

## **ANEXO I**

**Fichas de muestreos realizados en los ríos Cruces, Calle Calle y Valdivia durante periodos de bajo y alto caudal – año 2008**

**CAMPAÑA EN PERIODO DE BAJO CAUDAL HIDRICO**

<b>Sitio de muestreo</b>	<b>San Luis, Río Cruces</b>	
Ubicación	39°36'19,99"S	73°09'1,87"W
	5614312 N	658788 E
Muestreo de agua (1 Abril 2008)	<b>Muestras horarias (total 11 horas)</b>	<b>Muestras compuestas</b>
	Temperatura	Sólidos sedimentables
	pH	Sólidos suspendidos
	Conductividad	Ácidos resínicos
	Oxígeno disuelto	Compuestos organofosforados
		Compuestos organoclorados
		Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)
		Nitrito, nitrato, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánica y nitrógeno total
		Fosfato y fósforo total
		Cloruro y sulfato
		Hidrocarburos fijos, totales y volátiles
		Metales pesados disueltos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)
		Metales pesados suspendidos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo y manganeso)
	Bacterias coliformes fecales	
Muestreos de fondo sedimentarios (1 Abril 2008)	Porcentajes de grava, arena, fango, agregados biogénicos y materia orgánica total	
	Porcentajes de materia orgánica de las fracciones arena, fango y agregados biogénicos	
	Ácidos resínicos	
	Compuestos organofosforados	
	Compuestos organoclorados	
	Hidrocarburos totales del petróleo (TPH-Diesel)	
	Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)	
	Nitrógeno, fósforo y carbono total	
	Metales pesados (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)	
	Macroinfauna bentónica	

<b>Sitio de muestreo</b>	<b>Santa María, Río Cruces</b>	
Ubicación	39°39'30,51"S	73°10'54,76"W
	5608493 N	655977 E
Muestreo de agua (1 Abril 2008)	<b>Muestras horarias (total 11 horas)</b>	<b>Muestras compuestas</b>
	Temperatura	Sólidos sedimentables
	pH	Sólidos suspendidos
	Conductividad	Ácidos resínicos
	Oxígeno disuelto	Compuestos organofosforados
		Compuestos organoclorados
		Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)
		Nitrito, nitrato, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánica y nitrógeno total
		Fosfato y fósforo total
		Cloruro y sulfato
		Hidrocarburos fijos, totales y volátiles
		Metales pesados disueltos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)
	Metales pesados suspendidos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo y manganeso)	
	Bacterias coliformes fecales	
Muestreos de fondo sedimentarios (1 Abril 2008)	Porcentajes de grava, arena, fango, agregados biogénicos y materia orgánica total	
	Porcentajes de materia orgánica de las fracciones arena, fango y agregados biogénicos	
	Ácidos resínicos	
	Compuestos organofosforados	
	Compuestos organoclorados	
	Hidrocarburos totales del petróleo (TPH-Diesel)	
	Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)	
	Nitrógeno, fósforo y carbono total	
	Metales pesados (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)	
	Macroinfauna bentónica	

Sitio de muestreo	Punucapa, Río Cruces	
Ubicación	39°45'27,12"S	73°15'38,9"W
	5597632 N	648992 E
Muestreo de agua (1 Abril 2008)	<b>Muestras horarias (total 11 horas)</b>	<b>Muestras compuestas</b>
	Temperatura	Sólidos sedimentables
	pH	Sólidos suspendidos
	Conductividad	Ácidos resínicos
	Oxígeno disuelto	Compuestos organofosforados
		Compuestos organoclorados
		Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)
		Nitrito, nitrato, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánica y nitrógeno total
		Fosfato y fósforo total
		Cloruro y sulfato
		Hidrocarburos fijos, totales y volátiles
		Metales pesados disueltos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)
	Metales pesados suspendidos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo y manganeso)	
	Bacterias coliformes fecales	
Muestras de fondo sedimentarios (1 Abril 2008)	Porcentajes de grava, arena, fango, agregados biogénicos y materia orgánica total	
	Porcentajes de materia orgánica de las fracciones arena, fango y agregados biogénicos	
	Ácidos resínicos	
	Compuestos organofosforados	
	Compuestos organoclorados	
	Hidrocarburos totales del petróleo (TPH-Diesel)	
	Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)	
	Nitrógeno, fósforo y carbono total	
	Metales pesados (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)	
	Macroinfauna bentónica	

Sitio de muestreo	ASENAV, Río Calle Calle	
Ubicación	39°48'29,18"S	73°14'20,65"W
	5591982 N	650744 E
Muestreo de agua (1 Abril 2008)	<b>Muestras horarias (total 11 horas)</b>	<b>Muestras compuestas</b>
	Temperatura	Sólidos sedimentables
	pH	Sólidos suspendidos
	Conductividad	Ácidos resínicos
	Oxígeno disuelto	Compuestos organofosforados
		Compuestos organoclorados
		Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)
		Nitrito, nitrato, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánica y nitrógeno total
		Fosfato y fósforo total
		Cloruro y sulfato
		Hidrocarburos fijos, totales y volátiles
		Metales pesados disueltos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)
		Metales pesados suspendidos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo y manganeso)
	Bacterias coliformes fecales	
Muestreos de fondo sedimentarios (1 Abril 2008)	Porcentajes de grava, arena, fango, agregados biogénicos y materia orgánica total	
	Porcentajes de materia orgánica de las fracciones arena, fango y agregados biogénicos	
	Ácidos resínicos	
	Compuestos organofosforados	
	Compuestos organoclorados	
	Hidrocarburos totales del petróleo (TPH-Diesel)	
	Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)	
	Nitrógeno, fósforo y carbono total	
	Metales pesados (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)	
	Macroinfauna bentónica	

<b>Sitio de muestreo</b>	<b>Las Mulatas, Río Valdivia</b>	
<b>Ubicación</b>	39°50'22,50"S	73°16'6,11"W
	5588537 N	648168 E
<b>Muestreo de agua (1 Abril 2008)</b>	<b>Muestras horarias (total 11 horas)</b>	<b>Muestras compuestas</b>
	Temperatura	Sólidos sedimentables
	pH	Sólidos suspendidos
	Conductividad	Ácidos resínicos
	Oxígeno disuelto	Compuestos organofosforados
		Compuestos organoclorados
		Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)
		Nitrato, nitrato, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánica y nitrógeno total
		Fosfato y fósforo total
		Cloruro y sulfato
		Hidrocarburos fijos, totales y volátiles
		Metales pesados disueltos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)
		Metales pesados suspendidos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo y manganeso)
	Bacterias coliformes fecales	
<b>Muestreos de fondo sedimentarios (1 Abril 2008)</b>	Porcentajes de grava, arena, fango, agregados biogénicos y materia orgánica total	
	Porcentajes de materia orgánica de las fracciones arena, fango y agregados biogénicos	
	Ácidos resínicos	
	Compuestos organofosforados	
	Compuestos organoclorados	
	Hidrocarburos totales del petróleo (TPH-Diesel)	
	Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)	
	Nitrógeno, fósforo y carbono total	
	Metales pesados (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)	
Macroinfauna bentónica		

## CAMPAÑA EN PERIODO DE ALTO CAUDAL HIDRICO

Sitio de muestreo	San Luis, Río Cruces	
Ubicación	39°36'19,99"S	73°09'1,87"W
	5614312 N	658788 E
Muestreo de agua (8 Septiembre 2008)	Muestras horarias (total 11 horas)	Muestras compuestas
	Temperatura	Sólidos sedimentables
	pH	Sólidos suspendidos
	Conductividad	Ácidos resínicos
	Oxígeno disuelto	Compuestos organofosforados
		Compuestos organoclorados
		Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)
		Nitrato, nitrato, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánica y nitrógeno total
		Fosfato y fósforo total
		Cloruro y sulfato
		Hidrocarburos fijos, totales y volátiles
		Metales pesados disueltos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)
		Metales pesados suspendidos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo y manganeso)
	Bacterias coliformes fecales	
Muestreos de fondo sedimentarios (8 Septiembre 2008)	Porcentajes de grava, arena, fango, agregados biogénicos y materia orgánica total	
	Porcentajes de materia orgánica de las fracciones arena, fango y agregados biogénicos	
	Ácidos resínicos	
	Compuestos organofosforados	
	Compuestos organoclorados	
	Hidrocarburos totales del petróleo (TPH-Diesel)	
	Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)	
	Nitrógeno, fósforo y carbono total	
	Metales pesados (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)	

	Macroinfauna bentónica	
<b>Sitio de muestreo</b>	<b>Santa María, Río Cruces</b>	
Ubicación	39°39'30,51"S	73°10'54,76"W
	5608493 N	655977 E
Muestreo de agua (8 Septiembre 2008)	<b>Muestras horarias (total 11 horas)</b>	<b>Muestras compuestas</b>
	Temperatura	Sólidos sedimentables
	pH	Sólidos suspendidos
	Conductividad	Ácidos resínicos
	Oxígeno disuelto	Compuestos organofosforados
		Compuestos organoclorados
		Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)
		Nitrato, nitrato, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánica y nitrógeno total
		Fosfato y fósforo total
		Cloruro y sulfato
		Hidrocarburos fijos, totales y volátiles
		Metales pesados disueltos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)
		Metales pesados suspendidos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo y manganeso)
	Bacterias coliformes fecales	
Muestreos de fondo sedimentarios (8 Septiembre 2008)	Porcentajes de grava, arena, fango, agregados biogénicos y materia orgánica total	
	Porcentajes de materia orgánica de las fracciones arena, fango y agregados biogénicos	
	Ácidos resínicos	
	Compuestos organofosforados	
	Compuestos organoclorados	
	Hidrocarburos totales del petróleo (TPH-Diesel)	
	Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)	
	Nitrógeno, fósforo y carbono total	
	Metales pesados (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)	
	Macroinfauna bentónica	



<b>Sitio de muestreo</b>	<b>Punucapa, Río Cruces</b>	
<b>Ubicación</b>	39°45'27,12"S	73°15'38,9"W
	5597632 N	648992 E
<b>Muestreo de agua (8 Septiembre 2008)</b>	<b>Muestras horarias (total 11 horas)</b>	<b>Muestras compuestas</b>
	Temperatura	Sólidos sedimentables
	pH	Sólidos suspendidos
	Conductividad	Ácidos resínicos
	Oxígeno disuelto	Compuestos organofosforados
		Compuestos organoclorados
		Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)
		Nitrito, nitrato, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánica y nitrógeno total
		Fosfato y fósforo total
		Cloruro y sulfato
		Hidrocarburos fijos, totales y volátiles
		Metales pesados disueltos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)
		Metales pesados suspendidos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo y manganeso)
	Bacterias coliformes fecales	
<b>Muestras de fondo sedimentarios (8 Septiembre 2008)</b>	Porcentajes de grava, arena, fango, agregados biogénicos y materia orgánica total	
	Porcentajes de materia orgánica de las fracciones arena, fango y agregados biogénicos	
	Ácidos resínicos	
	Compuestos organofosforados	
	Compuestos organoclorados	
	Hidrocarburos totales del petróleo (TPH-Diesel)	
	Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)	
	Nitrógeno, fósforo y carbono total	
	Metales pesados (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)	
	Macroinfauna bentónica	

<b>Sitio de muestreo</b>	<b>ASENAV, Río Calle Calle</b>	
Ubicación	39°48'29,18"S	73°14'20,65"W
	5591982 N	650744 E
Muestreo de agua (8 Septiembre 2008)	<b>Muestras horarias (total 11 horas)</b>	<b>Muestras compuestas</b>
	Temperatura	Sólidos sedimentables
	pH	Sólidos suspendidos
	Conductividad	Ácidos resínicos
	Oxígeno disuelto	Compuestos organofosforados
		Compuestos organoclorados
		Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)
		Nitrito, nitrato, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánica y nitrógeno total
		Fosfato y fósforo total
		Cloruro y sulfato
		Hidrocarburos fijos, totales y volátiles
		Metales pesados disueltos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)
		Metales pesados suspendidos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo y manganeso)
	Bacterias coliformes fecales	
Muestreos de fondo sedimentarios (8 Septiembre 2008)	Porcentajes de grava, arena, fango, agregados biogénicos y materia orgánica total	
	Porcentajes de materia orgánica de las fracciones arena, fango y agregados biogénicos	
	Ácidos resínicos	
	Compuestos organofosforados	
	Compuestos organoclorados	
	Hidrocarburos totales del petróleo (TPH-Diesel)	
	Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)	
	Nitrógeno, fósforo y carbono total	
	Metales pesados (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)	
	Macroinfauna bentónica	

<b>Sitio de muestreo</b>	<b>Las Mulatas, Río Valdivia</b>	
<b>Ubicación</b>	39°50'22,50"S	73°16'6,11"W
	5588537 N	648168 E
<b>Muestreo de agua (8 Septiembre 2008)</b>	<b>Muestras horarias (total 11 horas)</b>	<b>Muestras compuestas</b>
	Temperatura	Sólidos sedimentables
	pH	Sólidos suspendidos
	Conductividad	Acidos resínicos
	Oxígeno disuelto	Compuestos organofosforados
		Compuestos organoclorados
		Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)
		Nitrato, nitrato, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánica y nitrógeno total
		Fosfato y fósforo total
		Cloruro y sulfato
		Hidrocarburos fijos, totales y volátiles
		Metales pesados disueltos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)
		Metales pesados suspendidos (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo y manganeso)
	Bacterias coliformes fecales	
<b>Muestras de fondo sedimentarios (8 Septiembre 2008)</b>	Porcentajes de grava, arena, fango, agregados biogénicos y materia orgánica total	
	Porcentajes de materia orgánica de las fracciones arena, fango y agregados biogénicos	
	Ácidos resínicos	
	Compuestos organofosforados	
	Compuestos organoclorados	
	Hidrocarburos totales del petróleo (TPH-Diesel)	
	Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)	
	Nitrógeno, fósforo y carbono total	
	Metales pesados (cobre, cromo, níquel, selenio, zinc, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, plomo, manganeso y mercurio)	
	Macroinfauna bentónica	

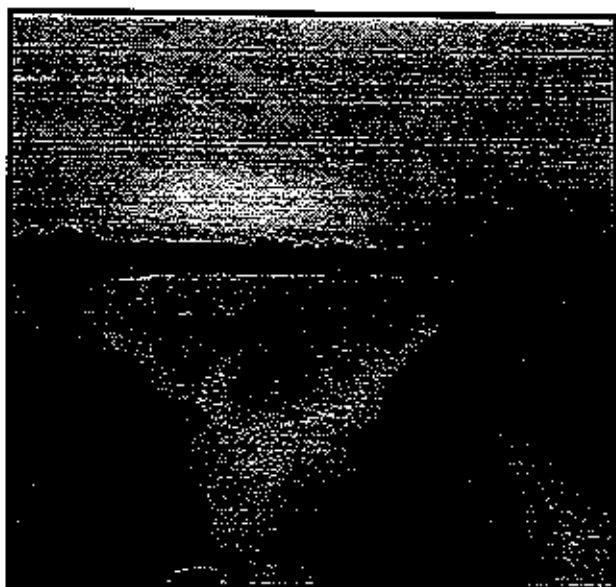
## **ANEXO II**

**Registro fotográfico de actividades de terreno realizadas en los ríos Cruces, Calle Calle y Valdivia, como parte de objetivo específico 2.3.**

**SITIOS DE MUESTREOS DE AGUA Y FONDOS SEDIMENTARIOS****Río Cruces, sector San Luis****Río Cruces, sector Santa María****Río Cruces, sector Punucapa**



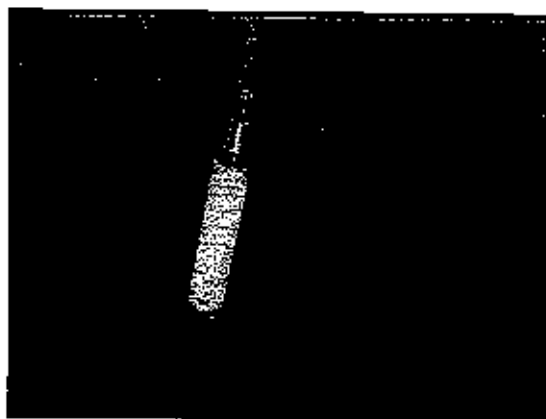
Río Valdivia, sector ASENAV



Río Valdivia, sector Las Mulatas



## MUESTREOS Y OBTENCION DE MUESTRAS DE AGUA

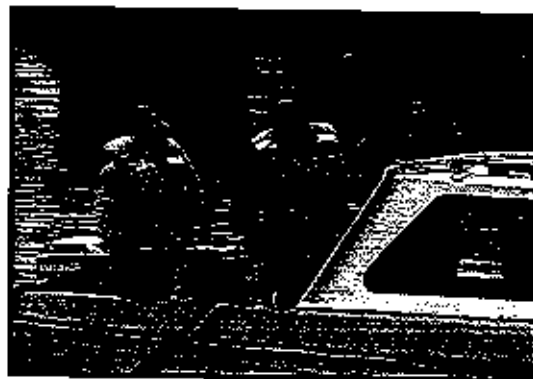


Sensor para medición de temperatura y conductividad



Recolección de muestras para los diferentes análisis de calidad de agua

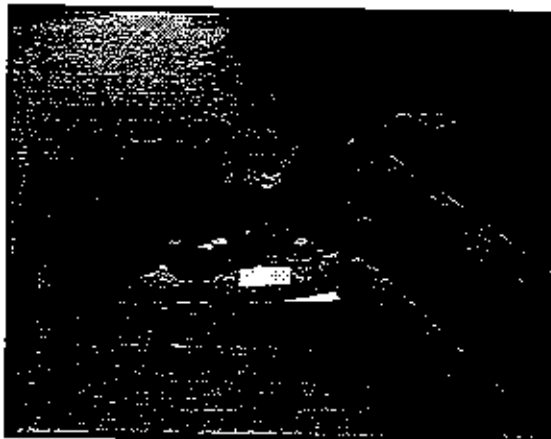
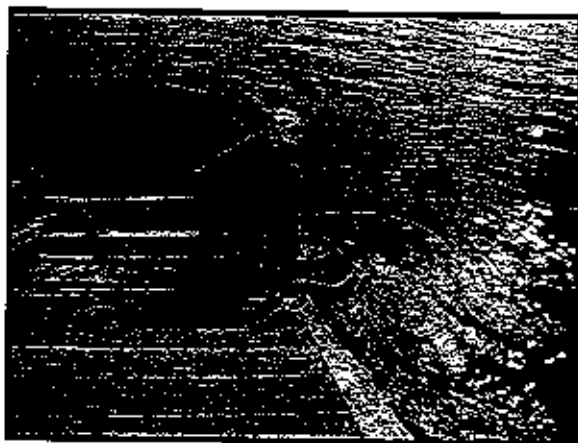
## MUESTREOS Y OBTENCION DE MUESTRAS DE FONDOS SEDIMENTARIOS



Camioneta y lancha transportando compresor de buceo para recolección de muestras desde tierra y desde el agua.

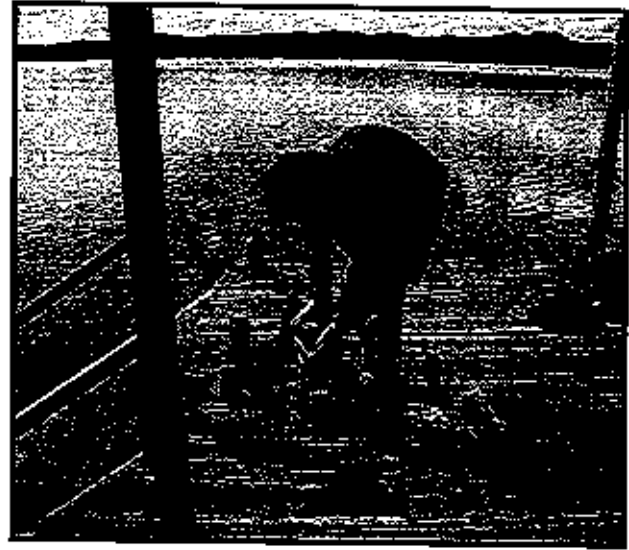


Buzo preparándose para sumergirse a recolectar muestras del fondo sedimentario.





