

ANÁLISIS HIDRÁULICO DESEMBOCADURA RÍO ITATA, COMUNAS DE TREHUACO Y COELEMU – REGIÓN DEL ÑUBLE

RESUMEN EJECUTIVO

INFORME FINAL

CONTROL INTERNO

Rev.	Elaboró			Revisó			Aprobó			Observaciones
	Nombre	Fecha	Firma	Nombre	Fecha	Firma	Nombre	Fecha	Firma	
A	JGM									Entrega Interna
B	JGM	29.01.20		JGM	29.01.20		HVB	29.01.20		Entrega Cliente
CLIENTE: MOP UNIDAD: DOP							CÓDIGO PROYECTO: PU201901			

CONTENIDO	ÍNDICE	PÁG.
1. INTRODUCCIÓN	1	1
1.1 GENERALIDADES	1	1
2. VISIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	2	2
3. PARTICIPACIÓN CIUDADADANA.....	5	5
3.1 REQUERIMIENTOS CIUDADANOS.....	5	5
4. TRABAJOS DE TERRENO	7	7
4.1 TOPOBATIMETRÍA.....	7	7
4.1.1 Perfiles Batimétricos Marítimos	7	7
4.1.2 Perfiles en el río	8	8
4.2 LÍNEA DE PLAYA.....	8	8
4.3 SEDIMENTOLOGÍA	9	9
4.3.1 Análisis sedimentológico del río Itata	9	9
4.3.2 Análisis sedimentológico sector marítimo	11	11
5. HIDROLOGÍA FLUVIAL.....	13	13
5.1 HIDROGRAMA DE CRECIDAS DE DISEÑO.....	15	15
6. MODELACIONES NUMÉRICAS.....	17	17
6.1 MODELACIÓN SITUACIÓN ACTUAL.....	17	17
7. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	19	19
7.1 ALTERNATIVA 1	19	19
7.2 ALTERNATIVA 2	21	21
7.3 ALTERNATIVA 3	23	23
8. PRESUPUESTOS ESTIMATIVOS	24	24
8.1 ALTERNATIVA 1	24	24
8.2 ALTERNATIVA 2	25	25
9. ANÁLISIS DE EFECTOS DE LA SOLUCIÓN (AMBIENTAL).....	27	27

CUADROS

CONTENIDO	PÁG.
Cuadro N° 3.1: Requerimientos ciudadanos.....	5
Cuadro N° 4.1: Resultados muestras de sedimentos, río Itata.....	10
Cuadro N° 4.2: Resultados muestras de sedimentos, Desembocadura.	12
Cuadro N° 5.1: Caudales máximos de crecida [m^3/s].....	15

FIGURAS

CONTENIDO	PÁG.
Figura N° 1.1: Desembocadura del río Itata.....	1
Figura N° 2.1: Registro de Caudal máximo, junio de 2015	4
Figura N° 4.1: Perfiles marítimos, Desembocadura río Itata.	7
Figura N° 4.2: Levantamiento perfiles topobatimétricos río Itata.	8
Figura N° 4.3: Levantamiento línea de playa.	9
Figura N° 4.4: Ubicación de muestras de sedimentos, río Itata.	10
Figura N° 4.5: Ubicación de muestras de sedimentos, zona desembocadura	11
Figura N° 5.1: Red Hidrométrica	14
Figura N° 5.2: Hidrogramas de diseño	16
Figura N° 5.3: Curvas de variación estacional de caudales mensuales en m^3/s Río Itata (en Coelemu).....	16
Figura N° 6.1: Máxima mancha de inundación Junio 2015.....	17
Figura N° 6.2: Velocidades en el sector de la obra fluvial OF-A para T2 (Feb-Jun)	18
Figura N° 6.3: Resultados corrientes río Itata – Situación con Obras.....	18
Figura N° 7.1: Protocolo Apertura Barra – Alternativa 1	20
Figura N° 7.2: Obras de protección Alternativa 2	21
Figura N° 7.3: Protocolo Apertura Barra – Alternativa 2	22
Figura N° 7.4: Layout Alternativa 3 y Corte sector Cabezo.....	23

FOTOGRAFÍAS

CONTENIDO	PÁG.
Fotografía N° 2.1: Inundación sector norte - Boca de Itata	2
Fotografía N° 2.2: Ribera erosionada sector norte - Boca de Itata	3
Fotografía N° 9.1: Algunas de las actividades económicas identificadas en las riberas de la desembocadura del río Itata.....	28

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

La Dirección de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas, ha contratado los servicios de GSI Ingenieros Consultores Ltda., para la ejecución del proyecto “Análisis Hidráulico Desembocadura Río Itata, Comuna de Trehuaco y Coelemu, Región del Ñuble”. El objetivo de la Consultoría es realizar los estudios de condiciones naturales del sistema perteneciente a la desembocadura del río Itata, con el fin de analizar la situación existente y proponer soluciones a nivel conceptual por las inundaciones que se producen en ciertas épocas del año.

En la actualidad, algunos sectores ribereños (Boca y Vegas de Itata) se ven afectados por inundaciones en predios agrícolas generalmente en períodos de verano, producto del cierre natural de la barra arenosa (playa) ubicado en la desembocadura del río.

Para cumplir con el objetivo planteado, se recurrirá a una campaña de terreno consistente en el levantamiento de perfiles topobatemétricos del río Itata y de su desembocadura, junto con la toma de muestras de sedimentos con el fin de caracterizar la granulometría del área de estudio. Junto con lo anterior, se estudiará la información perteneciente al río Itata referente a su hidrología en base a la información proporcionada por la Dirección General de Aguas.

Con toda esta información se proponen escenarios para las modelaciones numéricas desarrolladas, en base al estudio hidrológico del río Itata, para finalmente desarrollar alternativas de solución.

Figura N° 1.1: Desembocadura del río Itata



Fuente: Elaboración Propia.

2. VISION DE LA PROBLEMÁTICA

El río Itata atraviesa la región del Ñuble en una longitud aproximada de 140 km, llevando consigo un caudal medio de $180 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente. El proyecto en comento, busca analizar las condiciones naturales de la desembocadura de este río, con el fin de caracterizar su hidrodinámica e hidrología y así estudiar posibles soluciones sobre las inundaciones que acontecen en la zona cercana a la desembocadura.

Actualmente los sectores de Vegas de Itata, perteneciente a la comuna de Coelemu y Boca de Itata, perteneciente a la comuna de Trehuaco, sufren de las inundaciones producto de las crecidas del río y del cierre simultáneo de la desembocadura por la barra de arena. Los predios inundados principalmente tienen un carácter agrícola (cultivo de papas) y en menor medida, viviendas de los vecinos del sector.

La información recopilada, junto con el estudio de antecedentes, da cuenta que las inundaciones se producen principalmente en épocas de verano-otoño cuando el río baja su caudal. En efecto, se produce un aumento en la altura de la barra arenosa en período de bajo caudal, provocando un cierre de ésta debido a la alta tasa de transporte de sedimentos que se da en el sector.

En visita a terreno efectuada el 11 de abril de 2019, fue posible identificar problemas de erosión en ribera norte (Boca de Itata) producto de aumentos en el caudal (mayor velocidad) y las inundaciones antes comentadas.

Fotografía N° 2.1: Inundación sector norte - Boca de Itata



Fuente: www.vigilantecostero.cl

Fotografía N° 2.2: Ribera erosionada sector norte - Boca de Itata



Fuente: Terreno GSI

Uno de los casos con mayor cantidad de antecedentes corresponde a la inundación de 06 de junio de 2015. Para ello se cuenta con información entregada por la I. Municipalidad de Coelemu y la DOP.

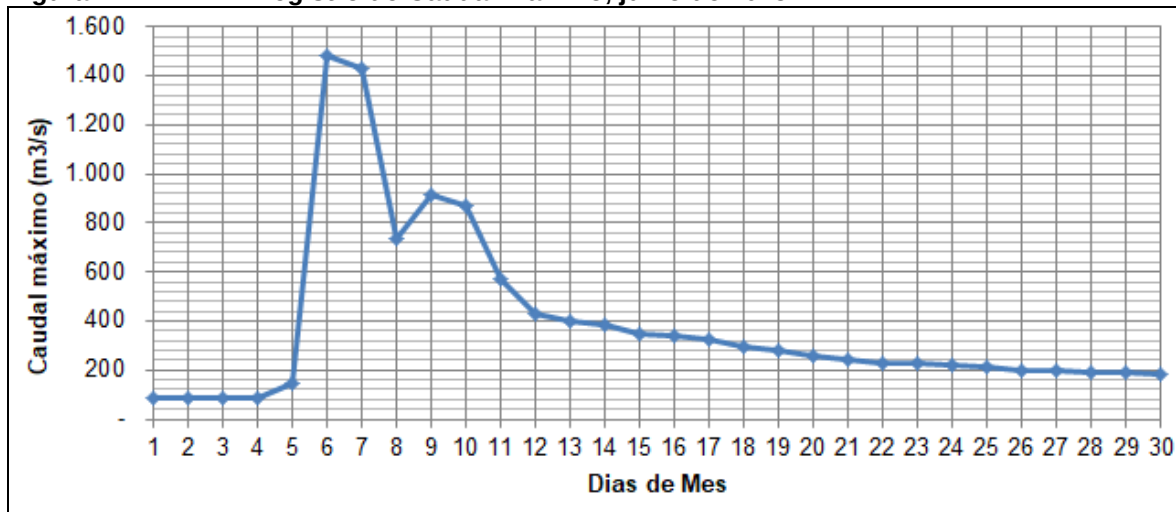
En dichos antecedentes, se señala que personal de la DOP visitó el sector de estudio el viernes 05 de junio de 2015, constatando que existía una pequeña abertura en la barra por el sector de Trehuaco. Una descripción importante a destacar es la siguiente:

“Ese día se visitó con la presencia de los dirigentes don Omar Gutiérrez y don Segundo Cisterna y de Gonzalo Suazo encargado de emergencia de la Municipalidad de Coelemu y telefónicamente con la Municipalidad de Trehuaco, y se constató que ya estaba coordinada la presencia de una excavadora para abrir la barra para el lunes 8 de Junio a las 8:30 hrs. a través de la Municipalidad de Trehuaco, mediante financiamiento de la Celco. Se llegó al acuerdo con todas las personas presentes en la desembocadura, que no habría problemas de esperar hasta el lunes la disponibilidad de esta excavadora

gestionada por la Municipalidad de Trehuaco, ya que con el caudal de agua que había hasta esa hora no se preveían mayores problemas de inundación en la desembocadura”.

