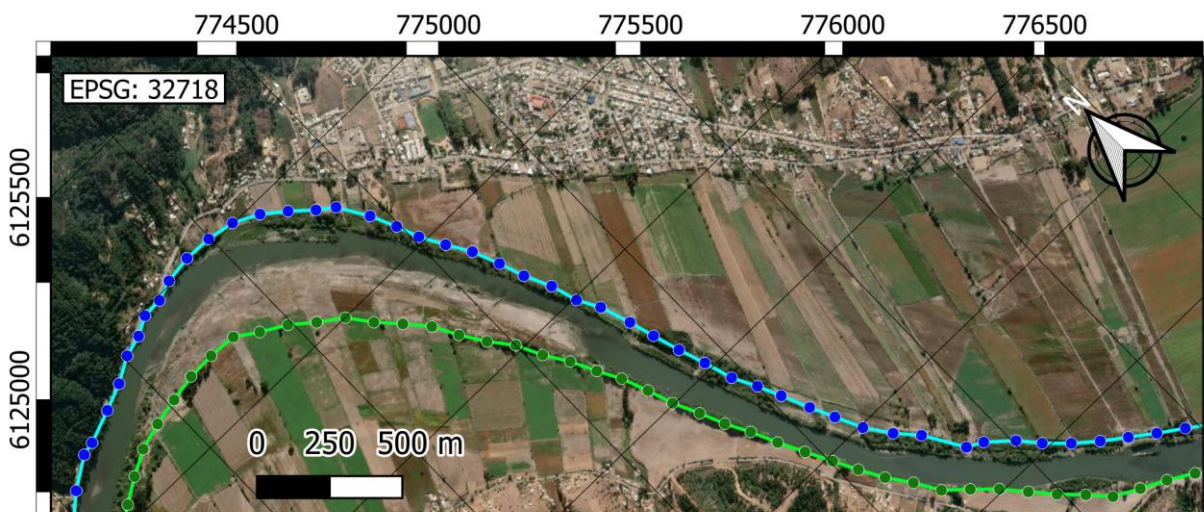


Figura 8: Deslinde norte y sur en el sector Licantén.

(Fuente: Elaboración propia)

Para la tramitación y la fijación definitiva de los deslindes, resulta imprescindible contar con el estudio detallado de los títulos de dominio de las propiedades colindantes. Este análisis es fundamental para contrastar la propuesta técnica de deslinde (basada en criterios hidráulicos y geomorfológicos) con los límites legales y efectivos de cada propiedad.

Con respecto al criterio técnico utilizado para el trazado de deslinde se pueden realizar las siguientes recomendaciones:

- La generación del mapa de pendientes topográficas es fundamental para identificar las terrazas fluviales y los márgenes del cauce, lo que resulta clave en el trazado de los deslindes.
- La identificación de barras y la clasificación sedimentológica del cauce son fundamentales para comprender e interpretar tanto los registros satelitales como la morfología fluvial.
- Con el objetivo de tener una mejor visualización de los sectores propensos a erosión de laderas, sería de utilidad un modelo tridimensional fotogramétrico ya que facilitaría la detección de estas zonas.