**Entrega de muestras de fondos sedimentarios (izquierda) y ordenamiento de las mismas para análisis de terreno y laboratorio (derecha).**



**Medición de pH y potencial óxido reducción en muestras de sedimento (izquierda) y conservación de muestras para análisis de laboratorio (derecha).**

## **ANEXO III**

### **Análisis del estudio:**

**“Recopilación y análisis de información en apoyo de anteproyecto de norma secundaria de calidad ambiental para las aguas del Río Valdivia” (AQUAMBIENTE LTDA; marzo 2007)**

## 1. ANTECEDENTES GENERALES

El objetivo de este estudio fue recopilar, sistematizar, discutir y llevar a cabo un análisis de los antecedentes técnicos y científicos existentes que puedan servir como base y/o apoyo para la elaboración de la norma secundaria de calidad ambiental del río Valdivia.

## 2. COMENTARIOS ESPECIFICOS

Los comentarios específicos se presentan a continuación:

- En página 4 del estudio: no se especifica por qué se proponen 13 parámetros para la norma del Río Calle y Valdivia y solo 7 para el humedal del río Cruces. Hidrodinámicamente ambos sistemas están conectados y por lo tanto la normativa debiera ser similar para todo el sistema.
- En página 5 del estudio se sugiere la realización de cuatro campañas estacionales de medición de los parámetros más relevantes para norma de calidad del humedal. La UACH concuerda plenamente con eso.
- En página 11 del estudio se señala la "poca o nada de información sobre calidad de los sedimentos". La UACH concuerda con eso, agregando que son los sedimentos más que el agua los que pueden dar cuenta de la calidad ambiental del ecosistema acuático.
- En página 47 del estudio se menciona "hay mediciones de rangos de 0.70 m (mareas) en el fuerte S.L. de Alba". Si es así, ¿hasta donde llega realmente la onda mareal en su propagación aguas arriba del humedal?
- En página 51 del estudio se escribe "La conductividad presentó diferencias significativamente mayores ( $P > 0.05$ )". Debe decir La conductividad presentó diferencias significativamente mayores ( $P < 0.05$ )
- En página 79 se menciona que el camarón de río *Samastacus spinifrons* es carnívoro. Esto es un error grave, ya que esta especie es detritívora.

- Investigadores de la UACH no han encontrado dentro del humedal al bivalvo *Diplodon chilensis*. Sería entonces interesante saber donde AQUAMBIENTE encontró especímenes de esta especie.
- En página 90 se menciona en relación a la avifauna del humedal del río Cruces que "Desde Septiembre 2005, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), está realizando censos mensuales en el Santuario del río Cruces". Esto es falso, ya que CONAF realiza censos desde el año 1999.
- En página 99, Tabla 2.8.2 no se indica el significado de S/I (¿sin información?).
- En página 101, las conclusiones o aseveraciones no están avaladas por datos propios o de la literatura.
- Página 109, segundo párrafo es copia de Informe UACH 2005.
- En página 110, tercera y cuarta línea dice "La cuenca, además de la planta de celulosa Arauco, posee numerosas industrias ganaderas (lecherías) y de celulosa". Esto es un error, ya que solo hay en el área una sola planta de celulosa.
- En página 111 dice "El costado del R. Cau Cau descarga aguas sin tratar la U Austral". Esto demuestra el poco conocimiento de los consultores de AQUAMBIENTE acerca de la fiscalización que realiza la SISS sobre las empresas ribereñas de Valdivia (ver Informe "Recopilación y análisis de información ambiental existente de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia" realizado por Universidad Austral de Chile y Universidad Católica de la Santísima Concepción).
- En página 113, cuarto párrafo se menciona que la SISS exige controles a varias industrias para dar cumplimiento a DS 90. No se menciona que la UACH también cumple con esas exigencias.
- En páginas 116 y 117 se muestra Tabla 2.10.2 "RESULTADOS DE BIOENSAYOS" – no se entregan referencias que den cuenta del origen de los datos que se presentan en la tabla.
- En página 117 se menciona que "se realizó el monitoreo ambiental de apoyo en los ríos Cruces, Calle Calle y Valdivia". Habría sido de utilidad para cualquier

lector no solo tener las coordenadas sino el nombre geográfico de cada sitio de muestreo.

- En página 118 se menciona que "las muestras extraídas (sedimentos) para determinar comunidades biológicas, fueron tamizadas". Ya que no se menciona la abertura de la malla utilizada, los datos faunísticos o las interpretaciones que se realicen acerca de los mismos pueden ser fácilmente invalidadas o al menos cuestionadas.
- En páginas 120 y 121 se entregan datos de corrientes de los ríos Cruces, Calle Calle y Valdivia. No se indica en este párrafo la metodología utilizada para llegar a esos datos.
- En página 120 se entregan datos de corrientes de los ríos Cruces, Calle Calle y Valdivia (Tabla 2.11.3). No se indica en este párrafo la metodología utilizada para llegar a esos datos.
- En página 125 se presenta la Tabla 2.11.5. Los datos de turbidez se obtuvieron con Disco Secchi?
- En página se menciona a un "Anelido 1"; es este organismo un poliqueto o un oligoqueto?
- Si bien parece haber existido una revisión prolija de normas de otros países (páginas 1 a 27 de Capítulo 3), el esfuerzo se diluye al no existir tabla comparativa donde se comparen los valores incluidos en las normas comparadas.
- En página 29 de Capítulo 4 se mencionan aspectos con mucha liviandad: i) "Cruces ya está normado". A conocimiento de la UACH aún no hay Norma Secundaria para el río Cruces. ii) "Se piensa que las mareas "bombean" contaminación al humedal". ¿Cual es el fundamento para tal aseveración ?

### 3. CONCLUSIONES

En general, no hay mayor aporte en este estudio salvo los datos puntuales de calidad de agua basados en muestreos realizados los días 19 y 20 de febrero 2007. Los conceptos ecológicos son tratados muy superficialmente y en la mayoría de los casos, las apreciaciones conceptuales parecen copias de textos básicos de ecología y no conclusiones e interpretaciones de la propia consultora. La UACH no se pronuncia en relación al punto 4.2 (propuesta de parámetros y límites) y al Capítulo 5 del estudio revisado hasta terminar con su propio estudio.

## **ANEXO IV**

### **Análisis del estudio:**

**“Recopilación y análisis de información ambiental existente de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia”**

## 1. Revisión general

Este estudio fue desarrollado por la Universidad Austral de Chile, a solicitud de los industriales de la Provincia de Valdivia, a través de CODEPROVAL. El estudio fue entregado el mes de Enero de 2007.

El objetivo general de este estudio, fue recopilar la información ambiental disponible para los cuerpos de agua de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia. Para esto se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- i) Se realizó una recopilación de las características generales de la vegetación en las orillas y sectores aledaños de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia.
- ii) Se realizó una recopilación y análisis de las características físico-químicas y microbiológicas del agua, calidad de sedimentos y fauna bentónica de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia.
- iii) Se recopiló información sobre los recursos ictiológicos en los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia.
- iv) Se recopiló y analizó la información hidrográfica existente de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia.
- v) Se georeferenciaron los límites de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia y las posiciones de los emisarios de las empresas que participan en este estudio y que vierten sus RILES a los mismos, además de los puntos de muestreo históricos de agua, sedimentos y fauna bentónica.
- vi) Se recopiló la información existente sobre las características físico-químicas de los RILES vertidos por emisarios industriales, los cuales fueron utilizados en modelos numéricos que evaluaron el comportamiento de esos parámetros físico-químicos en la columna de agua de los Ríos Calle-Calle y Valdivia.

El informe se presenta bien estructurado, y en general con gran cantidad de información de calidad. Las metodologías utilizadas son claras y permiten cumplir con



los objetivos planteados. Destacan del informe, la gran cantidad de antecedentes recopilados y analizados, sobre las características físicas, químicas y microbiológicas de la columna de agua, la calidad de los sedimentos y la fauna bentónica de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia en el Objetivo específico ii; el detallado análisis de la información hidrográfica existente de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia en el Objetivo específico iv; y la detallada modelación del comportamiento de los residuos líquidos industriales (RILES) vertidos a la columna de agua de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia en el Objetivo específico vi. Es importante destacar, sin embargo, que en algunos Objetivos específicos (e.g. Objetivo específico i "recopilación de la características generales de la vegetación en las orillas y sectores aledaños de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia") la cantidad de antecedentes disponibles es limitada tanto en escala espacial como temporal, por lo que las conclusiones que puedan emerger de los mismos deben ser evaluadas con cautela.

Finalmente, se puede concluir que la información recopilada en este informe, entrega una idea general de la salud ambiental de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia y una estimación de la capacidad de carga de los mismos.

## **2. Comentarios específicos**

### **2.1 Objetivo específico i**

La caracterización de la composición florística de los cuerpos de agua en estudio, se basó en el informe desarrollado durante el verano del 2006 por la Dra. Alejandra Zúñiga y en el estudio desarrollado por CADE-IDEPE "Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad" de Diciembre del 2004. El primero de esos estudios se realizó en cuatro estaciones del estuario del Río Valdivia: Pishuinco, Huellethue, Cuesta Soto y Terminal de Buses; en tanto que el segundo incluyó toda la cuenca del Río Valdivia y se basó principalmente en el trabajo de Ramírez *et al.* (1976).

El estudio desarrollado por Zúñiga *et al.* 2006, incluyó el análisis de tres niveles en cada estación de muestreo (ver arriba): un nivel superior (vegetación terrestre), un nivel medio (vegetación de la zona de transición) y un nivel inferior (vegetación acuática). De acuerdo a los autores, los resultados de ese estudio, mostraron que en general, la mayor diversidad especies se registró en la vegetación terrestre (nivel superior) y en la vegetación de la zona intermedia. La diversidad de la vegetación terrestre disminuyó significativamente en la estación 20 con mayor presión antropogénica (Terminal de Buses). Por su parte, los niveles inferiores de todas las zonas de muestreo estuvieron dominados por *E. densa*, planta que presentó un muy buen aspecto externo. Este último punto es destacado por los autores del informe, debido a que esa planta fue una de las más afectadas por los efectos de la contaminación producidos en el Santuario de la Naturaleza y cauces adyacentes, durante el año 2004 y que trajo como consecuencia la pérdida del alimento primario de los cisnes de cuello negro. Por otra parte, se señala en este informe que el estudio desarrollado por CADE-IDEPE debe ser tomado sólo como referencia, debido al tiempo transcurrido desde la realización del trabajo de Ramírez *et al.* 1976.

En general, los antecedentes recopilados en este estudio, sobre la flora acuática de los Ríos Calle-Calle y Valdivia son limitados tanto en escala temporal como espacial, por lo que su utilización como información del estado actual de la flora o de la variabilidad temporal de la misma, debe ser realizada con cautela. Lo anterior no es una crítica al estudio (ya que la recopilación de la información dependió de los antecedentes disponibles), si no más bien un llamado de atención, para considerar la planificación de estudios posteriores que permitan caracterizar de manera más completa la flora ribereña de los estuarios de los Ríos de la Provincia.

## **2.2 Objetivo específico ii**

La recopilación y análisis de las características físico-químicas y microbiológicas del agua, calidad de sedimentos y fauna bentónica de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia, incluyó un área que se extendió desde el sector Huelihue (Río Calle-

Calle) hasta la Bahía de Corral (boca del estuario del Río Valdivia). Los datos fueron recolectados desde aproximadamente 50 documentos, los que incluyeron informes técnicos (resultantes de monitoreos y/o de estudios de línea base) y Tesis de Grado. En la recopilación, los autores incluyeron todas las estaciones donde existían datos de al menos un muestreo, independiente de la naturaleza de los mismos; es decir, sin importar si los datos correspondieron a características físicas, químicas o faunísticas o si el sustrato de estudio era la columna de agua o el sedimento.

Se recopilaron antecedentes desde un total de 50 estaciones, abarcando un área que se extendió desde el sector de Huelihue (cabezal del estuario del Río Calle-Calle, estación 1) hasta la Bahía de Corral (boca del estuario del Río Valdivia, estación 50). Por otra parte, esta recopilación incluyó antecedentes desde 1987 a 2005.

De la recopilación de antecedentes se destacan ocho estaciones, debido a que en ellas se realizan muestreos periódicos y por lo tanto cuentan con una importante cantidad de antecedentes medioambientales, los cuales permiten entender de mejor manera la variabilidad temporal de los mismos, un aspecto fundamental para evaluar eventuales impactos de origen antropogénico, estas son: estaciones Huellehue y Cuesta Soto (ubicadas en el Río Calle-Calle), dos estaciones ubicadas en el canal mareal Cau-Cau, estación Phoenix (ubicada en el Río Valdivia frente al club deportivo del mismo nombre), estaciones Los Pelues y Las Mulatas (ambas ubicadas en el Río Valdivia) y las estaciones ubicadas frente al muelle de Niebla y frente a la Pesquera el Golfo (ambas localizadas en la Bahía de Corral). Las empresas o instituciones que aportan con mayor cantidad de datos en esta recopilación son Aguas Décima S.A., Universidad Austral de Chile y Pesquera el Golfo S.A., las cuales han desarrollado muestreos periódicos en los cuerpos de agua mencionados anteriormente.

Los análisis estadísticos realizados en este estudio son los adecuados y son aplicados de manera correcta. Los análisis univariados permiten conocer la variabilidad espacial (*i.e.* a través de los cuerpos de agua incluidos en el estudio), de los parámetros incluidos en la recopilación de antecedentes, en tanto que los análisis multivariados

permiten conocer la similitud de las distintas estaciones de muestreo en relación a los valores de esos parámetros. En conjunto, estos análisis dan cuenta de los patrones (*i.e.* las tendencias) de los parámetros analizados y por lo tanto facilitan la interpretación de los mismos en relación a las características particulares que presentan esta clase de cuerpos de agua, por ejemplo el efecto mareal y la intrusión de una cuña salina.

Es importante tener presente, que muchas estaciones desde donde se obtuvo algún tipo de antecedente, estos provenían de muestreos limitados en términos temporales (es decir de pocos muestreos), más aún, en algunas estaciones los antecedentes recopilados provinieron de muestreos puntuales. Aún cuando lo anterior no invalida los resultados obtenidos y las conclusiones que emergieron de los mismos, se recomienda implementar muestreos periódicos en puntos del estuario que permitan dar cuenta de la variabilidad espacio temporal de sus características bióticas y abióticas.

### ***2.3 Objetivo específico iii***

La recopilación de antecedentes sobre los recursos ictiológicos estuvo basado en los monitoreos que realiza la empresa Aguas Décima S.A. y en una tesis de grado de la Escuela de Biología Marina de la Universidad Austral de Chile del año 1998. El monitoreo realizado por Aguas Décima S.A. se realiza en el sector Las Mulatas, en el Río Valdivia, y es de carácter permanente (estacional), en tanto que la tesis de grado fue desarrollada en la boca del estuario del Río Valdivia y se basó en un muestreo puntual. El análisis de la información recopilada fue sólo de carácter cualitativo.

Los antecedentes recopilados en este punto, fueron limitados en términos espaciales, ya que incluyeron sólo dos puntos en el estuario del Río Valdivia, por lo que las conclusiones que se extraen de esta revisión deben ser tomadas con cautela. Sin embargo, un aspecto importante a destacar, es que en el sector de Las Mulatas, los autores pudieron analizar (aunque de forma cualitativa) la variabilidad temporal de la fluctuación de la fauna íctica, lo que les permitió determinar que al menos en cuanto a

riqueza y composición de especies, esta fauna no ha presentado grandes cambios.

Similar a lo señalado en el Objetivo específico anterior, es recomendable realizar monitoreos periódicos en diversos puntos de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia, a fin de conocer y entender el comportamiento de la fauna íctica. Cabe señalar que lo anterior, no representa una crítica al presente estudio, ya que el objetivo del mismo era sólo recopilar información.

#### **2.4 Objetivo específico iv**

La caracterización hidrográfica de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia, se realizó en base a 17 informes técnicos. Este Objetivo específico está bien desarrollado con información muy clara y detallada, que permite conocer cabalmente la dinámica de los cuerpos de agua en estudio, en términos hidrográficos. No hay mayores comentarios.

#### **2.5 Objetivo específico v**

No hay comentarios sobre este Objetivo específico, ya que aquí sólo se georeferencian los límites de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia y las posiciones de los emisarios de las empresas que estaban incluidas en este estudio.

#### **2.6 Objetivo específico vi**

Para la modelación del comportamiento de los RILES vertidos por las empresas incluidas en este estudio, se utilizaron metodologías y análisis de primer nivel, siguiendo los estándares recomendados por la EPA (*Environmental Protection Agency USA*). El trabajo de modelación es completo, la información es de alta calidad y muy detallada. Por lo tanto, se logra plenamente el objetivo propuesto, esto es, conocer el comportamiento de las partículas contaminantes cuando ingresan al curso de agua receptor.

## 2.7 Anexo

En esta parte del informe se realiza una recopilación de los antecedentes sobre pesticidas organoclorados, hidrocarburos aromáticos policíclicos e hidrocarburos alifáticos del petróleo en sedimentos y biota del sistema estuarial de Valdivia. Esta revisión da cuenta de la variabilidad espacial en la concentración de los pesticidas, a través de los cuerpos de agua en estudio y de la concentración de hidrocarburos en la biota y sedimentos aledaños a la boca del estuario del Río Valdivia. Los datos son de buena calidad, aunque limitados en términos temporales para el caso de los pesticidas y espacio temporales para el caso de los hidrocarburos.

## 3. Conclusiones generales y recomendaciones

Este estudio entrega información indispensable para el manejo ambiental de la cuenca del Río Valdivia y estuarios aledaños. La información recopilada es de buena calidad y para el análisis de la misma se utilizan herramientas estadísticas adecuadas. Se destaca de este informe, la detallada caracterización hidrográfica de los estuarios de los Ríos Calle-Calle y Valdivia, así como la modelación de las partículas contaminantes que son vertidas a este sistema estuarial. Lo anterior resulta especialmente relevante para un sistema complejo, tal como los estuarios, donde la influencia mareal y la entrada de una cuña salina, influyen significativamente sobre el destino de los contaminantes que ingresan al sistema.

Se recomienda recopilar periódicamente los nuevos antecedentes que resulten de informes técnicos o publicaciones científicas y disponerlos en una base de datos, que permita conocer la variabilidad espacial y temporal de los mismos, lo que permitirá responder de mejor manera frente a eventuales eventos de contaminación. Lo anterior es una sugerencia general, que no debe entenderse como una crítica al presente informe, el cual tuvo como objetivo general, sólo recopilar información ambiental disponible hasta el año 2005.

## **ANEXO V**

### **Análisis del estudio:**

**“Modelamiento hidrodinámico del sistema estuarial de los ríos Valdivia – Cruces  
– Calle Calle”.**

## 1. GENERAL

El estudio denominado "Modelamiento hidrodinámico del sistema estuarial de los Ríos Valdivia-Cruces y Calle-Calle" fechado en mayo de 2007, y materia del presente análisis, fue elaborado en conjunto por la UACH y UCSC con el propósito de conocer y definir con claridad el comportamiento hidrodinámico del sistema estuarial mencionado, de forma tal que este antecedente fuese un elemento de juicio en apoyo a la elaboración del anteproyecto de norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del Río Valdivia.

En cuanto a los aspectos forma, el estudio en general tiene buena presentación y presenta un orden secuencial que hace cómoda la lectura con una clara interconexión entre los distintos capítulos. Sin embargo, en términos de contenido se aprecian importantes falencias y carencias que comprometen el cumplimiento de los objetivos planteados en el desarrollo de esta investigación.

A continuación se detallan, por capítulo, las principales observaciones emanadas de la revisión y análisis realizado al estudio antes identificado.

## 2. COMENTARIOS ESPECÍFICOS

### Capítulo I. De los Antecedentes

- En términos generales la presentación de los antecedentes introductorios se encuentran bien ordenados y en secuencia lógica.
- En el párrafo quinto se menciona que este sistema estuarial se caracteriza por la influencia de aguas salobres que penetran hasta 15 km aguas arriba del Río, lo que no está respaldado con la cita formal, además, se estima que esta aseveración no es apropiada pues es precisamente uno de los aspectos relevantes que deben ser abordados y definidos concretamente por este estudio. Se sugiere poner la respectiva cita o bien eliminar ese comentario.



- En el primer párrafo del “Problema planteado” citar estudio realizado por UACH que da cuenta sobre la delicada situación ambiental del humedal del Río cruces.

#### Capítulo II. Del Objetivo principal

- Se establece que el objetivo del estudio es “la implementación de un modelo hidrodinámico 3D”. No se indica ¿ para que ?, es muy poco claro y no es concordante con el problema planteado en el Capítulo I.