En la Figura N° 2.1 se muestra el registro de caudal máximo por día medido en la estación DGA en Coelemu. Esta estación se ubica a unos 20 km aguas arriba de la desembocadura.

Figura N° 2.1: Registro de Caudal máximo, junio de 2015



Fuente: Elaboración propia con información de la DGA.

La figura muestra un aumento considerable entre el día 5 y 6 de junio, que fue el factor que produjo la inundación. Según los registros se observa un aumento de aproximadamente **1.000 m³/s** en menos de 24 horas. Esta condición natural, sumada a que la barra se encontraba cerrada (salvo una pequeña abertura en Trehuaco), generó una condición de emergencia en los sectores ribereños.

Por lo tanto, existen dos efectos que se estudian en esta Consultoría, uno correspondiente al mecanismo natural del cierre de la barra (dinámica de la playa) y el otro respecto al estudio de los máximos asociados a aumentos de caudales en tramos cortos de tiempo. Lo anterior se estudia con base en información de algunas estaciones de la DGA ubicadas aguas arriba de la zona de estudio. Importante será definir el tiempo en que se produce la lluvia en la cuenca hidrográfica y cómo este aporte de caudal llega a la desembocadura. Paralelo a aquello, se estudia el comportamiento de la barra arenosa en condiciones medias y extremas de oleaje, para conocer aquellos estados de mar que provocan la acumulación de sedimentos.

3. PARTICIPACIÓN CIUDADADANA

Se realizaron dos actividades de Participación Ciudadana, en ambas, la comunidad expresó su satisfacción por el estudio realizado y las soluciones propuestas, manifestando su deseo de que las obras y los protocolos de intervención de la desembocadura del Río Itata, se materialicen a la mayor brevedad posible.

Las comunidades ligadas a los proyectos, tanto en la comuna de Coelemu (Vega de Itata) como de Trehuaco (Boca de Itata), han valorado el estudio y el hecho de que se posibilitara su participación en él, a través de las actividades de participación ciudadana realizadas.

3.1 Requerimientos ciudadanos

La comunidad evaluó positivamente la realización del Estudio Hidráulico Desembocadura del Río Itata, puesto que se espera que él solucione, de manera definitiva, los problemas actuales. En términos de requerimientos del Estudio, manifestaron lo siguiente:

Cuadro N° 3.1: Requerimientos ciudadanos

N°	Requerimiento	Prioridad	Atención
1	Evitar inundaciones para asegurar la continuidad de la actividad agrícola y de engorda de animales, en la zona de desembocadura	1	Es el objetivo del Estudio
2	Gestión de la desembocadura mediante Protocolo de Alerta Temprana ante obstrucción de la descarga del río al mar	1	Se contemplará como objetivo del Estudio
3	Asegurar un nivel mínimo del río en la desembocadura, para permitir la continuidad de la actividad de pesca	1	Se contemplará como objetivo del Estudio
4	Gestión de la cuenca del Itata en términos de regular las extracciones de agua y la operación del futuro Embalse Punilla	3	No está dentro del alcance del Estudio (sin embargo las autoridades del MOP han tomado debida nota)
5	Evitar intervenciones mediante obras civiles en la desembocadura	2	Se procurará atender lo solicitado
6	Respetar el Sitio Prioritario existente vinculado a los humedales como lugar de	2	Se contemplará como objetivo del Estudio

	descanso de aves migratorias		
7	Dar solución, mediante obras civiles de protección al problema de erosión de la ribera norte del río (Trehuaco), en el sector cercano a desembocadura	2	Se atenderá lo solicitado
8	Gestión de la cuenca del Itata en términos de regular las extracciones de agua y la operación del futuro Embalse Punilla	3	No está dentro del alcance del Estudio (sin embargo las autoridades del MOP han tomado debida nota)

Prioridad 1=Altísima; Prioridad 2=Alta; Prioridad 3=Media

Fuente: Elaboración propia

4. TRABAJOS DE TERRENO

4.1 Topobatimetría

Para conocer las características topográficas y batimétricas del sector de estudio se levantaron perfiles en 3 sectores específicos.

- 1) Sector marítimo, correspondiente a la playa donde se forma la barra de arena. Para este sector se levantaron **10 perfiles (B-01 a B-10)** distanciados cada 1 km.
- 2) Sector Desembocadura. Para este sector se levantaron **20 perfiles (P-29 a P-48)** espaciados cada 250 m, cubriendo así alrededor de 5 km.
- 3) Sector río. Para este sector se levantaron **28 perfiles (P-01 a P-28)** espaciados cada 250 m, cubriendo así alrededor de 7 km.

Con lo anterior, se cubrió los últimos 12 km de la desembocadura del río Itata.

Los resultados de los levantamientos de cada sector, se expone en lo que sigue:

4.1.1 Perfiles Batimétricos Marítimos

En el caso de los perfiles marítimos, se realizaron 10 perfiles perpendiculares a la costa cubriendo un área de 21,9 km². Los perfiles fueron identificados desde el B-1 a B-10 (de norte a sur).

Figura N° 4.1: Perfiles marítimos, Desembocadura río Itata.



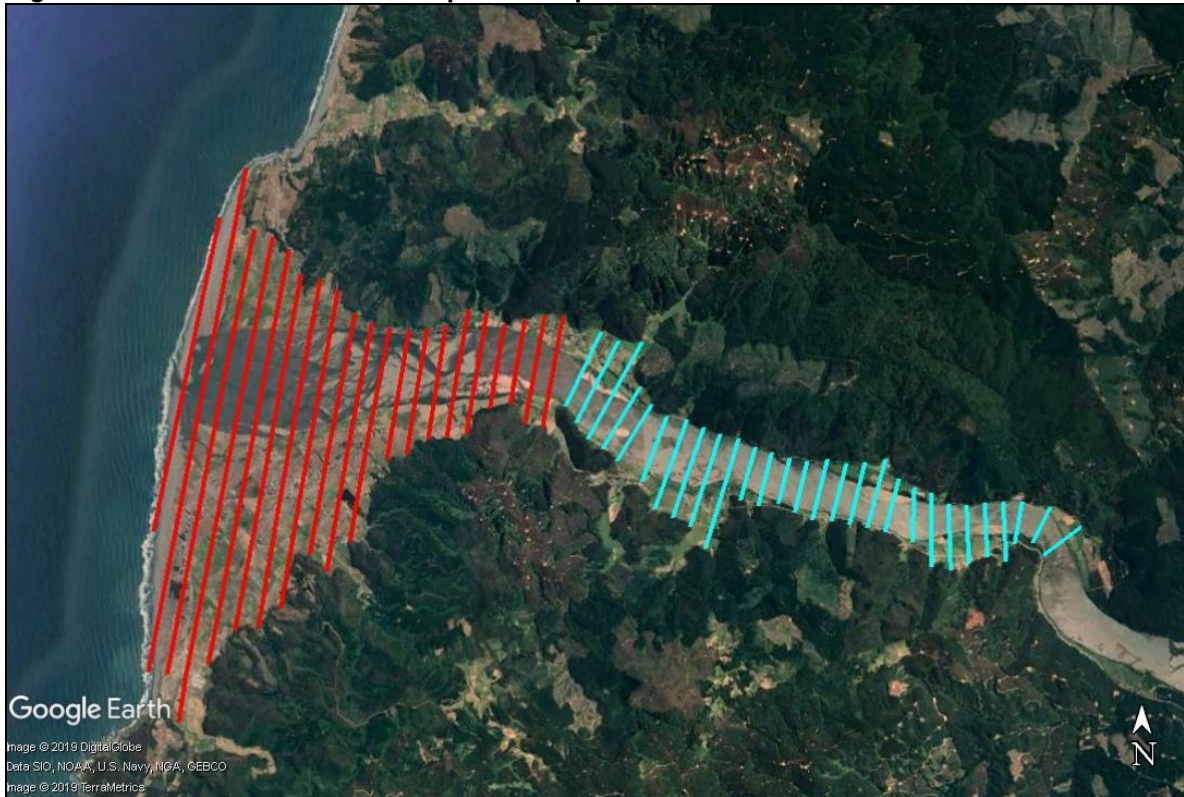
Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2 Perfiles en el río

Para el levantamiento de perfiles en el río Itata, se utilizaron técnicas que facilitaron el proceso de adquisición de datos en terreno. En este caso, fue de vital importancia el uso de vuelos Aero fotogramétricos a lo largo del área en estudio, que aportaron información topográfica que a su vez fue cotejada y complementada con los datos obtenidos mediante la medición GPS en modo RTK (Real Time Kinematic), correspondiente a cada perfil propuesto.