#### Capítulo III. De los Objetivos específicos

- Ninguno de los objetivos específicos son el reflejo del objetivo principal

#### Capítulo IV. De la Metodología

- La metodología presentada en este estudio es incompleta. Solamente se indican actividades a realizar y no como se realizaron. La metodología de la modelación es presentada en los resultados.
- En particular, para la batimetría se debe indicar como se realizó (equipos hidrográficos, fechas, si se realizaron correcciones de marea, posicionamiento DGPS diferencial, vértices UTM oficiales, cotas de marea oficiales); para el estudio de marea se debe indicar como se realizaron las mediciones incluyendo: equipos utilizados, frecuencia de registro, periodos de medición, altura del sensor de marea a alguna cota en tierra, si se realizó o no la vinculación de las lecturas de marea a alguna cota de marea oficial y la vinculación de todas las mediciones de marea a alguna cota de marea oficial, reducción de los datos de marea al plano denominado Nivel Medio del Mar, entre otros.

- Se debe indicar la metodología de registro de caudales o si los datos fluviométricos fueron adquiridos, en este último caso indicar si corresponden a caudal medio anual u otra medida. Así también, de debe indicar la metodología de registro de corrientes (instrumentos, frecuencia de muestreo, periodo de muestreo, correcciones del norte magnético). Se debe indicar el tipo de CTD utilizado y la metodología de toma de datos.

## Capítulo V. De los Resultados

Numeral 5.1: Se obtendrá información base para modelar la hidrodinámica del humedal del Río Cruces, Valdivia y Calle Calle.

- No se cuenta con batimetría apropiada para la cuenca evaluada, lo que resta validez a los resultados obtenidos. Se estima imprescindible contar con un plano batimétrico estandarizado de la cuenca, esto es, referido a algún plano mareal uniforme para toda el área de estudio, por ejemplo, Nivel Medio del Mar (NMM) o Nivel de Reducción de Sondas (NRS), solo de esta forma es posible modelar propagando adecuadamente una onda de marea en su avance a través de la cuenca. Por otra parte, no se presenta un plano que tenga la escala adecuada para su lectura.

Numeral 5.2: Se obtendrá información que permita conocer el tiempo de residencia en el sistema de estuarios del Río Valdivia, Calle Calle y Cruces.

- Se presenta una discusión. Se deben presentar los cálculos realizados y los resultados obtenidos de tal forma que el tiempo de residencia de 1 día tenga sustento en base a fundamentos concretos, debiendo explicar también en que parte del sistema residirá una sustancia en particular determinando y definiendo rangos espaciales más probables.

Numeral 5.3: Se obtendrá información para delimitar la sección fluvial y estuarial del Río Cruces.

- Se plantea que antes de efectuar el estudio de marea, el Río Cruces en el Fuerte San Luis de Alba estaba fuera del efecto de esta variable. Sin embargo, se detectó en esta estación una amplitud de marea del orden de 70 cm. Además, se sostiene que aguas arriba de San Luis de Alba, el estuario Cruces pierde la configuración de canal y adquiere una forma de Río sinuoso de baja profundidad, con mucha dificultad para la navegación, y que por esta razón no fue posible instalar un mareógrafo aguas arriba. Finalmente, se concluye que si la amplitud de marea en esta estación (San Luis de Alba) es del orden de 70 cm, es esperable que la marea ingrese varios kilómetros aguas arriba, originando el límite estuarial – fluvial entre San Luis de Alba y San José de la Mariquina. En este sentido, la determinación del límite estuarial – fluvial es ambigua, subjetiva y no sustentada con datos reales, ya que la única forma de determinar la extensión máxima de la propagación de la onda de marea es mediante mediciones *in situ*, durante un periodo de tiempo que abarque las condiciones lunares de sicigia y cuadratura (en condiciones caudales máximos y mínimos).

Numeral 5.4: Se obtendrá información base que permita gestionar de manera diferenciada las normas aplicadas a Ríos de estuarios.

- Se establece que el modelo en sí aporta la información necesaria para poder gestionar de manera diferenciada las normas aplicadas a Ríos separadamente de estuarios. No obstante del análisis de los resultados provistos en general en el estudio, es evidente que no se logra diferenciar y limitar con base sólida ambas condiciones (fluvial v/s estuarial).

Numeral 5.5: Se obtendrá información que permita delimitar la masa inferior de agua salada y su extensión Río arriba.

- Los resultados presentados no consideran la variación temporal de la salinidad (estacional) ni la eventual variación espacial producto de las diferentes condiciones lunares y fases de marea.

Numeral 5.6: Se obtendrá información que permita estimar el prisma de mareas y la extensión de la discontinuidad de densidad.

- Por la carencia de información (falta de mapas confiables en una escala de detalle) y la no realización de una prospección apropiada de la marea, no se pudo calcular exactamente la superficie del humedal que esta afectado por la marea, razón por la cual los cálculos de prisma de marea no son representativos para efectos de este estudio, lo que resta representatividad y validez a los resultados de la modelación.

Numeral 5.7: Se contará con un programa de modelamiento matemático para evaluar la hidrodinámica en el complejo estuario del Río Cruces, Valdivia y Calle Calle.

- Como comentario general respecto del modelo, su aplicación y los resultados obtenidos, no resulta pertinente ni responsable por parte de este consultor emitir juicios ya que en el estudio no se entregan, o simplemente no se realizaron, comparaciones con datos levantados en terreno, siendo esta la única forma de poder establecer si las predicciones del modelo hidrodinámico se ajustan a la realidad observada y, en consecuencia, poder determinar si dicho modelo explica de manera satisfactoria el comportamiento dinámico del sistema evaluado.

No obstante lo anterior, de la lectura de esta sección del estudio (5.7) consideramos relevante indicar los siguientes comentarios:

- Describir si el modelo empleado es de diferencias finitas o de elementos finitos y sus principales características.

- Las condiciones de borde utilizadas en los Ríos son fijas, no expresando las variaciones propias del sistema en el tiempo. Por otro lado en vez de utilizar las componentes armónicas de la marea en Niebla y Corral, se utilizó una función senosoidal, la cual, claramente no refleja las condiciones mareales reales del sistema.
- Según las dimensiones de la malla utilizada, por un lado se desprende que el modelo empleado es de diferencias finitas y por otro lado que la distancia horizontal entre dos puntos consecutivos es de 200 m. Según la descripción del sistema, al inicio del punto 5.7 se indica que hay sectores donde el ancho del Río no supera los 170 m. En este escenario, es claro que el modelo horizontalmente no representa en forma adecuada el área de estudio y la conectividad en varios sectores debe estar dada por un par de puntos, lo que limita los resultados en un alto grado.

### 3.0 CONCLUSIONES

En términos generales, de la lectura y análisis de los antecedentes contenidos en el estudio "Modelamiento hidrodinámico del sistema estuarial de los Ríos Valdivia-Cruces-Calle Calle, es posible concluir que no se satisfacen a cabalidad los objetivos planteados. En efecto, la información de campo empleada en el estudio (batimetría, marea, corriente), no es la más apropiada para determinar y conocer adecuadamente las características hidrodinámicas (objetivo específico 3.1). Por otra parte, el tiempo de residencia de las aguas en el sistema evaluado no es explicado ni respaldado por argumentos sólidos y concretos ya que se asume 1 día de residencia sin mayores explicaciones, en consecuencia, mientras no se proporcionen elementos de juicio y cálculos apropiados no es posible dar cumplimiento satisfactorio al objetivo específico 3.2 que se refiere precisamente a obtener la información que permita conocer y explicar este ámbito.

De manera similar, en el estudio se asume sin mayores argumentaciones ni cálculos, que el límite estuarial ocurre entre San Luis de Alba y San José de la Mariquina, con lo cual se incumple el objetivo específico 3.3 ya que no se delimita claramente y con argumentos concretos el límite fluvial y estuarino del Río Cruces. Como consecuencia de esto último tampoco se da cumplimiento al objetivo específico 3.4 ya que la no delimitación debidamente argumentada entre el límite fluvial y estuarino, no permitirá establecer una gestión diferenciada de normas secundarias de calidad aplicables a Ríos por un lado y a estuarios por otro.

Por otra parte, al no contemplar este estudio la variación estacional de la salinidad ni la eventual variación producto de distintas condiciones lunares y fases de marea, no es posible dar cumplimiento satisfactorio al objetivo específico 3.5, ya que con los datos entregados no es posible determinar el alcance de la masa inferior de agua salada y su extensión Río arriba. De la misma forma, la carencia de información apropiada (mapas confiables en escala adecuada) y la poca representatividad del cálculo del prisma de marea, no es posible dar cumplimiento al objetivo específico 3.6 planteado en la sección III. de este estudio

Finalmente, consideramos importante mencionar que el análisis entregado en las secciones precedentes compromete de manera importante el cumplimiento objetivo principal de este estudio, que entendemos es proporcionar antecedentes y explicar adecuadamente el comportamiento hidrodinámico del sistema Ríos Valdivia-Cruces-Calle Calle, de tal forma que este sea un elemento de juicio en apoyo a la elaboración del anteproyecto de la norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del Río Valdivia. Lo anterior, debido a que no es posible establecer ni comentar la validez de los resultados entregados por el modelo dinámico empleado al no proporcionar o contemplar comparaciones con datos de terreno medidos de manera confiable en el área de interés y, de esta forma, establecer si dicho modelo explica de manera satisfactoria el comportamiento dinámico del sistema evaluado, u obtener deducciones sobre el comportamiento de las zonas de inundación, o el efecto de la pendiente del Río sobre la cuña salina y la marea, entre otros aspectos relevantes.

## **ANEXO VI**

Programa de monitoreo ecotoxicológico de los efluentes industriales del  
Río Cruces

## 1. REVISION GENERAL

El objetivo de estudio aquí analizado fue determinar los factores de peligro que representa la descargas de RILes en el río Cruces, con especial énfasis en el ecosistema del Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, en Valdivia. El estudio buscó realizar una evaluación ecotoxicológica de los aportes directos de sustancias que potencialmente pueden producir un efecto no deseado sobre la estructura y dinámica del ecosistema, y proponer un sistema de gestión ambiental que permita una mejor evaluación y control de las cargas tóxicas en el sistema del río Cruces.

Específicamente, el estudio analiza los RILes de tres industrias seleccionadas por el Comité Operativo de Fiscalización (COF) de la X Región, que descargan sus RILes al sistema hidrológico del río Cruces. A estos tres efluentes se sumo además, el efluente de Celulosa CELCO, Planta Valdivia.

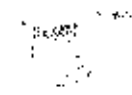
El estudio está bien presentado y entrega información de calidad, basada en la aplicación de metodologías y análisis de primer nivel (estándares de USEPA y UE). Destacan la detallada descripción de los procesos de tratamiento utilizados por cada industria y el estudio desarrollado en el Capítulo IV. El capítulo V también destaca por la metodología aplicada y por la información que entrega en relación a la presencia de compuestos altamente tóxicos para las poblaciones expuestas y el ser humano.

Sin embargo, el estudio presenta falencias generales y específicas que restan relevancia a la información entregada. En primer lugar se evidencia una desconexión entre los capítulos II - III y IV - V. El cálculo de riesgo ecológico considerando no sólo la información entregada en los capítulos II y III sino también, la información del IV y V habría incrementado el conocimiento sobre la situación ambiental del ecosistema estudiado. Esta desconexión se evidencia además en la selección de estaciones de muestreo y en la falta de un capítulo final en que se desarrolle una discusión y una conclusión general que considere toda la información recopilada. Este último capítulo es además necesario para establecer las propuestas para un sistema de gestión ambiental que permita una mejor evaluación y control de las cargas tóxicas en el sistema del río



Cruces.

En segundo lugar, si bien la metodología aplicada en el capítulo II permite obtener la información requerida, esta no es suficiente para lograr una visión acabada del riesgo ecológico, considerando como tal, la probabilidad de efectos adversos en la estructura y funcionamiento del ecosistema expuesto a la descarga de RILes. En este sentido, la metodología utilizada es simple y responde a una aproximación cercana a la Toxicología Ambiental y no a la Ecotoxicología. Lo anterior dado que utiliza especies y regímenes de exposición que no ocurren en el lugar estudiado. Esta información por tanto, dificulta la extrapolación de los resultados a la situación ecológica presente en el río Cruces y la posterior comprensión del riesgo ecológico implicado en la descarga de los RILes estudiados. En otras palabras, el estudio toxicológico realizado determina en forma adecuada el peligro que representa para la vida acuática la descarga de estos residuos líquidos, pero no entregaría mayor información sobre los potenciales efectos en la estructura y dinámica del ecosistema del río Cruces.



## 2. COMENTARIOS ESPECIFICOS

### Capítulo I. Introducción

- El documento entrega una completa descripción de los procesos de tratamiento por el que pasan los RILes de cada una de las empresas estudiadas. Esta información permite conocer la el tipo de RIL que se ha estudiado y el nivel de impacto que podrían llegar a generar.
- Todas las industrias estudiadas presentan extracción de sólidos (filtración o decantación), su compactación (filtro de prensa, banda o centrífuga) y posterior almacenaje o retiro.

Considerando que un gran número de sustancias tóxicas se adsorben a los sólidos en suspensión, una descripción detallada del destino de las aguas resultantes del proceso de compactación es requerida. Esta información se entregada sólo para el caso de CELCO.

- La descripción de área de estudio y en particular del santuario de la Naturaleza Carlos Andwanter requiere mayor detalle. Considerando que el objetivo es determinar potenciales impactos en la estructura y dinámica del ecosistema, información sobre las poblaciones expuestas y su estructura, es requisito para la correcta interpretación de resultados obtenidos en los capítulos siguientes.
- Si bien la comparación de los parámetros físico-químicos de los cuatro tipos de RILes estudiados, con lo estipulado en el D.S. 90/2000 es útil y entrega información importante, una revisión de la pertinencia ecotoxicológica de dicho Decreto para el ecosistema estudiado habría sido un gran aporte. Lo anterior puesto que esta normativa solo establece los límites máximos y mínimos de la concentración o permanencia de sustancias, basándose principalmente en los niveles adoptados por normas extranjeras. Estas normas no consideran la relación causal entre las concentraciones ambientales y los efectos a largo plazo sobre los ecosistemas locales amenazados. En este sentido se hace necesario una comparación de los niveles de cada parámetro medido en estos

RILes con efectos publicados para distintos tipos de organismos. La metodología anterior, conocida en ecotoxicología como *Species Sensitivity Distributions*, permitiría entregar una visión más amplia del potencial riesgo asociado a los niveles detectados de cada compuesto estudiado.

## Capítulo II. Evaluación de la toxicidad aguda y crónica

- A pesar de que los ensayos aplicados consideran un número importante de especies y siguen metodologías con estándares internacionales (*i.e.* USEPA), los tiempos de exposición considerados no poseen relevancia local. Lo anterior dado que los efluentes serían permanentes o en pulsos, al igual que sus potenciales efectos en los ambientes expuestos.
- El cálculo de la toxicidad aguda (CL50) es incompleto, por cuanto no considera la estimación del denominado CL50 Umbral o Incipiente. Este valor indica la concentración en la que teóricamente el parámetro evaluado (mortalidad) se mantiene por sobre un 50% indefinidamente o lo que es similar, la concentración en la cual el parámetro se verá afectado en un 50% luego de una exposición larga.
- Si bien el cálculo de NOEC y LOEC sigue siendo usado en Toxicología Ambiental pues entrega información simple de los efectos crónicos asociados a una determinada sustancia, el uso de este método factorial de análisis ha sido reemplazado en Ecotoxicología por el uso de métodos regresionales. Al entregar un modelo de respuesta, estos métodos permiten conocer en forma detallada el efecto que tendrían diferentes niveles de la sustancia estudiada en el parámetro biológico observado en el organismo expuesto. Esta metodología es requerida en el estudio de RILes, donde la concentración de sustancias tóxicas presenta una alta variación temporal y por tanto, una alta variación en el nivel de sus efectos.
- En ninguno de los bioensayos de toxicidad realizados se indica la procedencia de los organismos utilizados. Este dato es importante pues ha sido reportado que organismos cultivados en laboratorio responden de manera significativamente diferente a organismos colectados en ambientes naturales. La condición genética de los organismos

en cultivo también es un aspecto que debe ser considerado en la interpretación de resultados.

- En el bioensayo de toxicidad aguda con *H. gracilicornis* (Pág. 163) no queda clara la metodología ni el análisis estadístico utilizado para la obtención de los resultados indicados. En la tabla 1 se indica la utilización de 4 réplicas y 5 organismos por réplica; sin embargo, en el primer párrafo se menciona la utilización de 10 réplicas y 2 organismos en cada una de ellas. En este último caso, el análisis estadístico indicado no podría haber sido aplicado, a menos que se haya efectuado un *pool* por tratamiento (6 tratamientos), lo que sería incorrecto, o que cada réplica haya arrojado valores de mortalidad de sólo 0, 50, y 100%. En este último caso, el análisis probit utilizado debió haber arrojado un mal ajuste de las rectas estimadas y por tanto, la invalidez estadística de los resultados.

- Una situación similar se observa en el estudio de toxicidad aguda realizado con *O. mykiss*.

En el primer párrafo se indica la utilización de 10 alevines, sin embargo, en la tabla 3 se mencionan 7 animales por unidad experimental. El primer párrafo también indica la utilización de 30 individuos por tratamiento, lo que hace sospechar la utilización de un *pool* de datos en el cálculo de los CL50. Como ya se mencionó, esta práctica sería incorrecta por cuanto no considera la variabilidad poblacional.

- Para los bioensayos de fase sólida (capítulo II), no se indica la procedencia del sedimento evaluado. Considerando el transporte y dilución de las potenciales sustancias tóxicas presentes en los RILES estudiados, es necesario conocer la distancia exacta de la descarga a la que se obtuvieron las muestras de sedimento utilizadas. Esto queda demostrado en los estudios crónicos, donde en el sitio definido como Pre-impacto de tres de las cuatro industrias estudiadas no se produce la germinación de las semillas de plántulas utilizadas.

- Se señala que la metodología corresponde a la recomendada por USEPA o la Comunidad Europea; sin embargo, llama la atención la presentación de resultados en un formato que no es utilizado en ecotoxicología. En el caso de la toxicidad aguda, faltan las curvas de concentración- respuesta por tiempo con desviación estándar para cada concentración, así como las curvas de toxicidad, necesarias para indicar la presencia del

CL50 Umbral. Para la toxicidad crónica, solo se entregan tablas con el nivel de respuesta observado, pero no se indica el LOEC ni NOEC. La no determinación de estos valores refleja un diseño experimental no adecuado al nivel de toxicidad presente en los RILes estudiados o, en su defecto, la consideración de parámetros biológicos que no adecuados para la detección de efectos sub-letales. Lo anterior queda de manifiesto también al no encontrar efectos crónicos. Siendo la mortalidad un efecto dramático, que ocurre como resultado de un mal funcionamiento general del organismo expuesto, la no observación de efectos crónicos genera dudas con respecto al diseño experimental empleado.

- El estudio con sedimentos no considera la determinación y el potencial efecto de la granulometría en los organismos expuestos. El efecto directo de este factor en los organismos, así como de sus propiedades físico-químicas ha sido reportado en literatura especializada y debiera ser considerado. Este factor es mencionado en las conclusiones, pero no es considerado en el análisis, por lo que conlleva a una reconocida incongruencia y confusión.
- Las conclusiones en general son pobres, limitándose exclusivamente a describir los resultados y a sugerir explicaciones para lo observado. En este sentido, falta una discusión basada en literatura científica, que permita poner en contexto el nivel de efecto observado.

### Capítulo III. Evaluación de Riesgo Ecológico a través del método del Cociente

- El trabajo logra su objetivo y estima el riesgo asociado a la descarga de cada uno de los RILes estudiados. Sin embargo, al contrario de lo que se señala (Pág. 167) el análisis no ejemplifica la peor situación. La utilización de la mortalidad como la concentración estimada sin efecto (PNEC, de su sigla en inglés) representa una subestimación del potencial riesgo. Lo anterior puesto que los efectos sub-letales (a concentraciones más bajas) también poseen una incidencia significativa en la adecuación biológica de una especie y por lo tanto, en su crecimiento poblacional.

Este efecto no detectado en los bioensayos toxicológicos efectuados y por lo tanto, no considerado en la evaluación de riesgo, podría explicar las variaciones de diversidad ictiofaunística indicadas en el capítulo IV.

#### Capítulo IV. Evaluación ecotoxicológica mediante el uso de biomarcadores

- No hay comentarios. A diferencia de los capítulos anteriores, esta parte del estudio desarrolla un trabajo bien enfocado y una excelente discusión, en la que se pone en contexto los resultados obtenidos.

#### Capítulo V. Contaminantes orgánicos persistentes (COPS) y membranas semipermeables

- La extensa revisión bibliográfica sobre la caracterización toxicológica de los compuestos encontrados facilita la comprensión del estudio realizado. Sin embargo, la información entregada no se relaciona con el tipo de ecosistema estudiado y por tanto, su relevancia debe ser discutida. A lo anterior se suma el hecho que los resultados arrojados por el estudio están en una unidad de medida (ng/SPMD) cuya relación con las unidades indicadas en la revisión toxicológica no es explicada.

### 3. Conclusiones y Recomendaciones

El estudio entrega información relevante sobre los factores de peligro que representa la descarga de RILes en el río Cruces. En este sentido el estudio está bien elaborado, utiliza metodologías adecuadas y genera información que permite avanzar en el conocimiento general de la situación ambiental del Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter. Sin embargo, el estudio no logra entregar información ecotoxicológica que permita estimar el efecto del aporte directo de estos RILes en la estructura y dinámica del ecosistema estudiado. El estudio tampoco genera conclusiones generales que consideren todos los datos obtenidos y que permitan proponer un sistema de gestión ambiental para el control de las cargas tóxicas en el sistema del río Cruces.

A continuación se indican recomendaciones para mejorar y complementar el estudio aquí analizado. Se espera que mediante el desarrollo de estas recomendaciones se logre un conocimiento acabado de los potenciales efectos ambientales que tendrían la descarga de RILes y otros contaminantes en el ecosistema acuático del río Cruces. Estas recomendaciones van más allá del estudio aquí analizado y por tanto, consideran la aplicación de ecotoxicología para el análisis de un mayor número de sustancias, la estimación de riesgo ecológico y la evaluación de efectos en la estructura y funcionamiento del ecosistema.

#### 4. Recomendaciones

- Considerando que la cuenca del río Cruces es principalmente de uso agropecuario (54%) sería pertinente realizar una evaluación de los efectos ecológicos generados por el uso de pesticidas en el control de plagas asociadas al desarrollo agropecuario.

Los efectos de la aplicación, dilución y transporte de estos compuestos en los pequeños cursos de agua que desembocan en el río Cruces podrían tener efectos significativos en la estructura y funcionamiento del ecosistema.

- El agua resultante del proceso de extracción de sólidos en cada una de las industrias analizadas (filtración o decantación), su compactación (filtro de prensa, banda o centrífuga) y posterior almacenaje, debe también ser considerada en el estudio toxicológico.
- Es necesario conocer la estructura comunitaria del ecosistema estudiado. Esta información permitiría extrapolar de alguna manera los resultados del estudio realizado y daría cuenta de los potenciales efectos indirectos generados por la presencia de los RILes analizados.

Estos efectos indirectos resultan principalmente de la modificación en la topografía de las interacciones ecológicas en los sistemas estudiados.

- La recomendación anterior también permitiría la selección de especies para la realización de bioensayos. Esta selección de especies locales incrementaría la relevancia ecológica del estudio.
- La potencial toxicidad de los compuestos y las concentraciones encontradas en los RILes estudiados debe ser estimada utilizando una aproximación basada en *Species Sensitivity Distributions*.
- La exposición en pulsos así como el CL50 Umbral debe ser considerado en el diseño de los bioensayos desarrollados.
- La forma en que los datos son entregados debe ser reemplazada por una aproximación ecotoxicológica, en que se utilicen métodos regresionales y no factoriales.
- El origen de los animales utilizados en los bioensayos debe ser indicado. Si proceden



de cultivo, las características de éste deben ser descritas.

- Los resultados obtenidos con el desarrollo de bioensayos deben ser discutidos y puestos en contexto considerando la literatura científica existente.
- El estudio debe ser completado con el análisis del potencial efecto sub-letal de los RILes considerados. En este análisis deben considerarse como parámetros biológicos efectos funcionales clave (i.e. tasa de ingestión) y aquellos rasgos de historia de vida que afectan la adecuación biológica de la población.
- Para la estimación de riesgo ecológico, la concentración ambiental esperada de los RILes o sustancias consideradas debe ser medida o modelada con un nivel de precisión que permita su comparación con el resultado de la *Species Sensitivity Distribution* y los bioensayos. Las mediciones de ambos componentes debe realizarse de manera tal que permita una estimación probabilística del riesgo.
- Los capítulos IV y V deben ser considerados en la estimación de riesgo ecológico.
- Diferentes características del funcionamiento ecosistémico deben ser consideradas en la estimación de riesgo ecológico.
- Seguir la recomendación de corroborar los resultados de diversidad ictiofaunística encontrados en el capítulo IV.

REPÚBLICA DE CHILE  
COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

OCRF/HWA

**AMPLIA PLAZO PARA PREPARACIÓN DE  
ANTEPROYECTO DE NORMAS SECUNDARIAS DE  
CALIDAD DE AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES  
CUENCA DEL RÍO VALDIVIA.**

**SANTIAGO, 26 de junio de 2009**

**RESOLUCIÓN EXENTA N° 3705**

**VISTOS:**

Lo dispuesto en la Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente; en el Decreto Supremo N° 93 de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece el Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión; en la Resolución Exenta N° 3401 de esta Dirección Ejecutiva, de fecha 18 de diciembre de 2006, que dio inicio a la elaboración de las presentes normas y que fuera publicada en el Diario Oficial y en el diario La Nación, el 27 de diciembre del mismo año; en la Resolución Exenta N° 1198, de esta Dirección Ejecutiva, de fecha 24 de mayo de 2007, que amplía plazo para la elaboración del anteproyecto de dichas normas; en el Decreto Exento N° 345, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, de 10 de noviembre de 2008, que establece subrogancia del Director Ejecutivo de CONAMA; y en la Resolución N° 1600, de 2008, de la Contraloría General de la Presidencia.

**CONSIDERANDO:**

Que, mediante Resolución Exenta N° 1198, de esta Dirección Ejecutiva, de fecha 24 de mayo de 2007, se amplió el plazo para la elaboración del anteproyecto de las Normas Secundarias de Calidad de las aguas continentales superficiales de la Cuenca del río Valdivia hasta el día 26 de junio de 2009.

Que, el Departamento de Control de la Contaminación de CONAMA, mediante Memorándum N° 274, de fecha 3 de junio de 2009, ha solicitado ampliar los plazos para la preparación del anteproyecto, fundado en la necesidad de contar con mayores antecedentes que den cuenta de las particularidades de la cuenca del río Valdivia, además de considerar los antecedentes existentes en el proceso normativo para la protección de la calidad de las aguas del río Cruces.

Que, las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas del Río Cruces, fueron incluidas en forma especial en el noveno programa priorizado de normas, en sesión extraordinaria del Consejo Directivo, del 26 de noviembre de 2004, motivadas por la situación que afectó específicamente al Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter. Sin embargo, debido a la escasez de antecedentes técnicos existentes hasta ese período, el ámbito territorial de aplicación de estas normas se limitó a la fracción limnética del río Cruces, dejando fuera de este proceso normativo la zona estuarial de este río donde se encuentra el Santuario de la Naturaleza antes mencionado.

Cruces, ya que dentro del ámbito territorial de aplicación se encontraría la parte estuarial del mismo.

Que, actualmente existe una gran cantidad de antecedentes técnicos que han surgido a partir de la elaboración de estos dos procesos normativos, los cuales describen en forma general las características hidrodinámicas y fisicoquímicas de este sistema. Sin embargo, debido a la inexistencia de datos históricos para la fracción estuarial del río Cruces, no es posible con los antecedentes actuales establecer niveles de calidad ambiental para este tramo.

Que, con el objeto de solucionar la situación antes señalada y hacer de estas normas un instrumento de gestión ambiental adecuado para los objetivos de protección que estas persiguen, es necesaria la realización de un estudio que desarrolle una evaluación de riesgo ecológico, con el fin de determinar niveles de calidad ambiental para el tramo señalado.

Que, además, se debe analizar la información referente a calidad de las aguas del río Cruces, generada a partir de la incorporación en el año 2005 de dos nuevas estaciones a la red de monitoreo de la calidad del agua de la Dirección General de Aguas; río Cruces en Loncoche y río Cruces en Cahuincura.

Que, asimismo, se debe revisar la información aportada por el estudio desarrollado por la Universidad Austral "Consultoría para la Recopilación y Análisis de Información en Apoyo a la elaboración del Anteproyecto de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas de la Cuenca del río Valdivia" cuyo informe final fue entregado el 15 de Junio de 2009.

Que, por todo lo anterior, es que se requiere contar con un plazo adicional para la entrega del anteproyecto de estas normas, el que sería hasta el día 30 de Septiembre de 2010, plazo suficiente para su conclusión.

#### RESUELVO:

**AMPLÍESE** el plazo para la preparación del anteproyecto de las Normas Secundarias de Calidad de las aguas continentales superficiales de la Cuenca del río Valdivia, hasta el día 30 de Septiembre de 2010.

**Anótese, comuníquese, y archívese.**



Distribución:

- Dirección Regional de CONAMA Región de los Ríos



**UNIVERSIDAD CATOLICA  
DE LA SANTISIMA CONCEPCION**  
FACULTAD DE INGENIERIA

751

Concepción, 07 de julio de 2008

RECIBIDO Hora: .....
07 JUL 2008
Nº Folio: 132K
Derivado a: JCM

Señor  
Herman Urrejola Ebner  
Director Regional  
CONAMA, Región de los Ríos  
Presente

De mi consideración:

Junto con saludarle, y según lo solicitado por la señorita Silvia Benítez, envío a usted la parte correspondiente a la modelación del Informe "Modelamiento Hidrodinámico del Sistema Estuarial de los Ríos Valdivia- Cruces-Calle Calle" (punto 5.7 en adelante), junto a las respuestas a las observaciones al Informe Final. Este informe fue enviado a la Universidad Austral de Chile el 14 de abril de 2008.

Para cualquier consulta, estoy disponible en:

[mcarro@ucsc.cl](mailto:mcarro@ucsc.cl)  
Fono: 41- 2735351/2735352  
Fax: 41- 2735313

Universidad Católica de la Santísima Concepción  
Facultad de Ingeniería  
Campus San Andrés  
Alonso de Ribera 2850

Sin otro particular se despide atentamente,

  
Marcelo Carro Dorna

L. SBF  
Derivado 017109



Universidad Austral de Chile



Universidad Católica  
de la Santísima Concepción

# **MODELAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL SISTEMA ESTUARIAL DE LOS RIOS VALDIVIA-CRUCES-CALLE CALLE**

**Mario Pino (UACH) – Marcelo Carro (UCSC)**

**Valdivia, mayo de 2007**

## MODELAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL SISTEMA ESTUARIAL DE LOS RÍOS VALDIVIA-CRUCES-CALLE CALLE

### I. ANTECEDENTES

El río Cruces forma parte, junto al río Calle Calle, de la cuenca del estuario río Valdivia. Está ubicado entre los territorios de la IX Región de la Araucanía y la X Región de Los Lagos. El sistema estuarial corresponde al tipo neotectónico, positivo y de mezcla parcial (Pino et al. 19, Pino, 19). La cuenca del río Cruces tiene una superficie total de 3.144 kms<sup>2</sup>, lo cual corresponde al 30% de la superficie de la cuenca del río Valdivia.

El río Cruces nace en la precordillera andina, en un lugar que se encuentra entre los lagos Villarrica y Calafquén, y drena la depresión de San José en la parte norte de la Provincia de Valdivia, avanzando de este a oeste, hasta confluir con el río Calle Calle. En sus casi 170 km de recorrido pasa por las ciudades de Loncoche, Lanco y San José de la Mariquina. De acuerdo a las estadísticas fluviométricas de la DGA, medidas en Rucaco, tiene un caudal medio anual del orden de 92 m<sup>3</sup>/s. Sus principales afluentes son el río Purulón, río Naninhue, río San Antonio, río Cudico, río Pichoy, río Cayumapu y varios esteros. De acuerdo a los datos del Catastro de Bosque Nativo un 54% de la superficie de la cuenca es ocupada para el desarrollo de actividades agropecuarias, un 27% es ocupado por bosque nativo, un 14.5% por plantaciones exóticas y el restante 4.5% es ocupado por matorrales, humedales y áreas urbanas.

En la parte terminal del río Cruces se ubica el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter que corresponde a un humedal que se formó como consecuencia del hundimiento del terreno con ocasión del terremoto de 1960, el cual fue declarado un sitio Ramsar por ser un sitio relevante para: las especies y

comunidades, aves acuáticas, peces y el ecosistema. El Santuario de la Naturaleza tiene una superficie de 4.877 Ha y es un humedal costero estuarial.

Por su importancia ecosistémica este humedal forma parte de la red mundial de Humedales Ramsar. Este es un sistema estuarial que está caracterizado por la influencia de las aguas salobres que penetran hasta 15 km aguas arriba del río.

La calidad de las aguas del río Cruces, de acuerdo al programa de monitoreo de la DGA, es por lo general excepcional y muy buena.

### **Problema planteado**

A partir del estudio encargado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente y de la misión consultiva Ramsar, se desprende que el humedal del río Cruces se encuentra en un delicado estado ambiental y que se hace necesario establecer medidas a objeto de mejorar su estado de conservación.

La autoridad con el fin de adoptar medidas tendientes a proteger el Santuario y el río Cruces mismo, estableció entre otras medidas la elaboración de una Norma de Calidad Secundaria de las Aguas del Río Cruces.

No obstante, a partir del estudio de la Universidad Austral de Chile se confirmó la existencia de condiciones hidrodinámicas distintas entre la porción fluvial y estuarial del río Cruces. En este contexto el estudio incorporó recomendaciones entre las cuales se señala la realización de estudios batimétricos, hidrodinámicos y de cálculo de residencia de aguas en el estuario del Río Cruces y canal Cau-Cau

Es necesario para efectos del proceso normativo definir con claridad el comportamiento hidrodinámico del río cruces y poder establecer con seguridad las zonas de vigilancia y estaciones de control.

## **II. OBJETIVO PRINCIPAL**

El objetivo de esta investigación consiste en la implementación de un Modelo Hidrodinámico 3D (MH3D).

## **III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- 3.1. Se obtendrá información que permita conocer la hidrodinámica del humedal del Río Cruces, Valdivia y Calle Calle.
- 3.2. Se obtendrá información que permita conocer el tiempo de residencia en el sistema de estuarios del río Valdivia, Calle Calle y Cruces .
- 3.3. Se obtendrá información que permita delimitar la sección fluvial y estuarina del Río Cruces
- 3.4. Se obtendrán datos que permita contar con información base que permita gestionar de manera diferenciada las normas aplicadas a ríos de estuarios.
- 3.5. Se obtendrá información que permita delimitar la masa inferior de agua salada y su extensión río arriba.



- 3.6. Se obtendrá información que permitirá estimar el prisma de mareas y la extensión de la discontinuidad de densidad.
- 3.7. Se contará con un programa de modelamiento matemático que permita evaluar la hidrodinámica en el complejo estuario del río Cruces, Valdivia y Calle Calle

#### **IV. Metodología**

Se requerirá de los siguientes análisis:

- 4.1. La realización de una Batimetría detallada del lecho de los ríos Valdivia, Cruces y Calle-Calle (que incluya toda la zona de influencia de la marea).
- 4.2. Registros continuos de nivel del agua en los tres estuarios (al menos un mareógrafo en cada uno)
- 4.3. Registro horario de caudales de los ríos Calle Calle (Balsa San Javier) y Cruces (Rucaco).
- 4.4. Series de corrientes en superficie y en el fondo, del tipo flujos residuales en algunos puntos durante varios ciclos de marea.
- 4.5. Perfiles de CTD adicionales para introducir el efecto de la circulación baroclínica.

## **V. Resultados**

### **5.1. Información base para modelar la hidrodinámica del humedal del Río Cruces, Valdivia y Calle Calle.**

Los datos recopilados y obtenidos para el desarrollo de este objetivo se encuentran en el Anexo 1 (archivo digital) y corresponden a 1) levantamiento batimétrico del canal principal del estuario del río Cruces entre la confluencia con el canal Cau-Cau y el Fuerte San Luís de Alba, 2) al registro de marea en la Isla Teja (Muelle Centro de Estudios Ambientales, CEAM) y en el fuerte San Luís de Alba, 3) mediciones eulerianas para cálculo de flujos residuales (en las estaciones Chumpullo, Ciudad de Valdivia, boca Cruces, Las Mulatas, Islote Haverbeck, Boca Guacamayo, Boca Cutipay, Niebla) y 4) los registros de caudales medidos por la DGA en el balseo San Javier en el río Calle-Calle y en Rucaco.

### **5.2. Se obtendrá información que permita conocer el tiempo de residencia en el sistema de estuarios del río Valdivia, Calle-Calle y Cruces .**

Dada la similitud entre el cálculo del volumen del prisma de marea y el volumen de agua ingresada durante un ciclo mareal (ver punto 5.6), se puede estimar con este método que el tiempo de residencia es del orden de 1 día.

### **5.3. Información para delimitar la sección fluvial y estuarial del Río Cruces.**

Antes de efectuar este estudio se suponía que el río Cruces en el Fuerte San Luís de Alba estaba fuera del efecto de las mareas. Sin embargo, tal como lo muestra la Tabla 1 (derivada de Anexo 1/Mareas/san luís de alba), en esta estación existe una amplitud de marea del orden de 70 cm.

dia ini	03-02-06	23-02-06	15-03-06	03-04-06
dia fin	23-02-06	15-03-06	03-04-06	07-04-06
media	1.53	1.46	1.37	1.31
max	1.84	1.81	1.74	1.61
min	1.17	1.12	1.00	0.94
amplitud	0.67	0.68	0.74	0.67

Tabla 1: resumen de registros de marea en la estación San Luis de Alba. A medida de que decrece el gasto fluvial entre febrero y marzo, las máximas de pleamar van decreciendo (de 1.84 a 1.61 m), las mínimas también decrecen (de 1.17 a 0.94 m).

Aguas arriba de San Luis de Alba el estuario Cruces pierde la configuración de canal y adquiere una forma de río sinuoso de baja profundidad, con muchas dificultades para la navegación. Por esta razón no fue posible instalar un mareógrafo aguas arriba. Sin embargo, si la amplitud de marea en esta estación es del orden de 70 cm, es esperable que la marea ingrese varios kilómetros aguas arriba, originando el límite estuarial – fluvial entre San Luis de Alba y San José de la Mariquina.

#### **5.4. Información base que permita gestionar de manera diferenciada las normas aplicadas a ríos de estuarios.**

El modelo hidrodinámico en si aporta tal información. Sin embargo, algunos estudios realizados para calibrar el modelo (mediciones de corrientes eulerianas en un análisis de flujos residuales) en la zona de Tres Bocas en el estuario del río Cruces muestran claramente el enorme efecto de la marea en el transporte de cualquier sustancia conservativa en dirección aguas arriba, especialmente durante la noche. La Figura A muestra un diagrama de onda de marea medido en San Luis de Alba que indica claramente la desigualdad diurna de la marea.

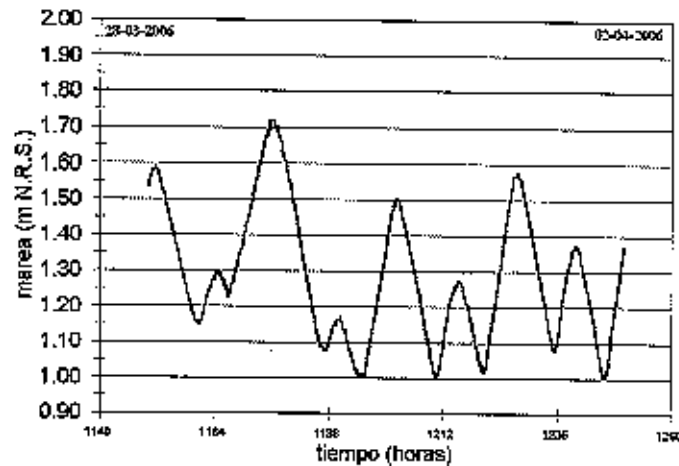


Figura A: onda de marea registrada en San Luís de Alba entre el 28 de marzo y el 3 de abril de 2006, mostrando una fuerte desigualdad diurna.