De esta manera, se logró obtener la sección completa del terreno. Los perfiles en el río Itata se presentan en la Figura N° 4.2, en rojo se observa los 20 perfiles (P-29 a P-48) correspondientes al sector de desembocadura del río Itata y en color cian los 28 perfiles (P-01 a P-28) efectuados río arriba del Itata.

Figura N° 4.2: Levantamiento perfiles topobatimétricos río Itata.



Fuente: Elaboración Propia.

4.2 Línea de playa

Las mediciones de la línea de la playa, se realizaron el día 06 de mayo de 2019. El estudio se realizó utilizando el vértice "ITA 1", el cual fue debidamente vinculado a la Red Geodésica Nacional, a través de una medición GPS en modo estático tomando como

base de referencia al vértice “MELA”, proporcionado por el Servicio Hidrográfico Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA).

Figura N° 4.3: Levantamiento línea de playa.



Fuente: Elaboración Propia.

La Determinación de Línea de Playa se efectuó durante las horas 11:30 a 14:50 horas (hora local UTC-04). La Línea de La Playa en pleamar se identificó con la línea de “mugre” (acumulación de partículas producto del mayor alcance de la marea) observada en el sector estudiado. La línea fue levantada utilizando el método Cinemático, y con la presencia de la Autoridad Marítima local de la Capitanía de Puerto de Lirquén.

4.3 Sedimentología

Para el estudio de sedimentología en el sector de estudio, se recolectaron **25 muestras** de sedimentos, 10 de ellas ubicadas a lo largo del río Itata definido dentro del área de influencia y 15 muestras en el sector marítimo en la desembocadura del río.

Un resumen de los resultados obtenidos se presenta a continuación:

4.3.1 Análisis sedimentológico del río Itata

La distribución de muestras de sedimento en el río Itata se muestra en la Figura N° 4.4.

Figura N° 4.4: Ubicación de muestras de sedimentos, río Itata.



Fuente: Elaboración Propia.

Las muestras fueron distribuidas en el área del proyecto (SF-01 a SF-08). También se incluyeron dos estaciones SF-09 y SF-10, correspondiente a caracterizar el aporte del río Lonquen al río Itata (SF-09) y una estación cerca el lugar de medición de la estación de la DGA en Coelemu, con el fin de correlacionar los registros con el levantamiento en terreno.

Los resultados del peso específico y diámetro nominal (D_{50}) se presentan en el Cuadro N° 4.1.

Cuadro N° 4.1: Resultados muestras de sedimentos, río Itata

Id. Muestras	UTM (m)		Geográficas		D_{50} (mm)	Densidad (kg/m^3)
	Este	Norte	Latitud	Longitud		
SF-01	703.198	5.968.580	36°24'23.32"S	72°44'2.15"O	0,81	2.703
SF-02	701.978	5.968.748	36°24'18.80"S	72°44'51.25"O	1,14	2.663
SF-03	700.525	5.968.971	36°24'12.66"S	72°45'49.75"O	0,90	2.637
SF-04	699.094	5.969.498	36°23'56.65"S	72°46'47.65"O	0,73	2.642
SF-05	697.558	5.970.040	36°23'40.21"S	72°47'49.77"O	0,71	2.702
SF-06	696.424	5.970.740	36°23'18.34"S	72°48'35.89"O	0,95	2.709
SF-07	693.869	5.970.951	36°23'13.37"S	72°50'18.57"O	0,76	2.714
SF-08	691.560	5.970.904	36°23'16.56"S	72°51'51.15"O	0,34	2.891
SF-09	706.775	5.965.219	36°26'9.57"S	72°41'35.42"O	0,65	2.745
SF-10	706.763	5.961.445	36°28'11.96"S	72°41'32.28"O	0,66	2.780

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.2 Análisis sedimentológico sector marítimo

Para caracterizar los sedimentos ubicados en la barra, se realizaron 5 transectas, donde en cada transecta se tomaron 3 muestras. Una muestra en la zona seca (TX-SE), otra muestra en la zona intermareal (TX-IN) y otra muestra en la zona sumergida (TX-SU).

La ubicación en planta de las transectas realizadas se muestra en la Figura N° 4.5.

Figura N° 4.5: Ubicación de muestras de sedimentos, zona desembocadura



Fuente: Elaboración Propia.

En visita a terreno se observó que la playa tiene una arena uniforme en cuanto a tamaño. Esta playa tiene un carácter disipativo con alta concentración de energía, debido a la amplia zona de rompientes. Se observa una pendiente suave, por lo que es esperable que los sedimentos en estas tres zonas antes descritas, mantenga un mismo diámetro nominal.

Los resultados del peso específico y diámetro nominal (D_{50}) de cada muestra, se presentan en el Cuadro N° 4.2.

Cuadro N° 4.2: Resultados muestras de sedimentos, Desembocadura.

Id. Muestras	UTM (m)		Geográficas		D ₅₀ (mm)	Densidad (kg/m ³)
	Este	Norte	Latitud	Longitud		
T1-SE	691.461	5.971.933	36°22'43.26"S	72°51'56.03"O	0,41	3.005
T1-IN	691.328	5.972.007	36°22'40.95"S	72°52'1.43"O	0,41	3.024
T1-SU	691.311	5.972.017	36°22'40.64"S	72°52'2.12"O	0,69	2.756
T2-SE	691.262	5.971.469	36°22'58.45"S	72°52'3.60"O	0,51	2.879
T2-IN	691.185	5.971.469	36°22'58.50"S	72°52'6.69"O	0,42	2.982
T2-SU	691.158	5.971.478	36°22'58.23"S	72°52'7.78"O	0,77	2.714
T3-SE	691.172	5.971.082	36°23'11.06"S	72°52'6.87"O	0,59	2.786
T3-IN	691.101	5.971.130	36°23'9.56"S	72°52'9.76"O	0,63	2.761
T3-SU	691.088	5.971.136	36°23'9.37"S	72°52'10.28"O	0,72	2.752
T4-SE	691.023	5.970.518	36°23'29.46"S	72°52'12.35"O	0,65	2.813
T4-IN	690.989	5.970.532	36°23'29.03"S	72°52'13.72"O	0,42	2.939
T4-SU	690.982	5.970.532	36°23'29.04"S	72°52'14.00"O	0,52	2.952
T5-SE	690.992	5.970.005	36°23'46.12"S	72°52'13.13"O	0,49	2.942
T5-IN	690.927	5.970.031	36°23'45.33"S	72°52'15.77"O	0,38	3.289
T5-SU	690.909	5.970.014	36°23'45.89"S	72°52'16.47"O	0,42	2.885

Fuente: Elaboración Propia.

5. HIDROLOGÍA FLUVIAL

En la cuenca del río Itata existen 27 estaciones pluviométricas, 20 estaciones fluviométricas y 7 estaciones sedimentométricas. En este estudio se determinó que la estación Río Itata en Coelemu, ubicada aproximadamente a 24 Km aguas arriba de la barrera, refleja de buena forma los caudales que fluyen por la desembocadura del río.

Se realizó un análisis estadístico con los caudales de dicha estación además de estudiar correlaciones con otras estaciones ubicadas más lejanas hacia aguas arriba y que provean por lo tanto más tiempo de reacción.

Se analizó la correlación entre estaciones fluviométricas por una parte, que aportarían información del caudal pasante en el curso fluvial medido, y que por lo tanto representa una situación de hecho, con un tiempo de reacción disponible equivalente al tiempo que demora en llegar el pulso de crecida al sector de la desembocadura.

Con relación a la precipitación, sin embargo, podría disponerse de una predicción (pronóstico del tiempo) que pueda otorgar más tiempo para reaccionar (abrir la barrera).

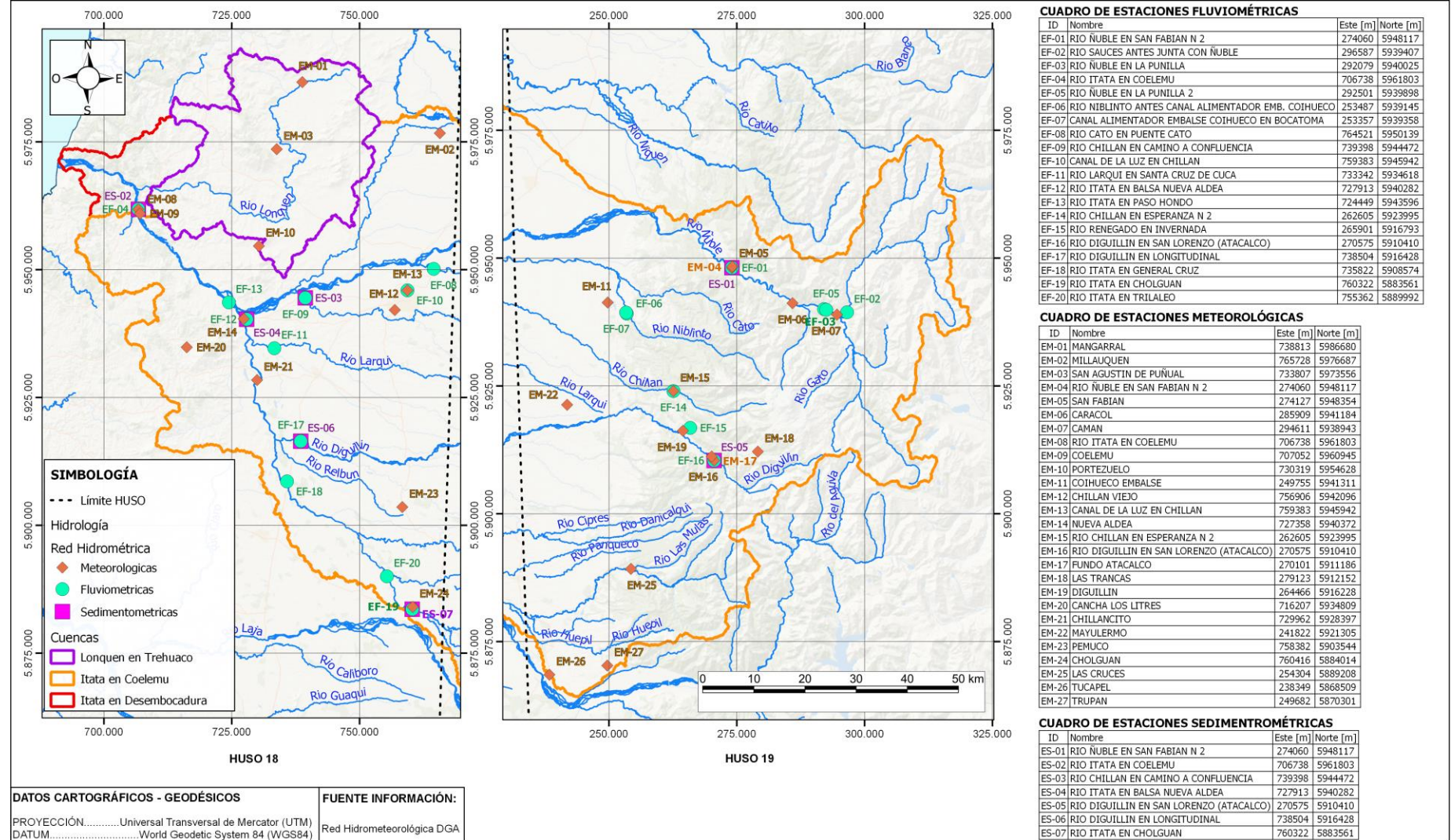
En consecuencia, con el fin de asociar los caudales máximos de crecida con un pronóstico meteorológico con mayor tiempo de previsión, fue necesario relacionarlos con los milímetros de agua caída en alguna(s) estación(es) representativa(s) de interés de la cuenca.

Además, para analizar la variabilidad y formación de la barra se analizó su evolución en el tiempo a partir de las fotos satelitales disponibles.

Las estaciones donde existe información estadística para todas estas variables se presentan en la Figura N° 5.1.

Ministerio de Obras Públicas/ Dirección de Obras Portuarias
Análisis Hidráulico Desembocadura Río Itata, Comunas de Trehuaco y Coelemu – Región del Ñuble

Figura N° 5.1: Red Hidrométrica



Fuente: Elaboración propia.

Análisis Hidráulico Desembocadura Río Itata, Comunas de Trehuaco y Coelemu – Región del Ñuble

Resumen Ejecutivo

5.1 Hidrograma de Crecidas de Diseño

De acuerdo con los análisis efectuados, se determinaron las crecidas de diseño, las que se ocupan en la modelación hidráulica de la desembocadura.

Cabe recordar que, considerando que los problemas de inundación ocurren preferentemente en los meses de febrero a junio, el análisis estadístico se efectuó con los datos correspondientes a dicho periodo, cuestión que fue acordada con la inspección fiscal.

Entonces, para el análisis estadístico se ha considerado la serie de caudales instantáneos en el periodo de registros (1986-2018), eliminándose los meses entre julio y enero, para luego determinar el nuevo máximo con el año abreviado.

En consecuencia, considerando una distribución de probabilidad de valores extremo tipo I (Gumbel), que es la que presenta el mejor ajuste, los caudales máximos de crecida adoptados por periodo de retorno son los siguientes.

Cuadro N° 5.1: Caudales máximos de crecida [m³/s]

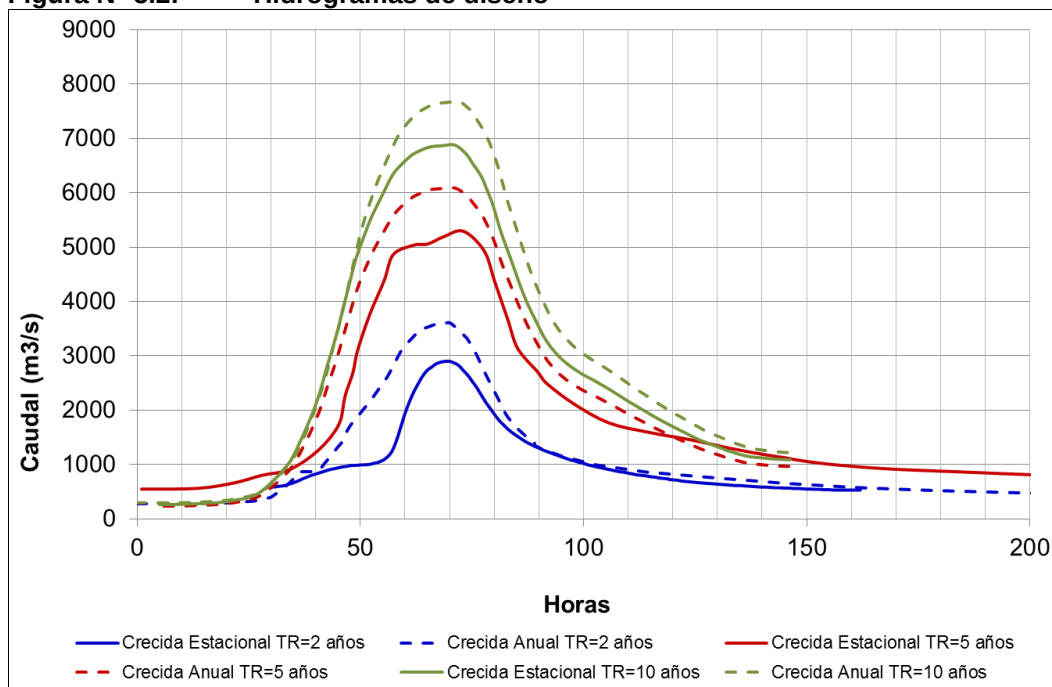
Periodo	T = 2 años	T = 5 años	T = 10 años
Febrero-Junio	2.900	5.300	6.880
Anual	3.700	6.100	7.680

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con estos caudales máximos, se seleccionaron crecidas de diseño representativas a partir de la estadística disponible ocupada para el análisis, las que se ajustaron mediante un factor de proporcionalidad para llegar al caudal máximo (peak) de diseño requerido.

En la figura siguiente se presentan los hidrogramas de diseño utilizados en la modelación hidráulica, para periodos de retorno de 2, 5 y 10 años.

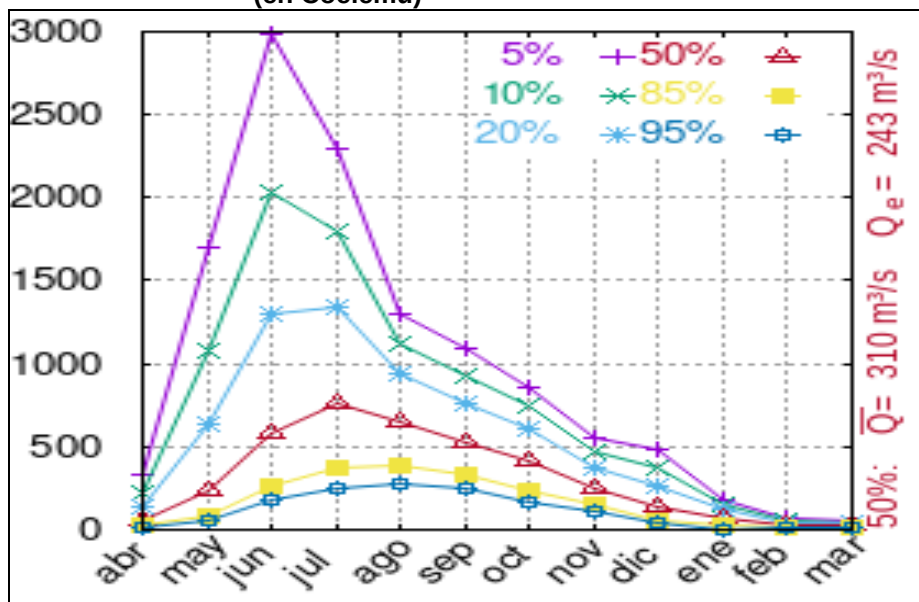
Figura N° 5.2: Hidrogramas de diseño



Fuente: Elaboración propia.