La figura B muestra una comparación entre el flujo instantáneo ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) de las secciones Puente Cruces y Chorocamayo en el estuario del Río Cruces (Anexo 2/ imágenes de ubicación). Se observa que para una condición de verano, es decir con un mínimo de flujo de agua dulce, durante la marea nocturna los valores de ingreso de agua por efecto de la marea (valores de flujos negativos) son de 2 ordenes de magnitud con respecto a los valores positivos de flujo de vaciante.

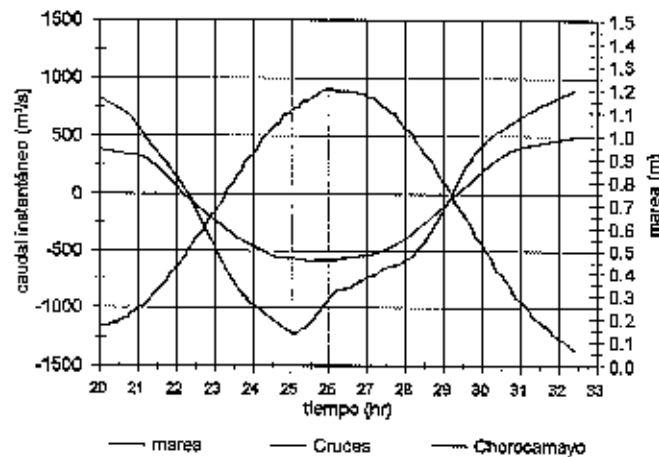


Figura B: flujos instantáneos de las secciones Cruces y Chorocamayo en el sector Tres Bocas, durante una marea de sicigia nocturna (13 enero de 2006)

En la zona de Tres Bocas en el estuario Cruces (Anexo2/imágenes de ubicación) casi con la pleamar nocturna (2 de la mañana) el caudal dirigido aguas arriba es de casi  $1200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , mientras que al fin de la bajamar es de  $900 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . En la sección Tres Bocas en las cercanías de la confluencia con Chorocamayo (Anexo2/imágenes de ubicación) los flujos instantáneos hacia la cabecera del estuario durante la noche alcanzan un poco mas de  $500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Como en esta parte del estuario el ancho del canal es de solo 160 m, las velocidades que se alcanzan sobrepasan  $1 \text{ ms}^{-1}$  en dirección aguas arriba. Los valores de flujos instantáneos medidos en Tres Bocas son el mismo orden de magnitud que los medidos en la zona de boca Valdivia en el estuario Cruces (Puente Cruces, Anexo2/imágenes de ubicación). Los archivos digitales que respaldan estos datos se ubican en el Anexo 2/sección chorocamayo en tres bocas y sección cruces en tres bocas. El contenido de los archivos es el siguiente:

- \*.dat = datos de terreno, hora, prof., velocidad, dirección, salinidad, temperatura.
- \*.per = datos para definir la forma del perfil de la sección estudiada.
- \*.mar = onda de marea
- \*.pro = comando del programa RESIDUAL
- \*.sta = posición de la estación de medición dentro del perfil
- \*.itp = salida de datos de velocidad U y V, salinidad y temperatura.
- \*.pin = salida de datos de marea y caudal interpolados.

### **5.5 Delimitación de la cuña de agua salada y su extensión río arriba.**

Datos obtenidos por el Instituto de Geociencias para AGUAS DECIMA muestran que en condiciones de verano normalmente seco, y a fines de marzo, el agua levemente salobre (5 psu) alcanza por el estuario del río Calle-Calle la localidad de Chumpullo, donde la empresa antes mencionada tiene una bocatoma, a una distancia de 26,4 km de la boya alfa ubicada en la boca de la bahía de Corral (Tabla 2).

nombre	km dist.	UTM N	UTM E	localidad
bocatoma Aguas Dóclma	26.41	656749.7	5594180.7	Chumpullo
boca Chorocamayo	28.80	651940.6	5601039.4	Confluencia Chorocamayo con Cruces
boca Cau-Cau	20.56	648489.7	5594866.2	Confluencia Cau-Cau con Cruces
Pampa Isla Teja	17.90	647486.7	5592805.7	borde W isla Teja
boca Valdivia	14.90	648430.2	5589995.2	Confluencia Valdivia con Cruces
boya alfa bahía	0.00	637002.4	5583927.5	Confluencia Valdivia con Bahía de Corral

Tabla 2: estaciones, distancia desde la boya alfa y coordenadas geográficas empleadas para determinación de ingreso de cuña de agua salada.

La Tabla 3 muestra los datos de salinidad, profundidades (estandarizadas adimensionalmente entre 0 y 10) y distancias horizontales expresadas porcentualmente (0= boca Valdivia en el estuario Cruces y 100= boca Chorocamayo en Tres Bocas) para un construir un perfil longitudinal que corresponde a la condición de verano. La Figura C muestra tal perfil y en el anexo 3 se encuentra una imagen del sector donde se determinó la mayor ingresión de agua salina.

% x	% y	PSU sal.	nombre	km dist.	UTM N	UTM E
100	10	0	boca Chorocamayo	28.8	651940.6	5601039.4
100	7	0				
100	5	0				
100	3	0				
100	0	0				
34	10	0	boca Cau-Cau	20.56	648489.7	5594866.2
34	0	0				
10	10	2.6	Pampa Isla Teja	17.9	647486.7	5592805.7
10	0	3.8				
0	10	8.5	boca Valdivia	14.9	648430.2	5589995.2
0	7	10.8				
0	5	15.7				
0	3	17.2				
0	0	18.1				

Tabla 3: datos empleados para determinar la zona de máximo ingreso de agua salobre en el estuario Cruces (ver Anexo 3).

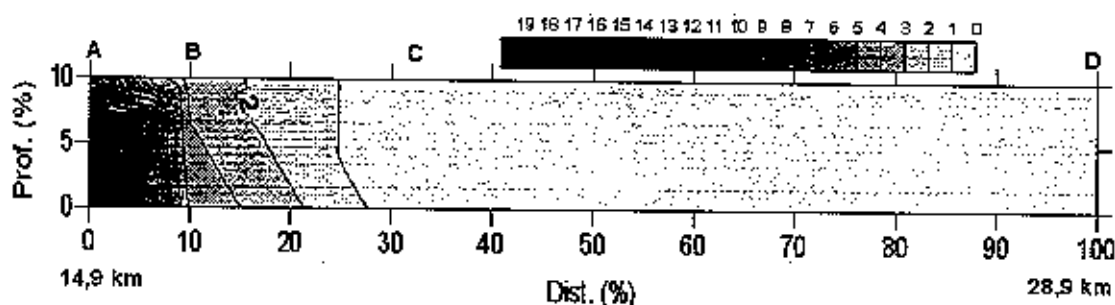


Figura C: perfil longitudinal de salinidad (marea alta, sicigia, verano) entre la boca Valdivia en el estuario Cruces (14,9 km) y la boca Chorocamayo en el mismo estuario (28,9 km). La salinidad 1 psu se ubica entre la boca Cau-Cau y la pampa Isla Teja (anexo 3).

De esta manera, la salinidad a la altura de la confluencia del canal Cau-Cau con el estuario Cruces es igual 0 psu. El diagrama confirma lo ya conocido, en relación a que el estuario Valdivia - Cruces es un complejo de mezcla parcial y no de cuña, por lo que no tiene sentido hablar de discontinuidad de densidad.

### 5.6 Estimación del prisma de mareas.

No se pudo calcular exactamente la superficie del humedal que esta afectado por mareas, por falta de mapas confiables en una escala de detalle. Según la Publicación 3013 del SHOA el prisma de marea es el volumen de agua que se desplaza hacia dentro o fuera de una bahía u otra cuenca durante cada ciclo de marea. Se calcula normalmente como el producto del rango de marea y el área de la cuenca a media marea. El área del humedal es de aproximadamente  $49.000.000 \text{ m}^2$ , y si suponemos que fue calculado a media marea entonces al multiplicar por el rango medido en San Luís de Alba de 0,7 m (valor conservador si se considera que al comienzo del humedal en el canal Cau - Cau la marea tiene un rango de 1,6m), entonces el prisma de marea del humedal del estuario del río Cruces durante el verano tiene un volumen de  $34.300.000 \text{ m}^3$ . Este valor es del mismo orden de magnitud si consideramos un

flujo de 800 o 1000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> durante las 6 horas de la marea subiendo (17.280.000 y 21.600.000 m<sup>3</sup>, respectivamente).

### **5.7. Modelamiento matemático para evaluar la hidrodinámica en el complejo estuario del río Cruces, Valdivia y Calle Calle.**

Se trabajó con un modelo hidrodinámico y de transporte tridimensional desarrollado por la EPA (*Environmental Protection Agency USA*), adaptado a los requerimientos del presente trabajo (Paul & Lick, 1985; Frick *et al.*, 2001)

Las principales características del sistema estuarial Calle-Calle Valdivia, ya han sido descritas. Aquí analizaremos aspectos relativos a la geometría, caudales y conectividad marina.

El sistema estuarial de los ríos Calle-Calle y Valdivia tiene una longitud aproximada de 25 kilómetros, si consideramos la distancia existente entre Cuesta Soto y Bahía Corral. En el sector de Cuesta Soto, el río Calle-Calle tiene una profundidad promedio de 8 metros y su ancho no excede los 300 metros. Cuatro kilómetros río abajo del sector Cuesta Soto, se encuentra el sector de Collico, aquí el río tiene una curva cerrada, su profundidad bordea los 8 metros y el ancho no excede los 400 metros. Los datos de terreno, muestran que la onda de marea proveniente del estuario del río Valdivia, normalmente no logra cambiar el sentido de las aguas en el sector de Collico, pero sí disminuyen su velocidad. Pasado 2 km de la curva del río Calle-Calle en el sector Collico la profundidad se mantiene en los 7m. En la zona final del tramo, el río Calle-Calle toma otra curva cerrada pasando tangencialmente por Isla Teja, donde al encontrarse con el canal mareal Cau-Cau pasa a llamarse río Valdivia. Entre Isla Teja y la Boca del río Cruces, el río Valdivia no supera los 170 metros de ancho, también la profundidad desciende cerca de la boca del río Cruces, llegando a zonas con tres metros de profundidad. Entre la intersección de los ríos Cruces y



Valdivia y la zona denominada Guacamayo el río Valdivia se estrecha en doscientos metros y llega a una profundidad de once metros. Aquí el río Valdivia comienza a ser canalizado por un sistema de dos molos, uno en cada orilla, separados en promedio por trescientos metros, los que estarán presentes hasta la boca del río Valdivia en el sector de Niebla. Entre Isla San Francisco y la boca del río Cutipay la profundidad del río Valdivia pasa de 12 a 3 m y posteriormente asciende a 9 m, lo anterior genera una aceleración del flujo. Desde la boca del río Cutipay hasta el sector de Niebla, el río Valdivia está acanalado por los molos, manteniendo una profundidad que varía entre los 4 a 7 metros. En esta zona el río tiene un ancho promedio de 700 metros, pero como los molos están separados en aproximadamente 300 metros, las zonas laterales a la canalización, (es decir, entre cada molo y la orilla del río) se encuentran embancadas con profundidades promedio de dos metros.

Desde el punto de vista hidrodinámico, las mareas son la causa principal del movimiento en el río Valdivia. Entre Niebla e isla San Francisco, es donde se produce la mayor estratificación producto del ingreso de agua marina desde Niebla). Los datos de terreno también muestran que en esta zona se producen aceleraciones significativas del flujo. En el caso del río Calle-Calle, la fuerza motora está dada por el caudal del río el cual tiene sus máximos en los períodos de invierno y primavera.

De lo anterior, se deduce que el modelo hidrodinámico debe considerar los siguientes aspectos:

- a) Densidad variable, dependiente de la salinidad.
- b) Dependiente del tiempo, al ser un sistema gobernado por las mareas.
- c) Tridimensional, al existir variaciones de las variables a lo largo y ancho de los ríos y también en profundidad.
- d) Modelo de turbulencia que considere cuerpos de agua con zonas estratificadas y otras no estratificadas.

**Modelo Hidrodinámico.****Ecuaciones Hidrodinámicas**

El sistema de ecuaciones de Navier- Stokes en tres dimensiones, con la aproximación hidrostática, y la ecuación para la salinidad también en tres dimensiones, forman la base del modelo hidrodinámico. Esto es:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} =$$

$$-g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \left( \int_0^z \Delta \rho \, dz \right) + \frac{\partial}{\partial x} A_H \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} A_H \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} A_V \frac{\partial u}{\partial z}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} =$$

$$-g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \left( \int_0^z \Delta \rho \, dz \right) + \frac{\partial}{\partial x} A_H \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} A_H \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} A_V \frac{\partial v}{\partial z}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$\rho = \rho(S)$$

donde:

$\eta$ : Elevación de la superficie libre (cm)

$u, v, w$ : Componentes de la velocidad (cm/s)

$g$ : Aceleración debida a la gravedad (cm/s<sup>2</sup>)

$A_H, A_V$ : Coeficientes de viscosidad turbulenta (cm<sup>2</sup>/s) horizontal y vertical

$\rho_0$ : Densidad de referencia (g/cm<sup>3</sup>)

$\Delta \rho$ : Variación de la densidad (g/cm<sup>3</sup>)

El efecto de Coriolis no se ha considerado en este caso, debido a que en ningún caso el ancho del estuario sobrepasa 500m.

La ecuación para la salinidad es:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} + \frac{\partial vS}{\partial y} + \frac{\partial wS}{\partial z} = B_H \left( \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( B_V \frac{\partial S}{\partial z} \right) \quad (5)$$

en la cual:

S: Salinidad (psu)

$B_H, B_V$ : Coeficientes de difusividad turbulenta ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ) horizontal y vertical.

### Modelos de Turbulencia

Las expresiones para la viscosidad y la difusividad turbulenta vertical, dependen de los modelos de turbulencia utilizados. Para el propósito del presente trabajo, se utiliza un perfil parabólico para la viscosidad y difusividad turbulenta en ausencia de estratificación y de estrés superficial:

$$v_t = \kappa u_* z \left( 1 - \frac{z}{h} \right) \quad (6)$$

Como funciones de dumping se utiliza el modelo de Munk- Anderson:

$$g(Ri) = (1 + 10 Ri)^{-0.5} \quad (7)$$

$$f(Ri) = (1 + 3.3 Ri)^{-1.5}$$

donde, el número de Richardson está definido por:

$$Ri = \frac{-\frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z}}{\left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2} \quad (8)$$

Así, la viscosidad y la difusividad turbulenta vertical para el modelo estuarial están dadas por:

$$\begin{aligned} A_v &= \nu_t * g(Ri) \\ B_v &= \nu_t * f(Ri) \end{aligned} \quad (9)$$

Los coeficientes de viscosidad y difusividad turbulenta horizontal  $A_H$  y  $B_H$  toman valores constantes de  $6 \cdot 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$  y  $6 \cdot 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$  respectivamente.

Condiciones de borde.

a) Las condiciones de borde en la superficie libre,  $z = \eta(x, y, t)$  son:

$$\rho A_v \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad (10)$$

$$\rho A_v \frac{\partial v}{\partial z} = 0$$

$$\rho B_v \frac{\partial S}{\partial z} = 0$$

$$w(\eta) = \frac{\partial \eta}{\partial t}$$

b) Las condiciones de borde en el fondo,  $z \rightarrow -h(x, y)$  son:

$$\tau_f = \rho A_v \frac{\partial u}{\partial z} = C_d \sqrt{u_f^2 + v_f^2} u_f \quad (11)$$

$$\tau_f = \rho A_v \frac{\partial v}{\partial z} = C_d \sqrt{u_f^2 + v_f^2} v_f$$

donde  $C_d$  es el coeficiente de fricción definido por:

$$C_d = \max \left[ \frac{\kappa^2}{\left( \ln \left( \frac{z_f}{z_0} \right) \right)^2}, 0.0025 \right] \quad (12)$$

$\kappa = 0,4$  es la constante de von Kármán;  $z_0$  es el parámetro de rugosidad. Para este trabajo se consideró  $z_0 = 0.1$  cm. Numéricamente, las ecuaciones (11) y (12) se aplican en el primer punto de la grilla cerca del fondo, el cual está a una altura  $z_1$ .

c) Condiciones de borde en el borde abierto.

El borde abierto, se encuentra especificado en la boca que une bahía de Corral con el océano Pacífico. En este borde se especifican las ondas de marea para cada caso, las cuales se obtuvieron del programa TIDE24 (entregadas por M. Pino), cuyos datos fueron interpolados utilizando Spline cúbica y posteriormente un programa de desarrollo propio para obtener el valor de marea cada  $\Delta t = 6$  s.

d) Condiciones de borde en los ríos Calle Calle y Cruces.

En ambos ríos se especifica el caudal. Para cada caso analizado el caudal se encuentra especificado en la figura 11.

### **Caso de Estudio Modelación Hidrodinámica**

La malla donde se corrió el modelo tiene  $200 \times 145 \times 10$  puntos de cálculo. El incremento de tiempo utilizado fue de 6 segundos. Lo anterior, significa que en sentido horizontal la distancia entre dos puntos consecutivos de

cálculo es de 200 metros y que en sentido vertical la distancia máxima entre dos puntos consecutivos es de 1.3 metros, estos donde la profundidad es de 12 metros. En las zonas donde la profundidad es de 6 metros esta distancia se reduce a 0.66 metros.

### **Resultados de la modelación**

#### **a) Modelación de la batimetría.**

La figura 1, muestra la zona modelada que comprende la bahía Corral y los ríos Valdivia, Calle Calle y Cruces. Las figuras 2 a 4 dan un detalle de la digitalización de la batimetría que se construyó a partir de datos obtenidos de las cartas de navegación y de las mediciones realizadas por la Universidad Austral. A partir de estos datos se construyeron 15 grillas para aproximar la profundidad de los ríos en distintas partes, con lo cual se pudo aproximar la batimetría total del sistema con mayor resolución. Para esto se utilizó un programa desarrollado para tal efecto. En la figura 3, se muestra un detalle de los datos tomados en terreno y la aproximación que posteriormente se hizo para que al calcular la batimetría de la grilla de cálculo no se generaran saltos en la batimetría. Las figuras 5 a 8 dan un detalle de la batimetría y geometría de la Bahía de Corral y de los ríos Valdivia y Calle Calle. En la zona de Niebla el río Valdivia está acanalado en forma irregular, su profundidad decrece donde está la Isla Sofia para incrementarse frente a la Isla San Francisco, lo cual genera una aceleración de las corrientes. Lo mismo sucede entre Isla San Francisco y Guacamayo, donde desde zonas de 8 metros pasa a 4 metros para incrementar a 10 metros frente a las Mulatas además de estrecharse el río en ese punto. En la zona de tres bocas donde confluyen los ríos Valdivia, Cruces y Calle Calle frente al Islote, la profundidad se incrementa hacia el río Cruces, y disminuye hacia el río Calle Calle, llegando a tener una profundidad frente a Isla Teja de pocos metros. Siguiendo en el río Calle Calle frente a la entrada del canal Cau Cau, el Calle Calle aumenta la profundidad a 10 metros para disminuirla en la

zona de Collico, donde su profundidad promedio es de 6 metros. En el caso del río Cruces, (figuras 7 a 10) este tiene una zona acanalada que en algunas partes tiene profundidades de 8 metros pero donde la mayor extensión del río tiene una profundidad menor a los dos metros. En la zona de Chorocamayo existe un estrechamiento del río generador de aceleraciones de las velocidades principalmente en vaciante. El resto del río hasta San Luis, es bajo y la zona acanalada es estrecha, por lo cual el flujo y la onda de marea están influenciados por la profundidad.

#### b) Modelación de las mareas.

Como se mencionó anteriormente las mareas especificadas en el borde abierto se generaron a partir de los datos entregados por el programa TIDE24, pues los casos analizados corresponden a los años 1990 y 1992. Lo anterior, debido a que la Universidad Austral realizó mediciones de corrientes durante esos años, las cuales permitieron calibrar el modelo hidrodinámico. En la figura 11, están especificadas las fechas en donde se tienen datos de terreno de marea y de velocidad y salinidad a distintas profundidades, tanto en llenante como en vaciante. Además están especificados los caudales de los ríos Cruces y Calle Calle los cuales se obtuvieron de la Dirección General de Aguas.