Cabe señalar que el caudal medio anual del río Itata asciende a $310 \text{ m}^3/\text{s}$, según se aprecia en el siguiente gráfico.

Figura N° 5.3: Curvas de variación estacional de caudales mensuales en m^3/s Río Itata (en Coelemu)



Fuente: DGA.

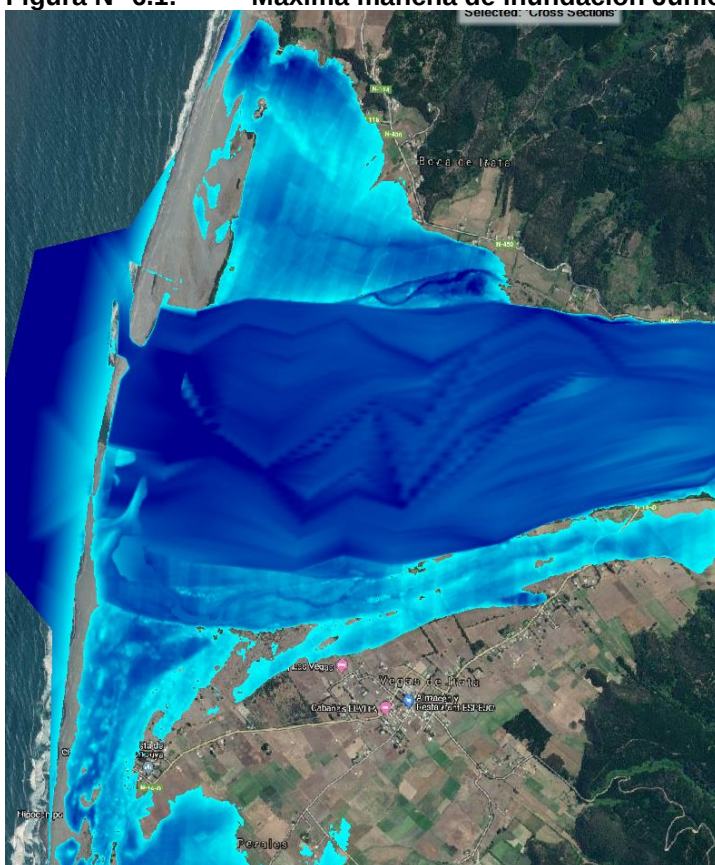
6. MODELACIONES NUMÉRICAS

Se realizaron modelaciones tanto del cuerpo marítimo como del fluvial, analizando de esta manera la dinámica actual de la desembocadura del río Itata y también su comportamiento con obras que mitiguen las inundaciones en Boca de Itata y Vegas de Itata.

6.1 Modelación Situación Actual

Se presenta a continuación, la modelación asociada al escenario de Junio de 2015.

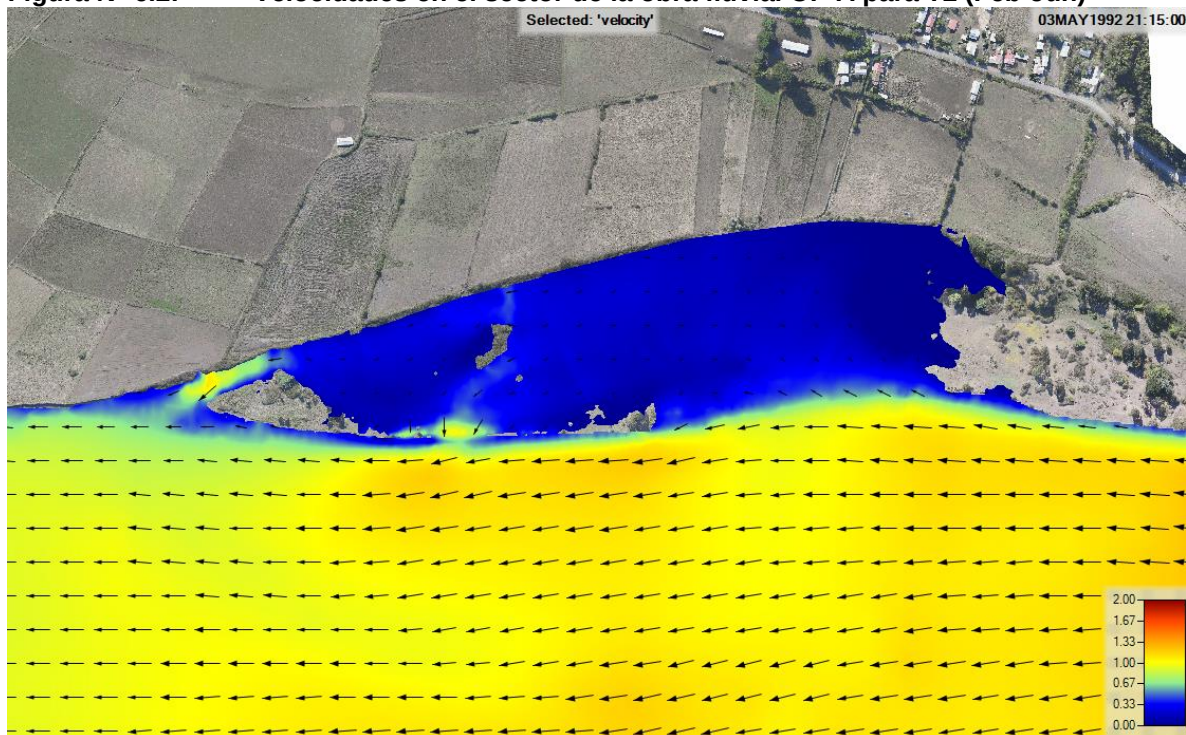
Figura N° 6.1: Máxima mancha de inundación Junio 2015



Fuente: Elaboración propia

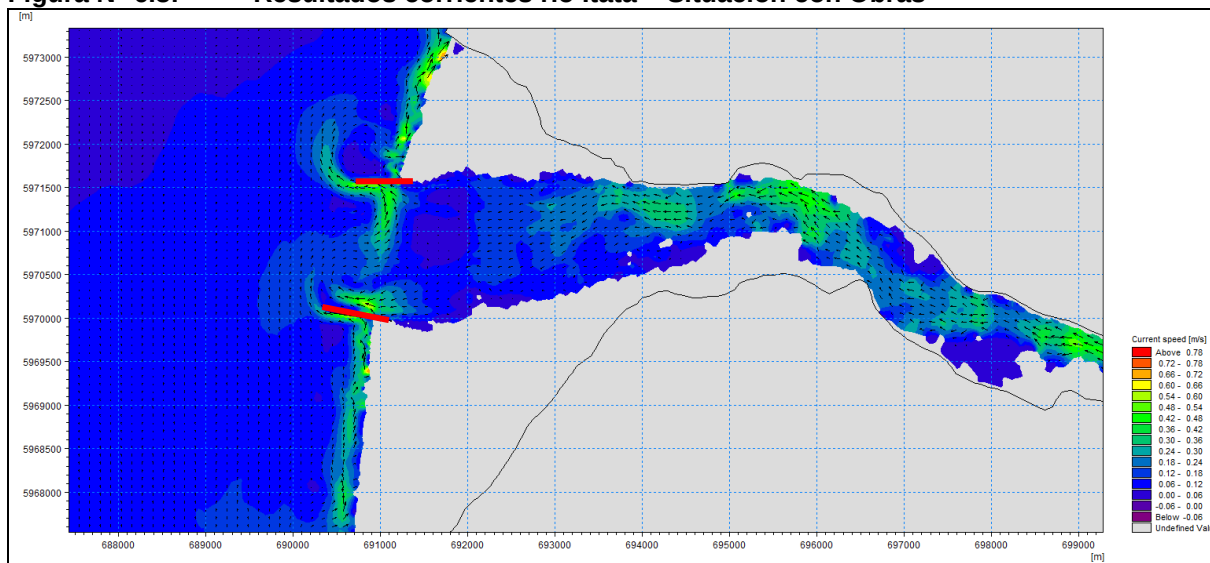
Además, se plantearon alternativas que proponen obras para mitigar los efectos de inundación, a continuación se presentan algunas salidas de los modelos numéricos, la primera corresponde a una defensa fluvial, mientras que la segunda a una obra de encausamiento mediante espigones.

Figura N° 6.2: Velocidades en el sector de la obra fluvial OF-A para T2 (Feb-Jun)



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 6.3: Resultados corrientes río Itata – Situación con Obras



7. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

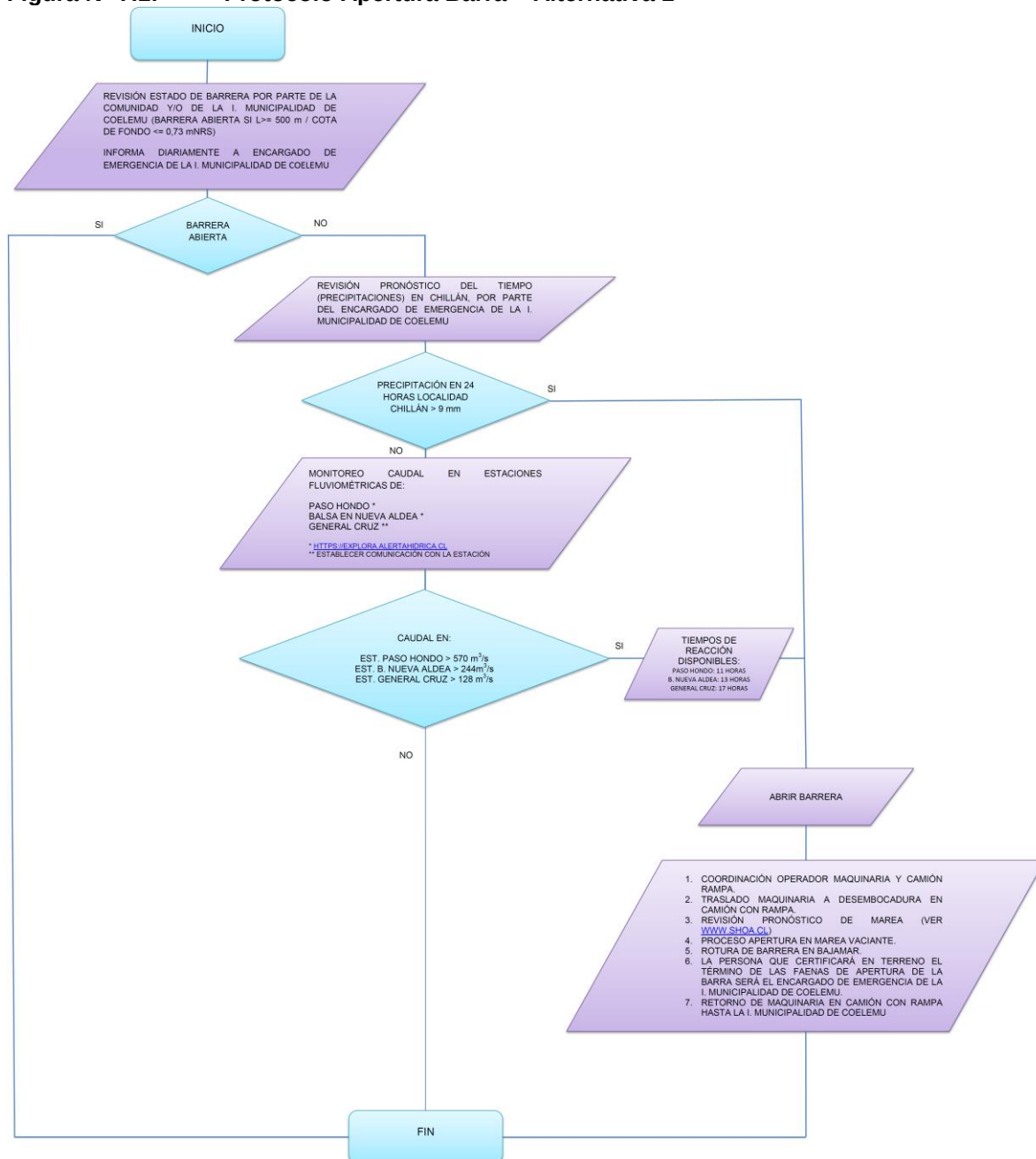
De acuerdo con lo planteado por la comunidad que habita el sector de la desembocadura del río Itata, las soluciones que esperan son del siguiente tipo:

- Alternativa 1: Establecer un protocolo de apertura de la barrera, con base en pronósticos o alertas de lluvia y/o de crecidas en el río. De este modo, con cierta disponibilidad de tiempo razonable, se traería una máquina excavadora que abra la barrera antes de la crecida, y se evite así las inundaciones, total o parcialmente.
- Alternativa 2: Construir una obra de defensa fluvial por el lado norte, que proteja los sectores susceptibles de inundación, de modo que no se dependa de la apertura de la barrera. Establecer un protocolo de apertura de la barrera, con base en las mismas variables de alerta del protocolo de la alternativa 1, para crecidas superiores considerando la protección que otorga la obra de defensa fluvial proyectada.
- Alternativa 3: Construir dos espigones, que eviten, parcial o totalmente la formación de la barrera.

7.1 Alternativa 1

Esta alternativa considera solamente un protocolo de apertura de la barrera, el cual se presenta en el siguiente esquema:

Figura N° 7.1: Protocolo Apertura Barra – Alternativa 1

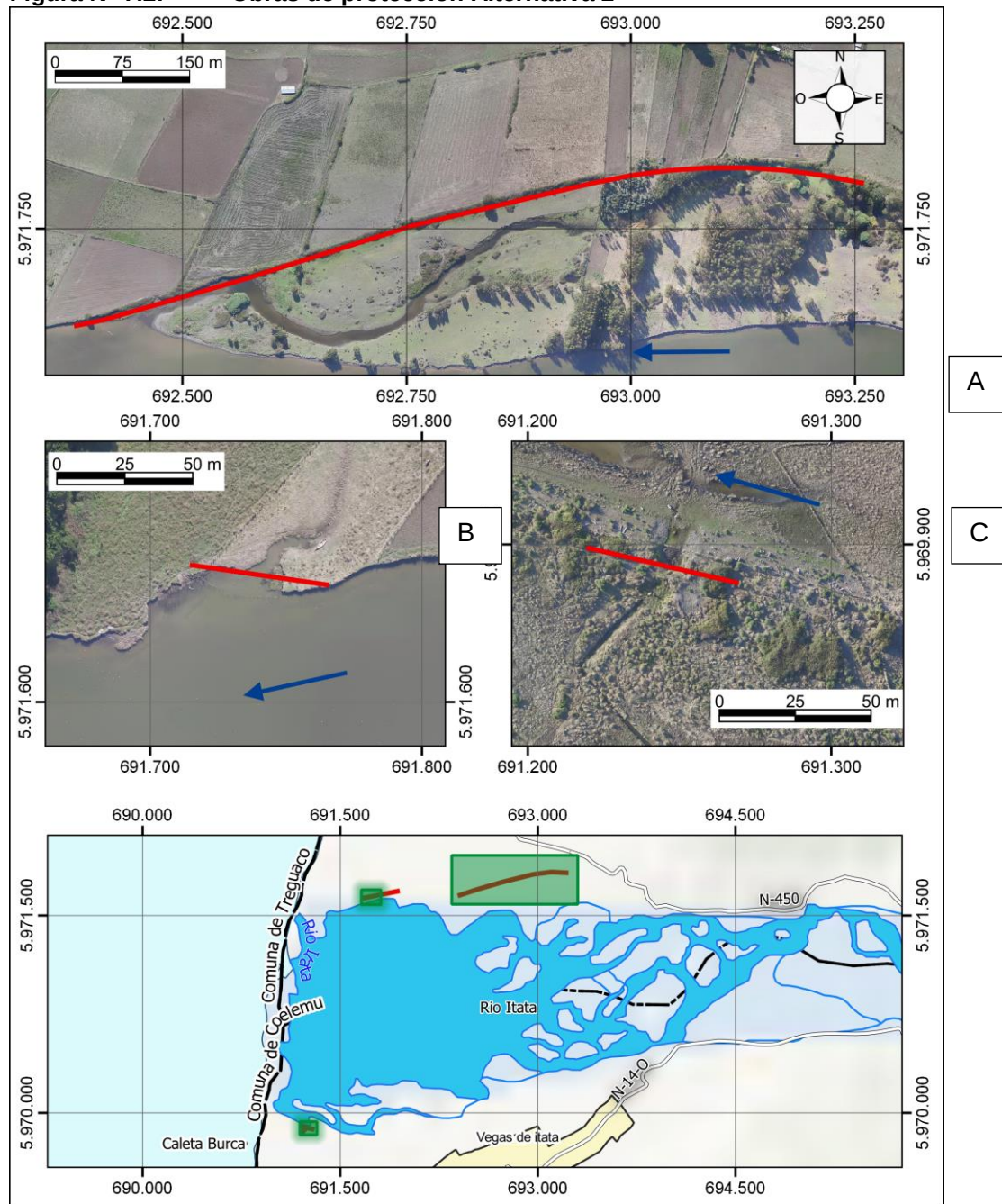


Fuente: Elaboración propia.