#### c) Calibración del Modelo

Para calibrar el modelo hidrodinámico se consideraron dos escenarios (figura 11). Uno el 5 de agosto de 1992, con marea en Cuadratura y un caudal alto de  $517 \text{ m}^3/\text{s}$  en el Calle Calle y de  $176 \text{ m}^3/\text{s}$  en el Cruces. Las mediciones de terreno se realizaron en Chumpullo. Este escenario se utilizó para calibrar el ingreso de la onda de marea y de agua salina y por otra parte, determinar el cambio de velocidades, en el sector mencionado. El otro escenario para la calibración corresponde al 27 de diciembre de 1990, marea en Sicigia y un caudal de  $156 \text{ m}^3/\text{s}$  en el Calle Calle y de  $37 \text{ m}^3/\text{s}$  en el Cruces. Este escenario se utilizó para calibrar el efecto de la marea y de la salinidad en Niebla.

Escenario 1: 5 de agosto de 1992.

Como se mencionó el motivo de escoger este escenario es para calibrar el ingreso de la onda de marea y de salinidad, además de ver los efectos en la zona de Chumpullo que es donde se han realizado las mediciones más lejanas en el río Calle Calle.

La figura 12, muestra la marea especificada en el borde abierto que es una marea semidiurna, en este borde se especifica además una salinidad de 35 psu. El tiempo total de modelación es de 48 horas pero se muestran las últimas 24 horas que es donde se realizan las comparaciones con los datos de terreno. En la figura 13, la velocidad aumenta dos horas antes que ocurra la pleamar en Niebla, como también dos horas antes de la bajamar, esto muestra que la onda de marea se comporta como una onda progresiva. La salinidad disminuye con el ingreso de la segunda onda de marea pero no llega a cero. En la segunda onda de marea el tiempo de ingreso de aguas salinas hacia el río disminuye, generando una asimetría entre la llenante y la vaciante. Las figuras 14 y 15, muestran los perfiles de salinidad y velocidad en Niebla para pleamar y bajamar. En el caso de la velocidad esta es mayor pues se suma el caudal proveniente de los ríos especialmente el Calle Calle. Las figuras 16 y 17 muestran los perfiles de salinidad y velocidad en el sector de Guacamayo. El perfil de salinidad es casi constante en la vertical y los valores están entre 0.2 psu y 0.4 psu en llenante. En este caso la velocidad es mayor en vaciante pues se agrega el caudal de los ríos. La figura 18 muestra la marea y la velocidad en superficie, aquí la altura de marea disminuye pero la dirección de la velocidad es modificada por el paso de la onda de marea. La figura 19, muestra los datos de marea y velocidades a tres profundidades, tomadas en terreno el 5 de agosto de 1992 en Chumpullo. En esta figura se aprecia que la onda de marea frena las aguas que van hacia el mar pero no revierten su dirección, esto debido a que el caudal es alto. La figura 20, está tomada desde el modelo en el mismo punto de la medición y al compararla con la figura 19 se aprecia que el comportamiento es similar al medido en terreno. En efecto, en la figura 19 se aprecia que tres horas después de la bajamar en Chumpullo se logra la menor velocidad y el mismo



resultado se obtienen desde el modelo, es decir en ambos casos se produce un desfase entre el máximo y mínimo de velocidad y la pleamar y bajamar. En el modelo la velocidad alcanza a variar la dirección pero no es significativo su valor, ya que muestra la detención de las aguas que bajan desde el Calle Calle. La figura 21, entrega la altura de marea y velocidad en el sector de Chorocamayo. El angostamiento produce una aceleración de las velocidades y la onda de marea disminuye su altura, producto del roce de las aguas con el fondo. La figura 22, las velocidades y la marea disminuyen y la dirección de la velocidad es en dirección al mar, no se aprecia un ingreso hacia san José de la Mariquina. La magnitud de las velocidades es pequeña. La figura 23, muestra un desfase de la marea de aproximadamente dos horas entre Niebla y Chumpullo y un desfase de aproximadamente de tres a cuatro horas entre Niebla y San Luis del Alba. Lo anterior concuerda con los datos medidos en terreno.

Las figuras 24 y 25 muestran la amplitud de marea con pleamar y bajamar respectivamente. En ambos casos se aprecia un gradiente de superficie libre entre Niebla y San Luis que es menor que el que existe entre Niebla y Chumpullo, debido a las distancias y a los caudales de los ríos. Las figuras 26 y 27 muestran la salinidad superficial en pleamar y bajamar. En ambos casos debido al caudal la salinidad no ingresa más allá de Guacamayo y por otra parte en bahía Corral existe una gran influencia del río Valdivia producto de su caudal con agua dulce. Las figuras 28 y 29 muestran el campo de velocidades en superficie en pleamar y bajamar respectivamente. Las mayores velocidades se obtienen en Niebla producto de la diferencia de densidad en fondo y superficie lo cual genera un incremento de las velocidades en esa zona. En el sector de Pichal Viejo en el río Cruces la velocidad es baja cuando en Niebla hace dos horas se tuvo la máxima, esto muestra que hay un desfase en las velocidades lo cual puede tener efectos en el transporte de sustancias a través del río. En el sector de Chumpullo las velocidades del Calle Calle disminuyen con la pleamar. Las figuras 30 y 31 muestran un detalle de las velocidades en el sector de Tres Bocas frente a Isla Teja, en donde se aprecia que las mayores velocidades en llenante son hacia el río Cruces. La figura 32 entrega un detalle tridimensional de

la salinidad obtenida por el modelo. La masa de agua en bahía Corral es salobre debido al aporte de agua dulce proveniente del río Valdivia.

Escenario 2: 27 de diciembre de 1990.

Como se mencionó el motivo de escoger este escenario es para calibrar el efecto de la marea y de la salinidad sobre las velocidades en Niebla. La figura 33, muestra la marea especificada en el borde abierto que es una marea semidiurna. En este borde se especifica además una salinidad de 35 psu. El tiempo total de modelación es de 48 horas pero se muestran las últimas 29 horas que es donde se realizan las comparaciones con los datos de terreno.

En la figura 34 se compara la altura de marea medida en terreno en esa fecha y la obtenida por el modelo hidrodinámico, se aprecia una buena correlación entre los resultados. Las figuras 35 y 36 comparan las velocidades medidas en superficie y a media profundidad con las entregadas por el modelo, también existe una buena correlación entre los resultados. En las figuras 37 y 38 se compara la salinidad medida en terreno y la entregada por el modelo en superficie y a media profundidad. En ambos casos el modelo hidrodinámico es bastante representativo de lo que ocurre en la realidad. Esto tiene gran importancia para entender el comportamiento del sistema de ríos y de la Bahía de Corral. La figura 39, muestra el efecto de marea en el sector de Niebla sobre la velocidad y la salinidad, a menor altura de marea el ingreso de agua salina es menor y la velocidad disminuye. Aquí hay que considerar que el caudal de los ríos es bajo. La figura 40, entrega el perfil de salinidad en Niebla, mostrando que en pleamar el perfil es parejo en la columna de agua, pero en bajamar hay un aporte de agua dulce proveniente del río Valdivia, que se acentúa lógicamente en superficie. En la figura 41, las velocidades en bajamar son mayores debido al aporte en agua dulce del río Valdivia. En la figura 42, hay un ingreso de agua salobre por superficie en el sector de Guacamayo, que se incrementa con el aumento de la altura de marea. Las velocidades siguen el mismo patrón que en el escenario de agosto, esto es el máximo de velocidad se logra dos horas antes de la pleamar y dos horas antes de la bajamar. Las figuras 43 y 44 entregan los

perfiles de salinidad y velocidad en pleamar y bajamar en Guacamayo. En el caso de la salinidad ingresan aguas con una salinidad de 2 psu, y la velocidad es mayor en vaciante, pero la salinidad baja hasta 0.5 psu. La figura 45, muestra la onda de marea, velocidad y salinidad en el sector del Puente del río Cruces, se aprecia un ingreso de la salinidad pero que no supera un psu. En la figura 46 la salinidad no es mayor a 0.6 psu como también lo muestra la figura 47, en el caso de llenante y baja a cero en vaciante. La figura 48, muestra que en Chumpullo la onda de marea afecta la dirección de las velocidades, producto de un caudal bajo del río Calle Calle y la salinidad es cero. En la figura 49, se muestran la altura de marea y la velocidad en superficie en el sector de Chorocamayo. Esta última, es mayor con el incremento de la marea y los máximos y mínimos se logran horas antes de la pleamar y bajamar respectivamente. Lo mismo ocurre en San Luis (figura 50), pero la magnitud de la velocidad es muy pequeña, debido al roce que se produce entre la masa de agua y el fondo del estuario del río Cruces. La figura 51, muestra el avance de la onda de marea por todo el sistema de ríos. En esta figura se confirma el desfase entre la altura de marea entre los distintos puntos específicamente entre Niebla y San Luis. Las figuras 52 y 53 muestran la amplitud de marea en bajamar y pleamar en Niebla. Lo mismo que en el caso anterior el gradiente de superficie libre es más pronunciado o es mayor entre Chumpullo y Niebla que entre San Luis y Niebla. Las figuras 54 y 55 muestran el ingreso de agua salada al interior de los ríos Valdivia, Calle Calle y Cruces, pero en estos últimos con niveles muy bajos de salinidad. En el caso del Cruces no pasa más allá de Punto Blanco. Las figuras 56 y 57 entregan las velocidades en superficie para bajamar y pleamar en Niebla. Se puede apreciar que las velocidades en bajamar a la altura de San Luis son muy bajas lo que disminuye la capacidad de transporte en esta zona desde San Luis hacia el mar.

Al comparar las mediciones realizadas con los datos obtenidos por el modelo hidrodinámico, se puede concluir que este representa con un buen nivel de precisión la hidrodinámica y el transporte de agua salina en los ríos Valdivia-Cruces- Calle Calle y en bahía Corraí. En ambos casos, la onda de marea

ingresa hasta San Luis por el río Cruces, pero la salinidad no avanza más allá de Punto Blanco frente a Isla Teja. En el caso del Calle Calle, la salinidad no se detecta más allá de Collico. Respecto al avance de la onda de marea hay un desfase de un par de horas entre un máximo en Niebla y CEAM en Isla Teja pero entre Niebla y San Luis el desfase puede llegar a cuatro horas. Lo mismo sucede para los mínimos. Desde Pichal Viejo a San Luis en el río Cruces, las velocidades del agua son bajas, lo cual implica que el transporte de sustancias en la columna de agua es lento.

d) Modelación para la determinación del mayor ingreso de aguas salinas en los estuarios de los ríos Cruces y Calle Calle.

Para poder determinar hasta donde ingresa el agua de mar en los ríos Cruces y Calle Calle, se modelaron tres escenarios, que complementan los dos ya expuestos en la calibración del modelo.

Escenario 3: El mismo Escenario 1, pero con un caudal en el río Calle Calle de  $156 \text{ m}^3/\text{s}$  y en el río Cruces de  $37 \text{ m}^3/\text{s}$ . Marea semidiurna en Cuadratura.

La figura 58, muestra el avance de la onda de marea en el sistema de ríos. El desfase entre un máximo en Niebla y Punto blanco en el Cruces es de aproximadamente dos horas, similar al existente entre Niebla y CEAM en el Calle Calle. La figura 59, muestra el ingreso de salinidad por fondo, obteniéndose los mayores valores de salinidad cuando se tienen los máximos de marea en el lugar. En este caso, se detecta salinidad en CEAM por el Calle Calle pero no en Punto Blanco en el Cruces. La figura 60, muestra un desfase cercano a las dos horas entre los máximos y mínimos de la altura de marea y la velocidad en cada uno de los puntos.

Al comparar este escenario con el escenario 1, se puede ver que una disminución en el caudal de los ríos genera un mayor ingreso de agua salobre hacia los ríos Calle Calle y comienzo del Cruces.

Escenario 4: 25 de septiembre de 1991. Caudal en el río Calle Calle de  $720 \text{ m}^3/\text{s}$  y en el río Cruces de  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ . Marea semidiurna en Sicigia.

La figura 61, muestra la onda de marea especificada en el borde abierto del modelo. En la figura 62, hay un desfase de aproximadamente cuatro horas entre la pleamar en Niebla y la pleamar en San Luis. Lo mismo ocurre con la bajamar. La figura 63, muestra que el agua salobre no ingresa más allá de Guacamayo debido al incremento del caudal de los ríos cruces y Calle Calle. En la figura 64 se ve un incremento en las velocidades de fondo sobre todo en vaciante producto del incremento de los caudales de los ríos.

En este caso se confirma, que un incremento en los caudales de los ríos especialmente del Calle Calle implica una disminución significativa del ingreso de aguas salobres al interior del río Valdivia siendo su límite el sector de Guacamayo.

Escenario 5: Caudal en el río Calle Calle de  $216 \text{ m}^3/\text{s}$  y en el río Cruces de  $24 \text{ m}^3/\text{s}$ . Marea con dos altas de 1.6 metros de altura.

Este escenario, es el más desfavorable y se puede presentar en verano. La figura 65, muestra el avance de la onda de marea en el sistema de ríos generándose un desfase de aproximadamente 4 horas entre Niebla y San Luis. En la figura 66, la salinidad es perceptible en Punto Blanco en el río Cruces y además alcanza Collico en el Calle Calle. Un detalle de la figura 66 se muestra en la figura 67. En punto Blanco la salinidad en fondo alcanza un valor menor a 0.2 psu. La figura 68, muestra el campo de velocidades en distintos sectores. Se aprecia una disminución importante en la velocidad de fondo entre Niebla y los demás puntos.

De los escenarios anteriores se puede concluir que la marea es un juego un papel importante en la hidrodinámica de los estuarios de los tres ríos, pero por otra parte esta se encuentra moderada por los caudales de los ríos Calle Calle y

Cruces, especialmente del primero. Es decir, según los resultados podemos apreciar que un caudal alto en el Calle Calle implica un menor ingreso de aguas salobres siendo su límite el sector de Guacamayo, si se disminuye el caudal a una condición de verano con marea alta, las aguas salobres pueden llegar hasta Collico, en el Calle Calle y hasta Punto Blanco en el Cruces.

#### e) Cálculo del transporte de sustancias en los ríos Cruces y Calle Calle.

Para modelar el transporte de sustancias en los ríos Cruces y Calle Calle se procedió a derramar material con una densidad similar a la del agua y a simular el mismo escenario 6, es decir dos mareas altas y caudal bajo, pero considerando un tiempo de modelación de 70 horas.

Las figuras 69 y 70, muestran la modelación de los tres derrames 13 horas y 40 horas después de producidos. Se aprecia una mayor difusividad en el río Cruces que en el río Calle Calle, además de un menor transporte en dirección al mar en el caso del Cruces. Llama la atención que el material derramado en el Calle Calle ingresa vía canal Cau Cau al estuario del río Cruces además de ser transportado en dirección al mar. El retardo del transporte concuerda con lo calculado respecto a la salinidad (figura 67). En el caso del río Cruces el desfase de las mareas entre Niebla y San Luis, puede estar generando una especie de tapón en el sector de Chorocamayo que no permite que la sustancia derramada sea transportada en menor tiempo al mar, toda vez que cuando el río Valdivia comienza a llenar el río Cruces en la zona del Santuario está todavía en vaciante.

#### Conclusiones

1. La marea es un forzante importante en la hidrodinámica del sistema estuarial de los ríos Valdivia- Cruces – Calle Calle. Pero esta es modulada por el caudal de los ríos Calle Calle y Cruces, especialmente el

- primero. Es decir, a mayor caudal menor ingreso de aguas salobres a los estuarios.
2. La onda de marea presenta un desfase de aproximadamente dos horas entre Niebla y CEAM en Isla Teja y de aproximadamente cuatro horas entre Niebla y San Luis del Alba.
  3. En el caso del estuario del río Cruces el agua salobre no ingresa más allá de Punto Blanco, al considerar un caudal bajo y una marea alta.
  4. El tiempo de retención para una sustancia (con densidad cercana a la del agua) derramada en el río Cruces excede las 48 horas debido probablemente al desfase de mareas entre Niebla y San Luis y a las bajas velocidades existentes en la zona donde está el santuario. Esto significa que la zona del Santuario es una zona donde el material que ingresa puede mantenerse por meses y en el caso del sedimento puede sedimentar sobre todo en la zona cercana a San Luis del Alba (el transporte de sedimento no está considerado en el estudio).
  5. En llenante, las velocidades en el sector de San Luis son bajas, por lo cual principalmente la onda de marea frena la corriente que viene del Cruces y va en dirección al mar.
- a) Hasta la altura de Collico, el río Calle Calle fluye principalmente hacia el mar. En la zona de Collico, la onda de marea no cambia el sentido de las corrientes del río Calle Calle pero si disminuye su velocidad.
  - b) Entre Isla Teja y Collico las corrientes del río Calle Calle se ven afectadas por la onda de marea pues el sentido de las corrientes cambia, pero no hay ingreso de aguas salobres en ese sector.
  - c) La onda de marea modula el comportamiento de las corrientes de los ríos Valdivia y Cruces, siendo mucho mas importante en el segundo.
  - d) La estratificación de la columna de agua en el curso del río Valdivia y en el estuario de este hace que las velocidades en la boca del río sean altas (mayores a 1 m/s) generando una capa superficial de agua dulce en el estuario. Lo anterior es característico en este tipo de estuarios (Pickens et al. 1992). Como el río Cruces está influenciado por la onda de marea al menos hasta el sector del Fuerte San Luis de Alba, el tiempo de retención es mayor que en el caso del estuario valdivia – Calle-Calle.

### Referencias

Frick, W.E., Roberts, J.W., Davis, L.R., Keyes, J., Baumgartner, D.J., George, K.P. 2001. Dilution Models for Effluent Discharges, 4<sup>th</sup> Edition (Visual Plumes). Environmental Research Division, NERLD, ORD. U.S. Environmental Protection Agency.

Paul, J. and W. Lick. 1985. Numerical Model for Tridimensional Variable Density Hydrodynamic Flows. US EPA Report. Environmental Research Laboratory Duluth, Minnesota.

Pickens, K., Carro, M.E., Chen, J.L., and Lick, W. 1992. Sediment Transport in a Stratified Estuary. Numerical Methods in Engineering and Applied Sciences. CIMNE, Barcelona. Vol. II: 663- 671.

Pino, M. Structural Estuaries. 1995. In G. PERILLO (Ed.) Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Elsevier. 227-239.

Pino, M., Perillo, G.M. & Santamarina, P. 1994. Residual fluxes in a cross section in the Valdivia river estuary, Chile. Estuary, Coastal and Shelf Sciences 38, 491-505.



ANEXO  
MODELO HIDRODINÁMICO

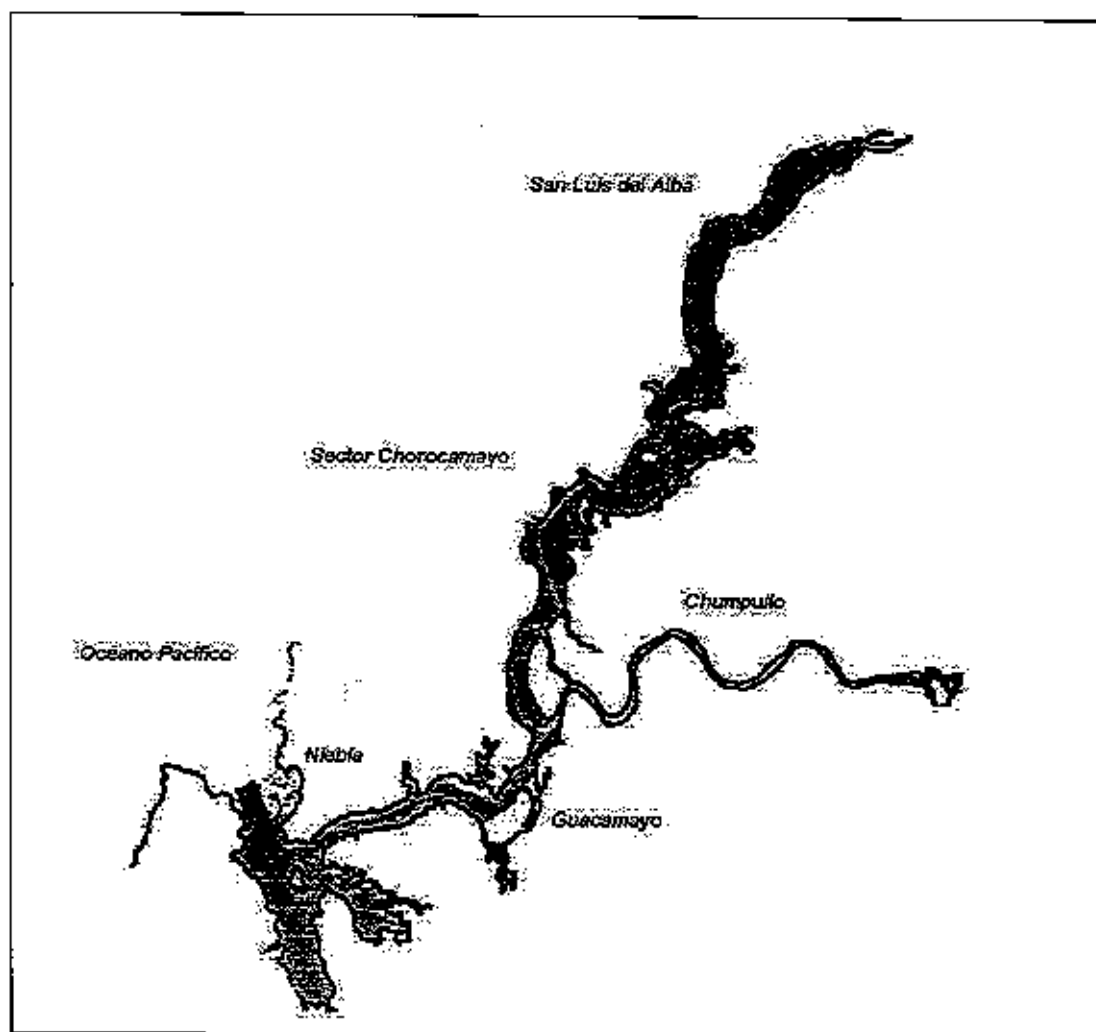


Figura 1. Mapa de la zona modelada que comprende los ríos Valdivia, Calle Calle y Cruces. Los colores indican la profundidad.