7.2 Alternativa 2

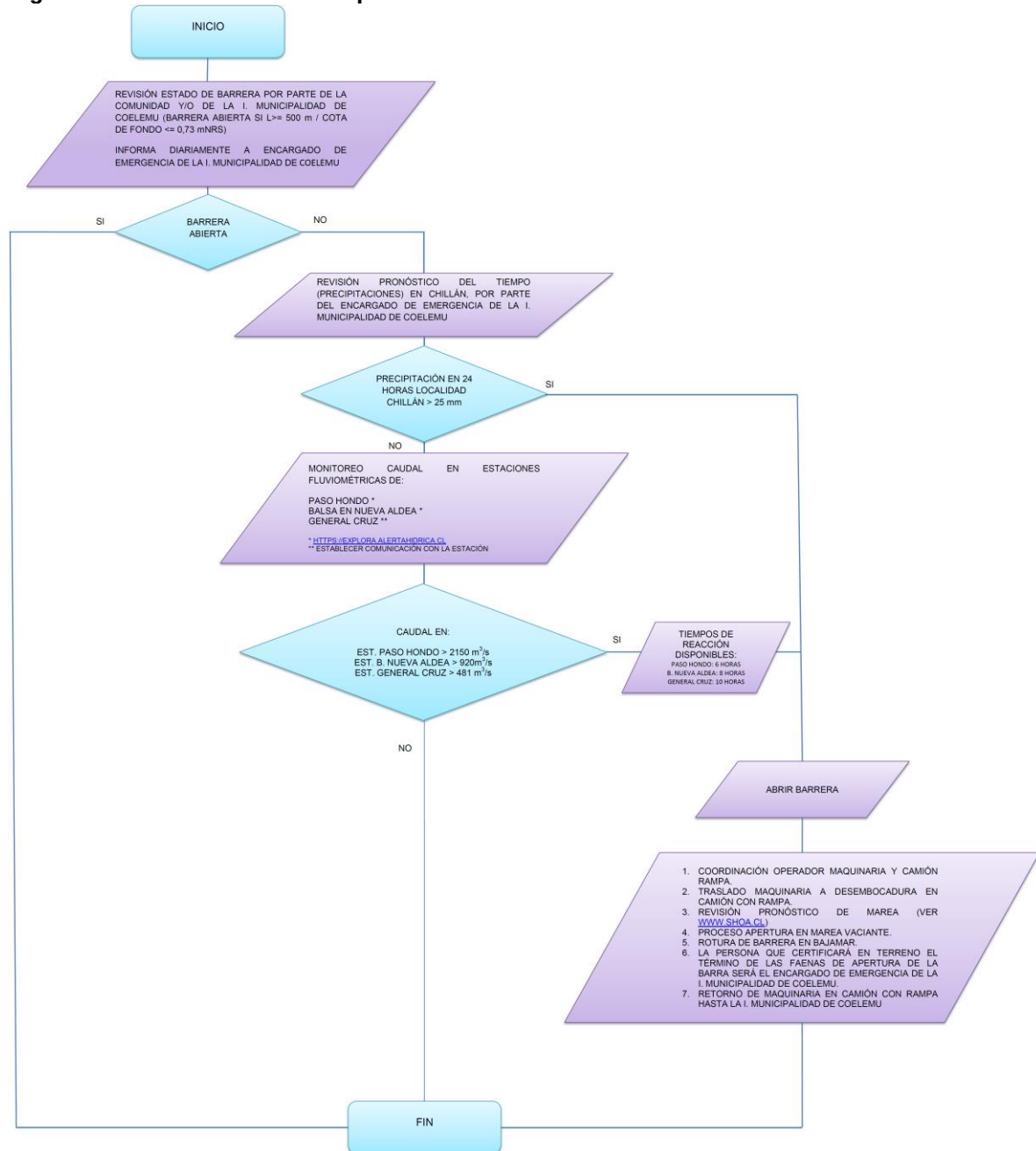
Esta alternativa considera una solución mixta, en donde se han definido obras de defensa fluvial, que protegerán las áreas de cultivo de la ribera norte y de la ribera sur en la desembocadura del río, acompañada de un protocolo de apertura de barrera.

Figura N° 7.2: Obras de protección Alternativa 2



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 7.3: Protocolo Apertura Barra – Alternativa 2

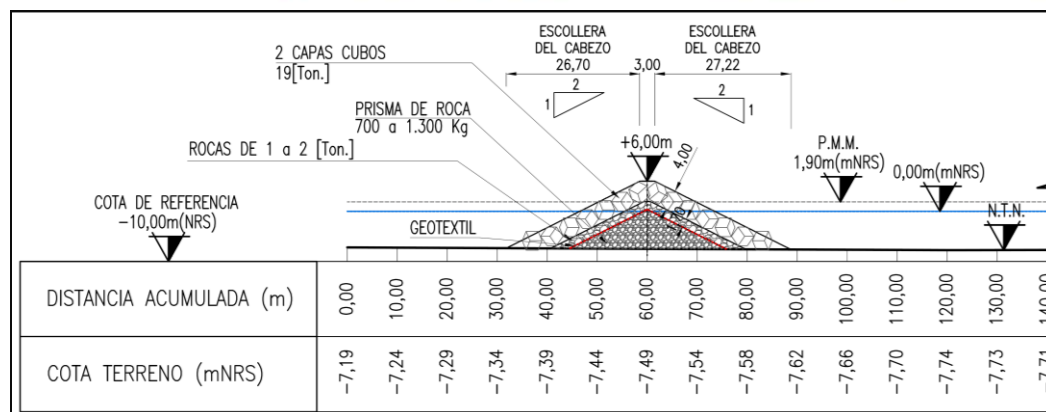
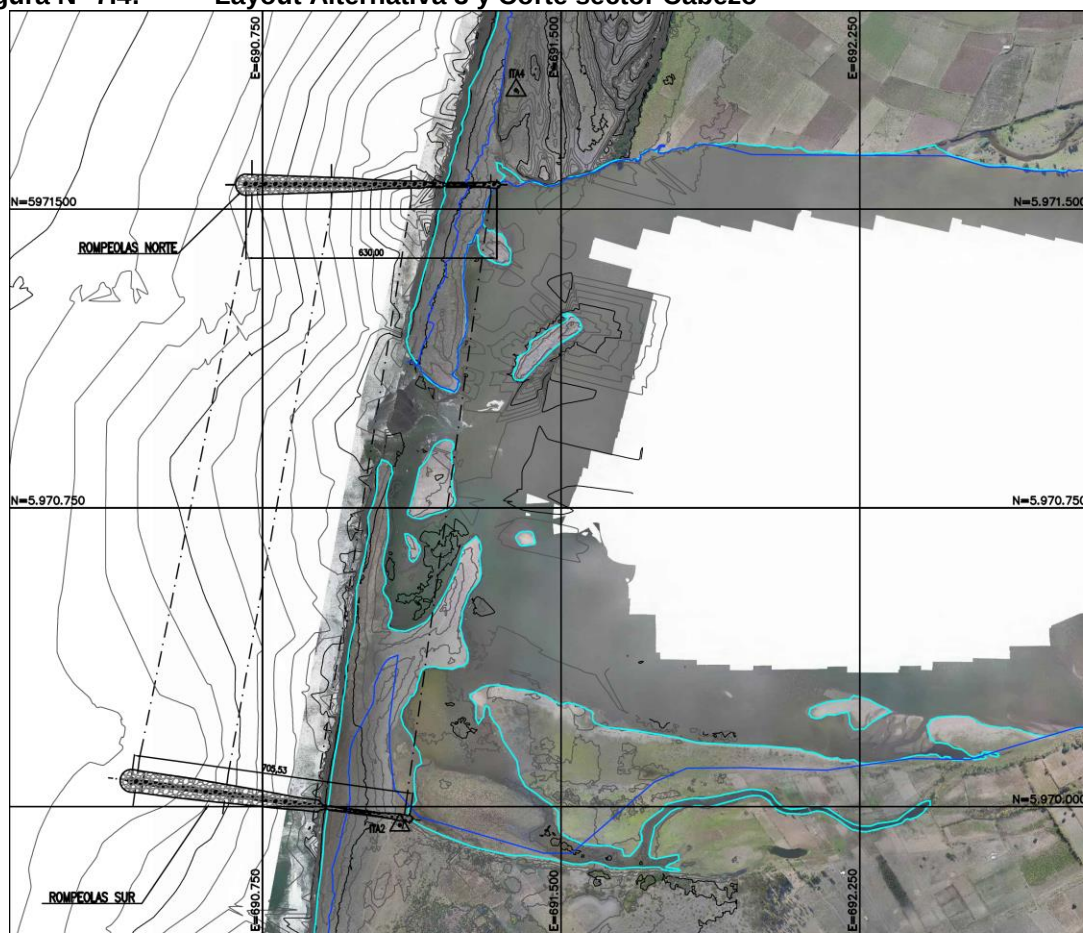


Fuente: Elaboración propia.

7.3 Alternativa 3

Esta alternativa se basa en una solución en base a dos espigones marítimos, el de la ribera norte de 630 m de longitud mientras que el de la ribera sur de 705 m de largo.

Figura N° 7.4: Layout Alternativa 3 y Corte sector Cabezo



Fuente: Elaboración propia.

8. PRESUPUESTOS ESTIMATIVOS

8.1 Alternativa 1

Para efectos de costos, se considera en este caso el valor de adquirir la maquinaria pesada (excavadora) con la cual se abrirá la barrera.