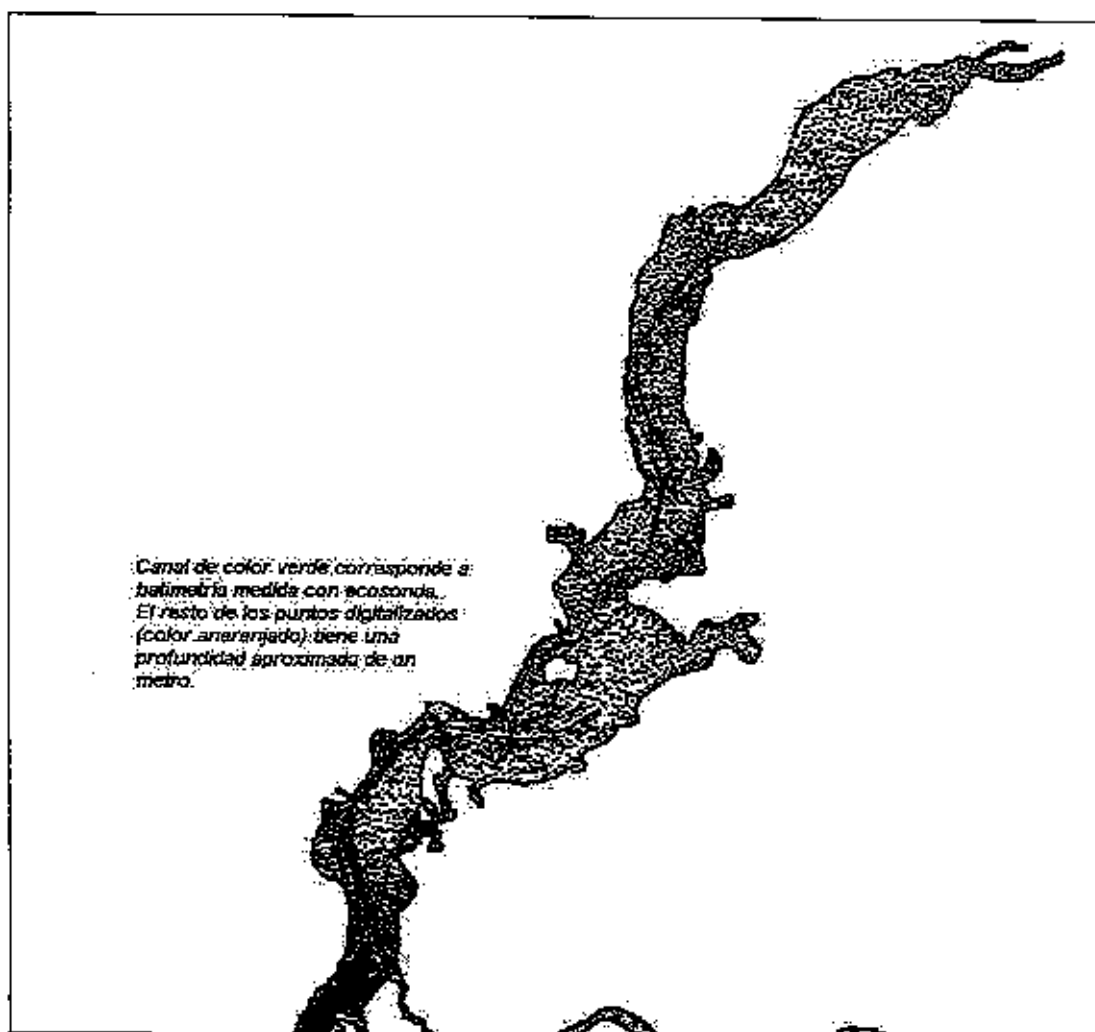


Figura 2. Mapa con datos digitalizados de la batimetría del río Cruces. La batimetría del canal de navegación es uno de los resultados del estudio.

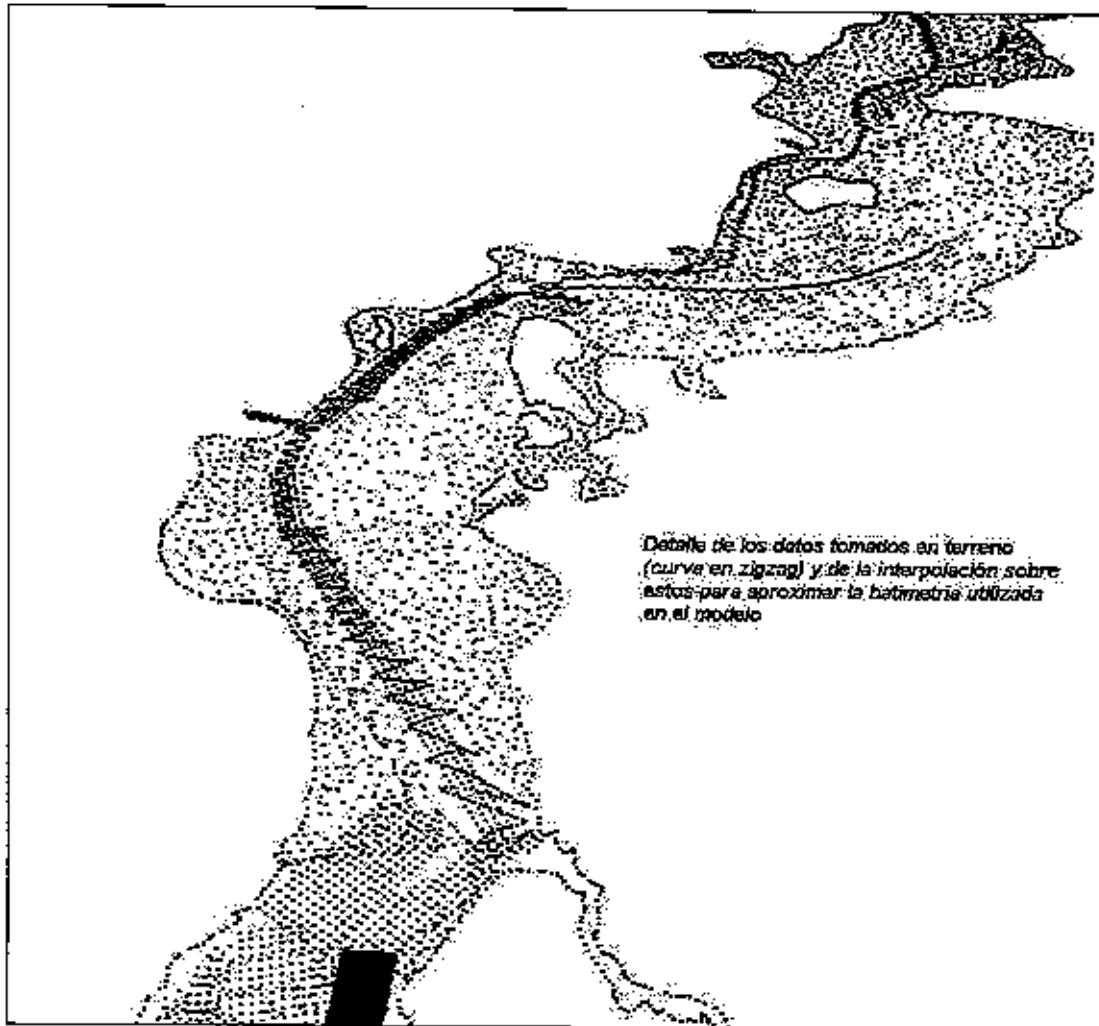


Figura 3. La figura muestra el detalle de los datos tomados en terreno (canal de navegación) y posteriormente digitalizados. Sobre estos datos se calculó la batimetría del modelo hidrodinámico.

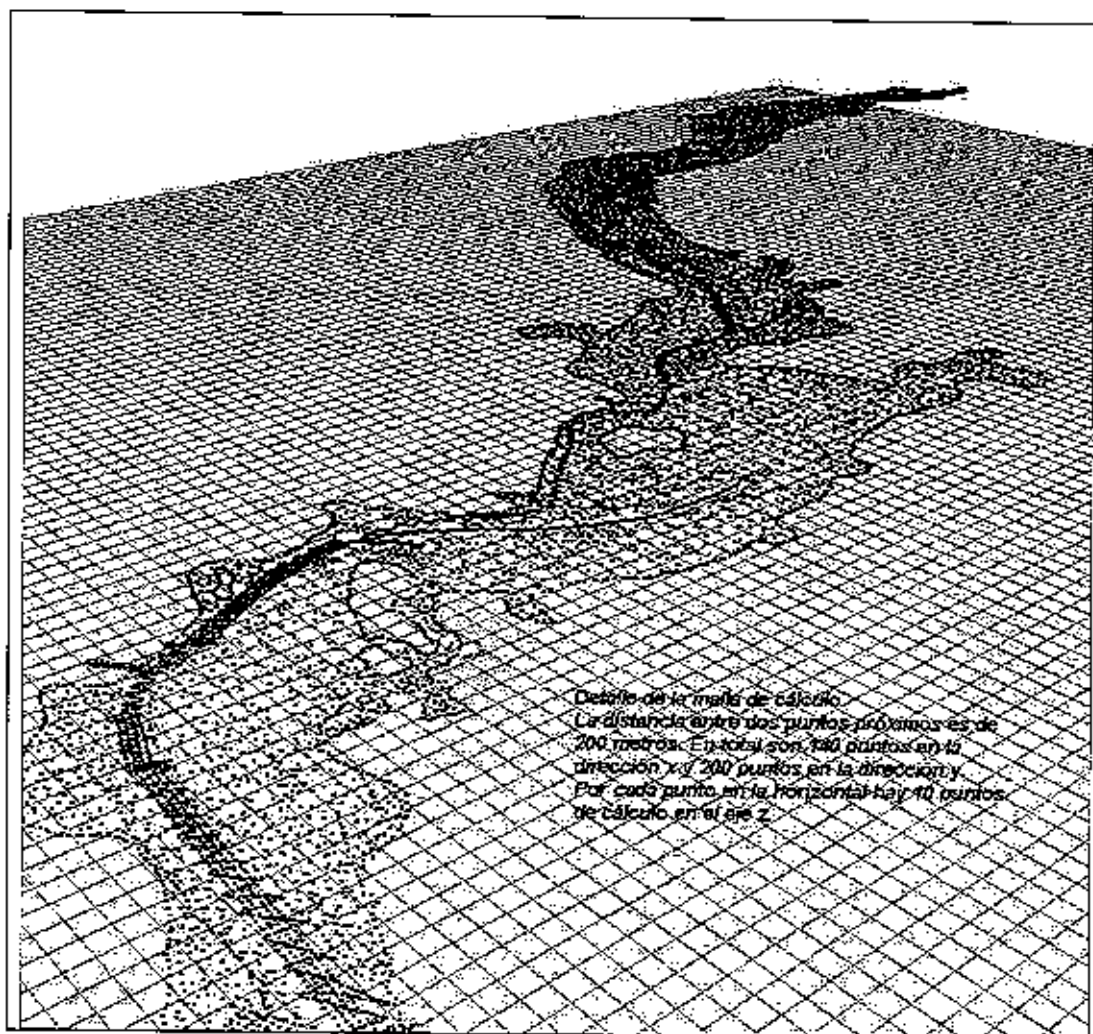


Figura 4. Detalle de la malla de cálculo utilizada para el modelo hidrodinámico.

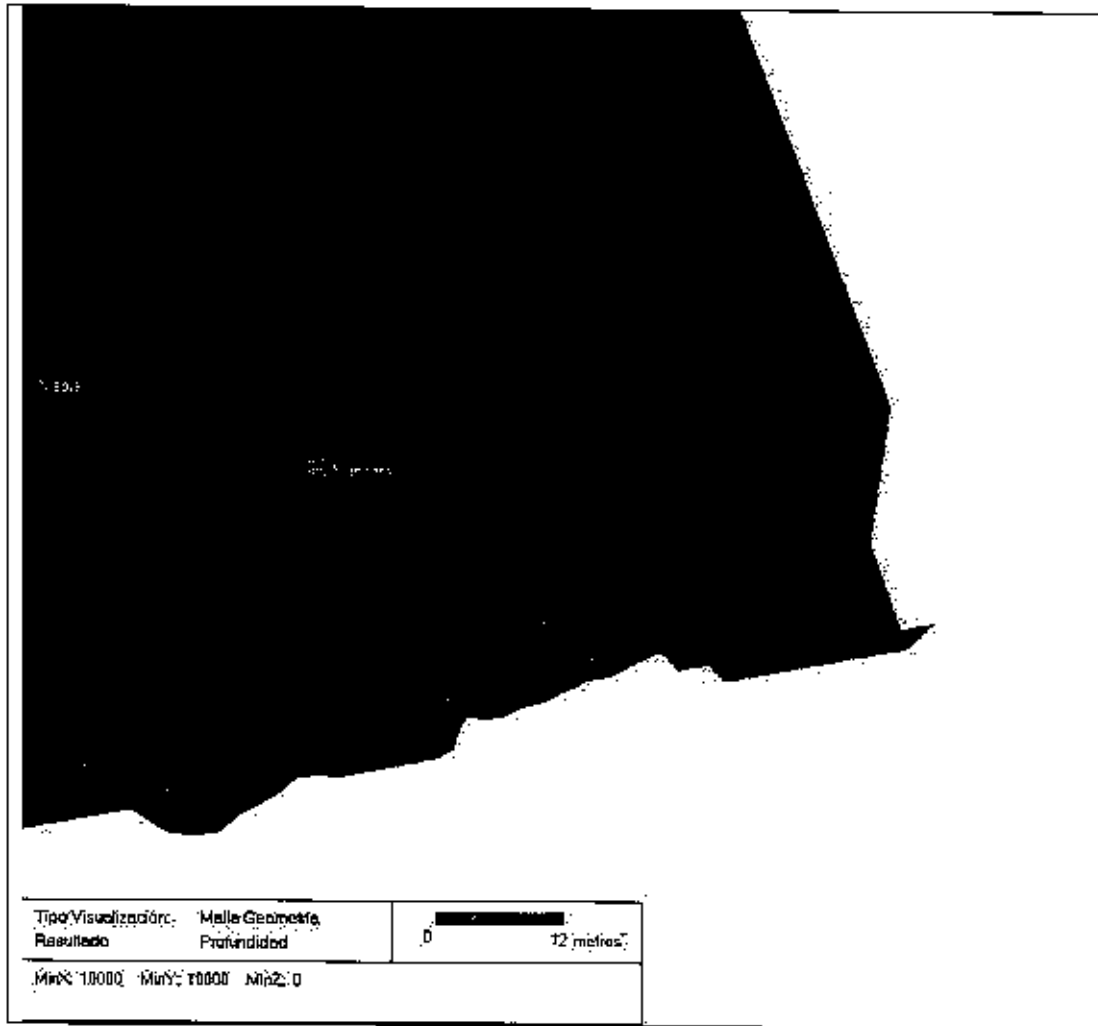


Figura 5. Batimetría en la zona de Bahía San Juan y en la boca del río Valdivia.

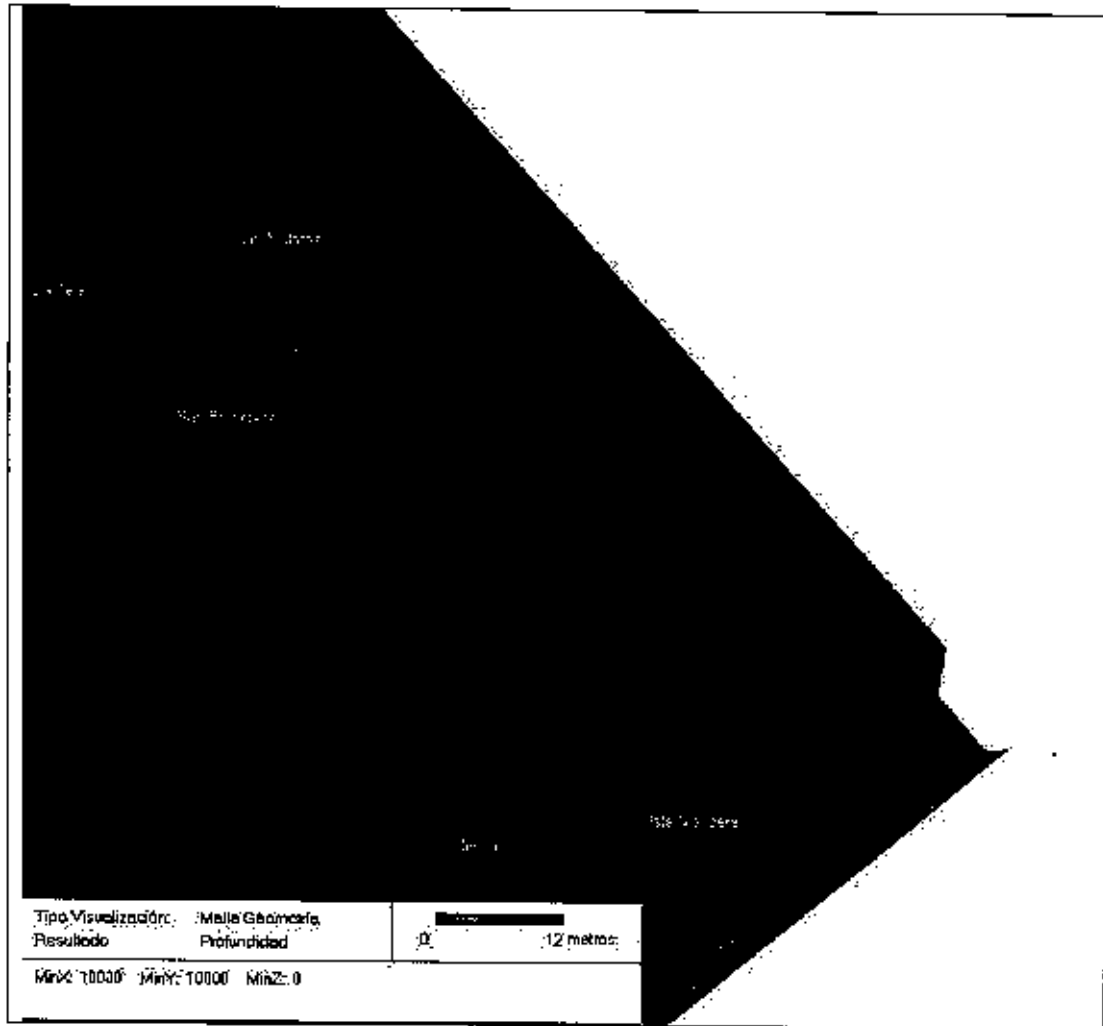


Figura 6. Batimetría de la zona estuarial del río Valdivia.