ITEM	DESCRIPCIÓN	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	SUMINISTRO MAQUINARIA				
1.1	Excavadora CAT 320 D2GC modelo motor C4.4	un	1	213.700.797	213.700.797
					213.700.797
			Total Neto		213.700.797
			IVA 19%		40.603.151
			COSTO TOTAL		254.303.948

ITEM	DESCRIPCIÓN	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
2	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENCIÓN				
2.1	Flete Camión con Rampa (ida y vuelta)	un	4	500.000	2.000.000
2.2	Operario Excavadora	día	4	37.000	148.000
2.3	Ayudante (2)	día	8	31.500	252.000
2.4	Combustible Excavadora	día	4	45.500	182.000
2.5	Mantención	gl	1	1.200.000	1.200.000
			Total Operación y Mantenición		3.782.000

8.2 Alternativa 2

ITEM	DESCRIPCIÓN	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	INSTALACIÓN DE FAENAS				
1.1	Instalación y Levante de Faenas	gl	1	55.000.000	55.000.000
				Sub Total 1	\$ 55.000.000
2	OBRAS DE FORTIFICACIÓN				
2.1	OBRA FLUVIAL-A				
2.1.1	Movimiento de Tierras				
2.1.1.1	Excavación	m ³	15.930	11.455	182.478.150
2.1.1.2	Relleno	m ³	14.461	23.925	345.979.425
2.1.1.3	Retiro y Transporte de excedentes	m ³	13.173	10.005	131.795.865
2.1.2	Obras anexas				-
2.1.2.1	Suministro y Colocación Geotextil	m ²	4.170	5.655	23.581.350
2.1.2.2	Suministro y Colocación de Gaviones	m ³	9.650	65.250	629.662.500
					-
2.2	OBRA FLUVIAL-B				
2.2.1	Movimiento de Tierras				-
2.2.1.1	Excavación	m ³	1.071	11.455	12.268.305
2.2.1.2	Relleno	m ³	903	23.925	21.604.275
2.2.1.3	Retiro y Transporte de excedentes	m ³	741	10.005	7.410.704
2.2.2	Obras anexas				-
2.2.2.1	Suministro y Colocación Geotextil	m ²	288	5.655	1.628.640
2.2.2.2	Suministro y Colocación de Gaviones	m ³	528	65.250	34.452.000
2.2.3	Obras Civiles				-
2.2.3.1	Suministro e instalación Compuerta 1,5x2 [m] en obras de hormigón	gl	1	17.400.000	17.400.000
					-
2.3	OBRA FLUVIAL-C				
2.3.1	Movimiento de Tierras				-
2.3.1.1	Excavación	m ³	828	11.455	9.484.740
2.3.1.2	Relleno	m ³	758	23.925	18.135.150
2.3.1.3	Retiro y Transporte de excedentes	m ³	716	10.005	7.167.582
2.3.2	Obras anexas				-
2.3.2.1	Suministro y Colocación Geotextil	m ²	216	5.655	1.221.480
2.3.2.2	Suministro y Colocación de Gaviones	m ³	528	65.250	34.452.000
2.3.3	Obras Civiles				-
2.3.3.1	Suministro e instalación Compuerta 1,5x2 [m] en obras de hormigón	gl	1	17.400.000	17.400.000
				Sub Total 2	\$ 1.496.122.166
3	SUMINISTRO MAQUINARIA				
3.1	Excavadora CAT 320 D2GC modelo motor C4.4	un	1	213.700.797	213.700.797
				Sub Total 3	\$ 213.700.797
				Sub-Total Neto	\$ 1.764.822.963
				Eventualidades 20%	\$ 352.964.593
				Total Neto	\$ 2.117.787.556
				IVA 19%	\$ 402.379.636
				COSTO TOTAL	\$ 2.520.167.191
4	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENCIÓN				
4.1	Flete Camión con Rampa (ida y vuelta)	un	4	500.000	2.000.000
4.2	Operario Excavadora	día	4	37.000	148.000
4.3	Ayudante (2)	día	8	31.500	252.000
4.4	Combustible Excavadora	día	4	45.500	182.000
4.5	Mantenición	gl	1	1.200.000	1.200.000
				Total Operación y Mantenición	3.782.000

Alternativa 3

ITEM	DESCRIPCIÓN	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	INSTALACIÓN DE FAENAS				
1.1	Instalación y Levante de Faenas	gl	1	330.065.123	330.065.123
					330.065.123
2	ESPIGONES				
2.1	Suministro y Colocación de Prisma de Rocas	m ³	66.971	25.000	1.674.275.000
2.2	Suministro y Colocación de Geotextil de Protección	m ²	21.862	8.000	174.896.000
2.3	Suministro y Colocación de Roca Filtro de 300 kg a 600 kg	m ³	17.543	25.000	438.575.000
2.4	Suministro y Colocación de Roca Filtro de 1 a 2 ton	m ³	16.017	48.000	768.816.000
2.5	Suministro y Colocación de Roca Coraza de 3 a 5 ton	m ³	34.902	52.000	1.814.904.000
2.6	Suministro y Colocación de Cubos de Hormigón de 19 ton	m ³	52.825	135.000	7.131.375.000
2.7	Suministro y Colocación de Roca Coraza de 3 ton	m ³	22.878	48.000	1.098.144.000
2.8	Dragado Desembocadura	m ³	590.286	16.000	9.444.576.000
2.9	Limpieza de fondo	m ³	25.586	13.000	332.618.000
					22.878.179.000
			Sub-Total Neto		23.208.244.123
			Eventualidades 20%		4.641.648.825
			Total Neto		27.849.892.948
			IVA 19%		5.291.479.660
			COSTO TOTAL		33.141.372.608

9. ANÁLISIS DE EFECTOS DE LA SOLUCIÓN (AMBIENTAL)

Desde el punto de vista ambiental, se realizó un análisis del área de la desembocadura del río Itata, el cual fue complementado con una visita a terreno realizada el día 28 de agosto de 2019. Este análisis ambiental expone las áreas de relevancia de esta perspectiva definidas en el área de estudio, con cartografías a color; presenta además fotografías de los aspectos de relevancia identificados en el sector y además presenta un análisis de pertinencia de ingreso de cada una de las alternativas del Proyecto al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Entre los principales resultados de este análisis ambiental, se destaca que se identificaron dos centros poblados relevantes asociados a la desembocadura del río Itata, uno correspondiente a Vegas del Itata en la ribera sur y Boca del Itata en la ribera Norte.

De estos dos centros poblados se indica que sólo la localidad de Vega del Itata se encuentra comprendida en el Plan Regulador Comunal de Coelemu (Resolución N° 163/2010), precisando tres áreas principales: área consolidada, área de extensión urbana y área especial y de restricción.

Por otro lado, se puntualizaron áreas de relevancia ambiental, entre ellas destaca el Sitio Prioritario de la Estrategia Regional de Biodiversidad denominado “Vegas de Itata”, el cual comprende una superficie de 2.011 há y alberga especies de flora, vegetación y fauna en problemas de conservación según el Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres (RCE), tales como el queule (*Gomortega keule*), zorro chilla (*Pseudalopex griseus*), sapo de antifaz (*Batrachyla taeniata*), becacina (*Gallinago paraguaiae*), flamenco chileno (*Phoenicopterus chilensis*) y culebra de cola corta (*Tachymenis chilensis*), categorizados, respectivamente, como: En peligro (EN), Preocupación Menor (LC), Casi Amenazada (NT), Preocupación Menor (LC), Rara (R), Preocupación Menor (LC).

Por otra parte, en relación al Suelo del área de estudio, se analizaron las Clases de Capacidad de Uso de suelo, identificando que la ribera norte posee uso de suelo arable de clase II, mientras que la ribera sur posee suelos arables de la clase II, III, IV y suelos no arables de la clase VIII. Además, de acuerdo a información indicada por CONAF, el área de estudio se encuentra entre los rangos de erosión moderada a muy severa. Es decir, se trata de suelos que han perdido entre el 25% al 100% del horizonte superficial.

Entre las principales actividades económicas identificadas, se concluye que en ambas localidades se privilegia la pesca, donde incluso se evidenció venta de pescados en las viviendas aledañas al río. Asimismo, a lo largo de la barra se identificaron estaciones de almacenaje de aparejos de pesca y zonas de atracadero de embarcaciones (Fotografía N° 9.1).

También, en los predios aledaños a la desembocadura se evidenciaron predios agrícolas y de pastoreo con presencia de animales de ganadería, lo cual también representa una actividad económica de los lugareños (Fotografía N° 9.1).

Fotografía N° 9.1: Algunas de las actividades económicas identificadas en las riberas de la desembocadura del río Itata.

Aspecto Identificado	Fotografía
<i>Predios agrícolas y animales de ganadería identificados en predios aledaños a la ribera norte del río Itata.</i>	
<i>Estación de almacenaje de aparejos de pesca de pescadores del sector Boca de Itata (ribera sur). Esta se encuentra en la ribera del río.</i>	

Fuente: Registro GSI.

Finalmente, se analizó la Pertinencia de Ingreso de las tres alternativas propuestas por el diseño de ingeniería, estas propuestas son:

- **Alternativa 1: Protocolo de apertura de la barra**
- **Alternativa 2: Defensa Fluvial + Protocolo**
- **Alternativa 3: Defensa Marítima**

En este sentido, se destaca que la alternativa 1 debido a que no considera obras de construcción, no aplica análisis de pertinencia bajo ninguno de los literales indicados en la Ley y el RSEIA.

Por otro lado, para la alternativa 2, se evaluó el literal a) del artículo 3° del RSEIA³, concluyendo que para la construcción de la obra fluvial correspondiente a muros de

gaviones, se considera alterar el curso del río Itata, movilizándolo una cantidad aproximada de 10.000 a 15.000 m³ de arena, cantidad mucho menor a los 50.000 m³ establecidos en el RSEIA como movimiento de material por sobre el cual se debiera ingresar al SEIA. En base a ello se estableció que esta opción no debería ser sometida al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

En definitiva, la única alternativa que debería ser sometida al Sistema de Evaluación Ambiental, es la alternativa 3, la cual ingresa por el literal a) del artículo 3° del RSEIA¹. Ello debido a que las obras de dragado para constituir las obras de la defensa marítima superarían el valor indicado en el reglamento de 50.000 m³; siendo el volumen específico a dragar de 590.286 m³. En conclusión, la Alternativa 3, bajo estas circunstancias, debería ser sometida al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

¹ a) *Acueductos, embalses, tranques y sifones. Presas, drenaje, desecación, dragado, defensa o alteración, significativos, de cuerpos o cursos naturales de agua.*