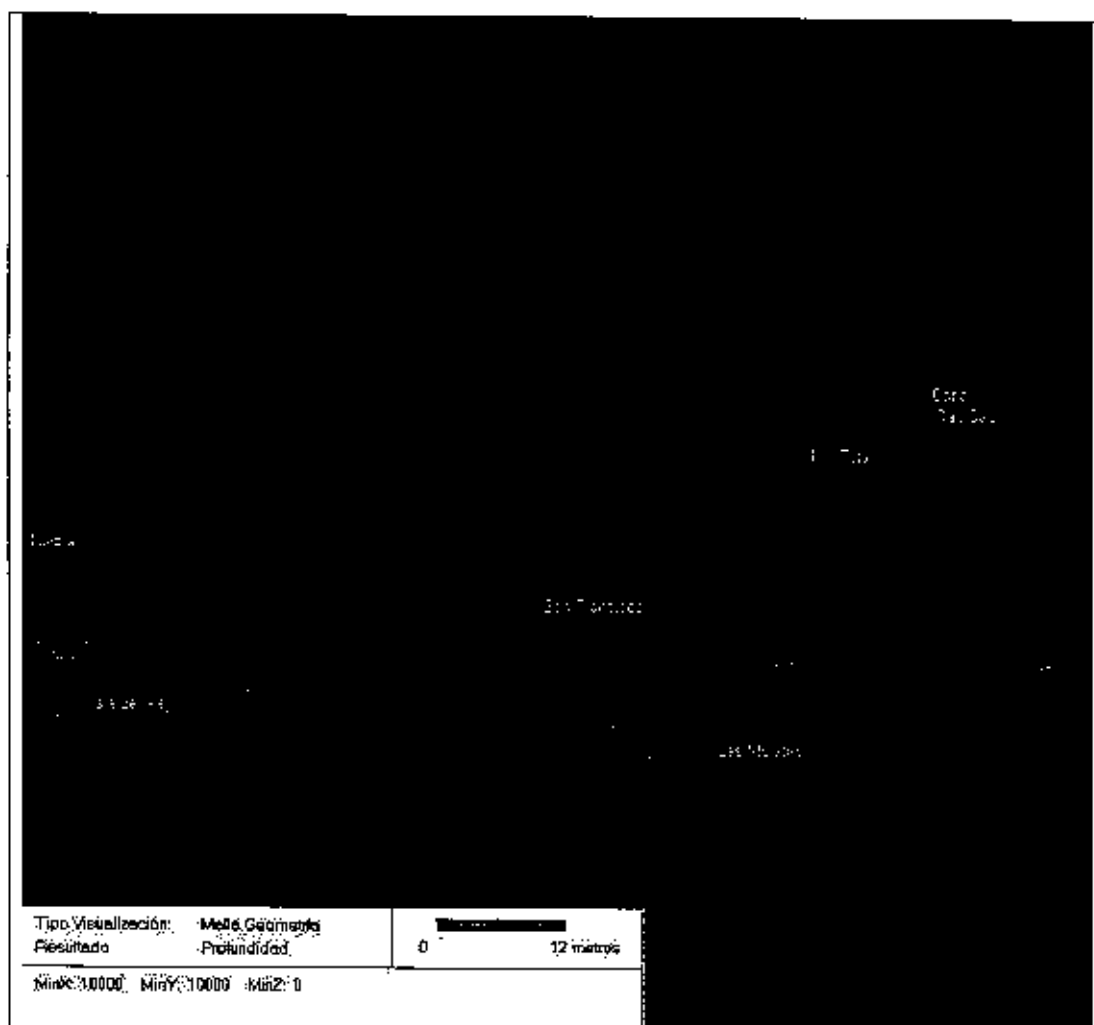


Figura 7. Batimetría de la zona estuarial de los ríos Valdivia, Calle Calle y Cruces. Se puede notar que la boca del río Cruces tiene una profundidad cercana a los 12 metros, en cambio en el río Calle Calle la profundidad es cercana a los 3 metros.



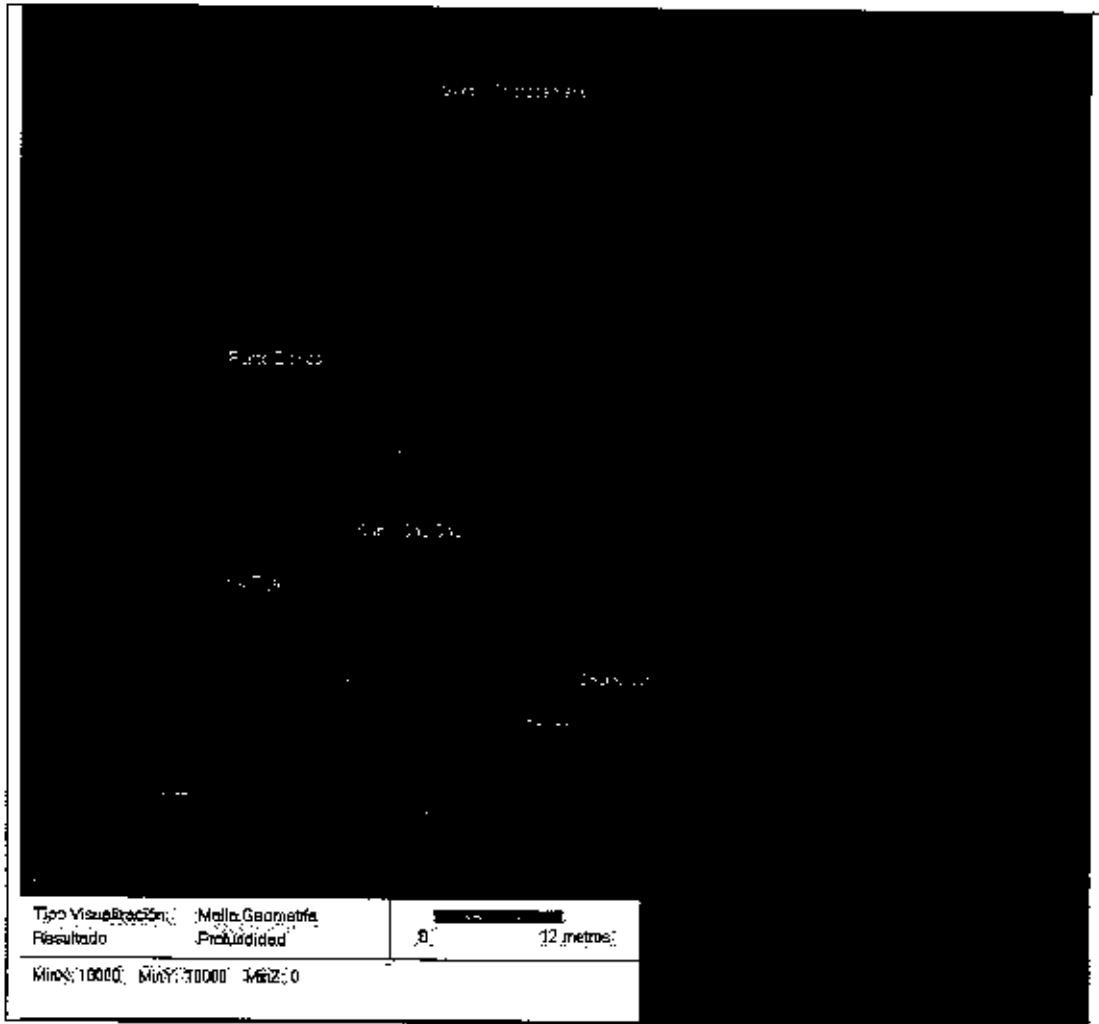


Figura 8. Batimetría de los ríos Calle Calle y Cruces.

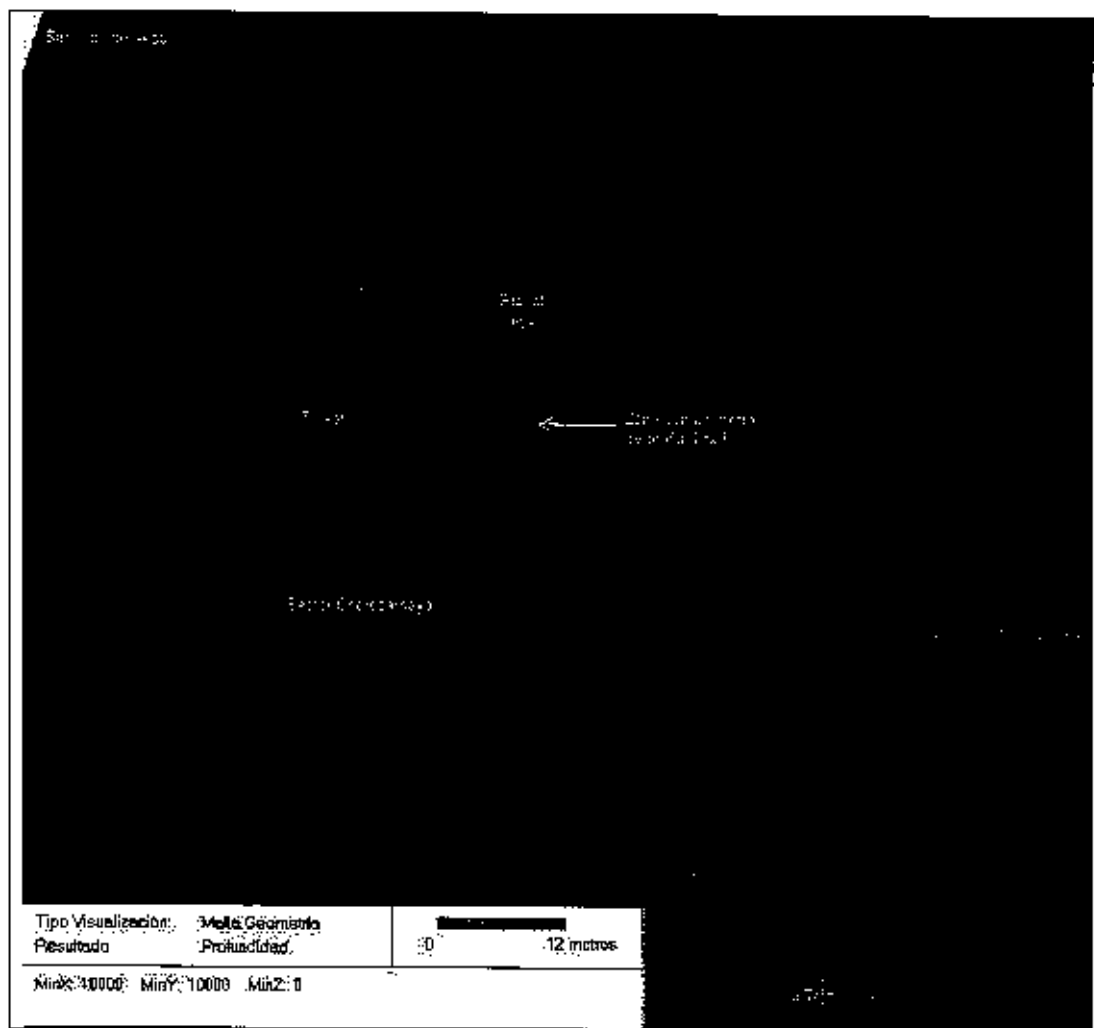


Figura 9. Batimetría del río Cruces en el sector del Santuario de la Naturaleza. Se puede notar la zona del canal de navegación en el resto del Santuario las profundidades son cercanas al metro.

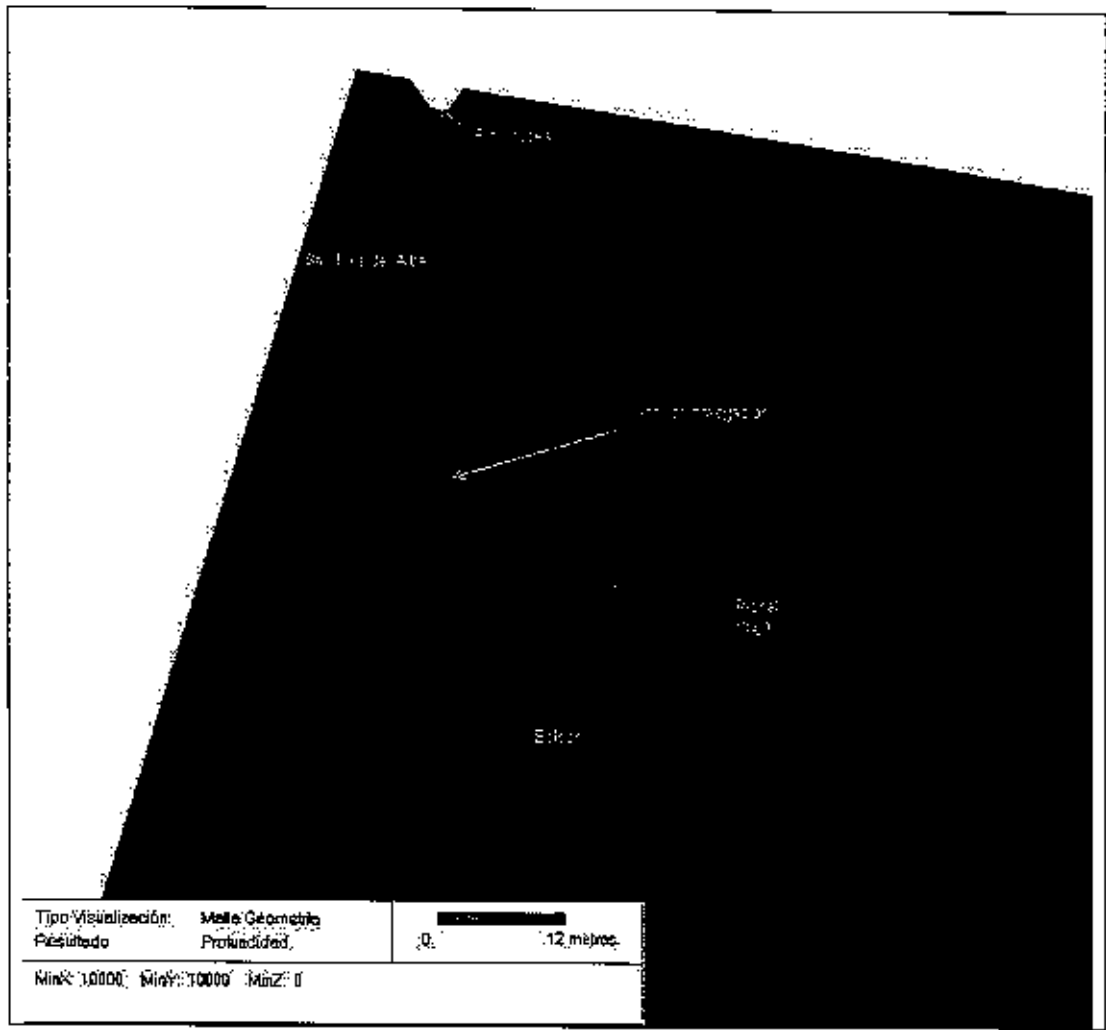


Figura 10. Batimetría del Santuario de la Naturaleza Carlos Andwarter. La mayor extensión son zonas con una profundidad cercana al metro. Para efectos gráficos la batimetría está amplificada.

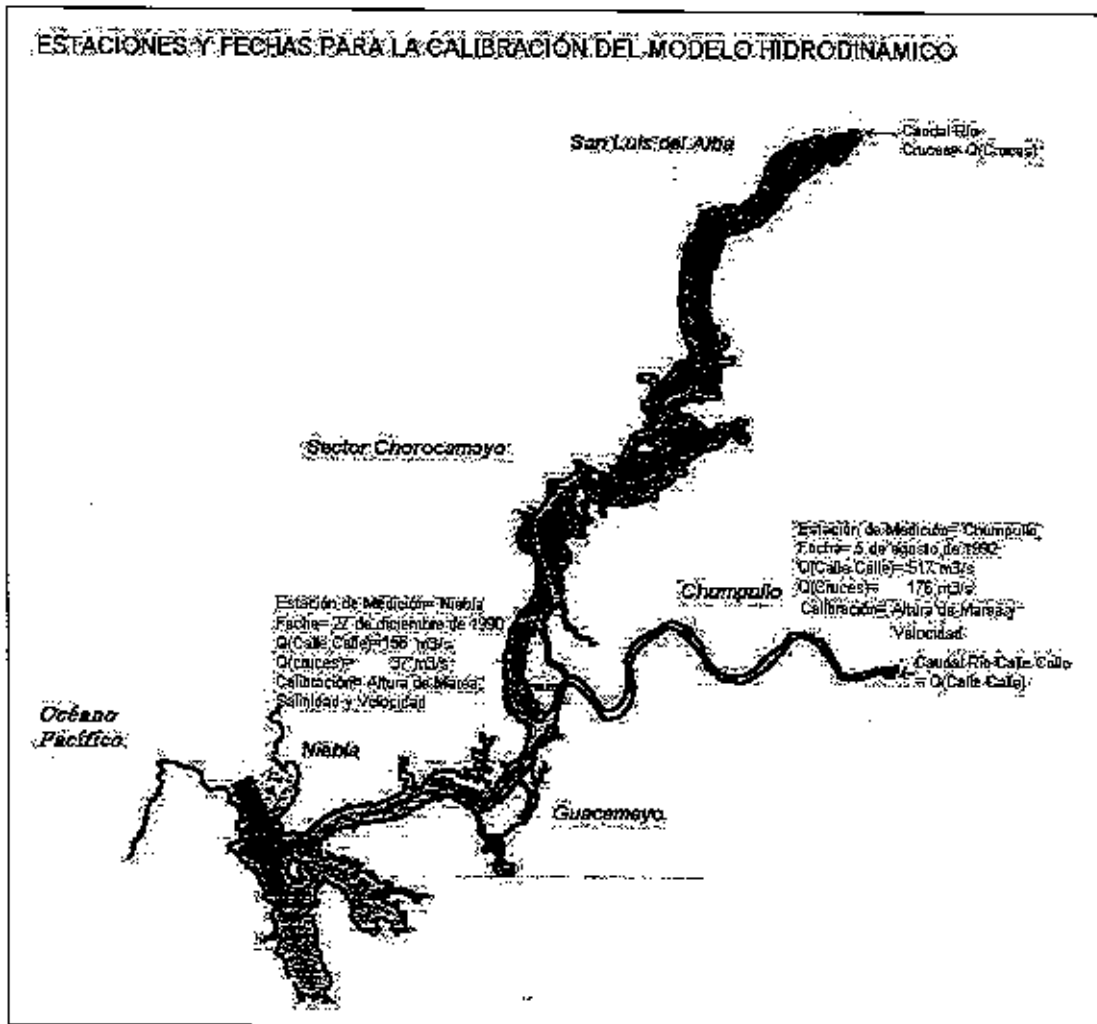


Figura 11. En las estaciones que se muestran en la figura se han realizado campañas de medición. Estos datos fueron utilizados para calibrar el modelo y verificar el comportamiento del sistema de ríos. Las estaciones para calibrar la altura de marea, velocidad y salinidad son las de Chumpullo y Niebla.

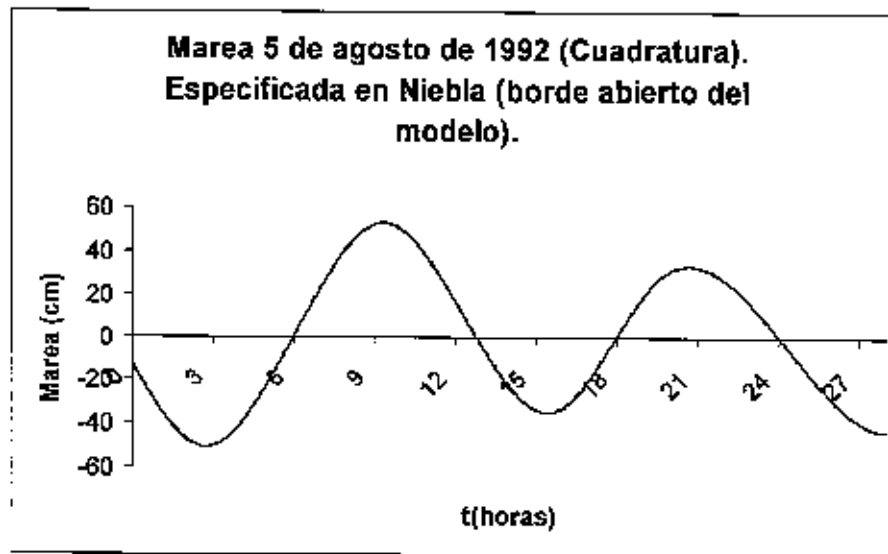


Figura 12. Marea especificada en el borde abierto del modelo, ubicado en el sector de Niebla. Los datos son comparados con las mediciones obtenidas en Chumpullo en el año 1992.

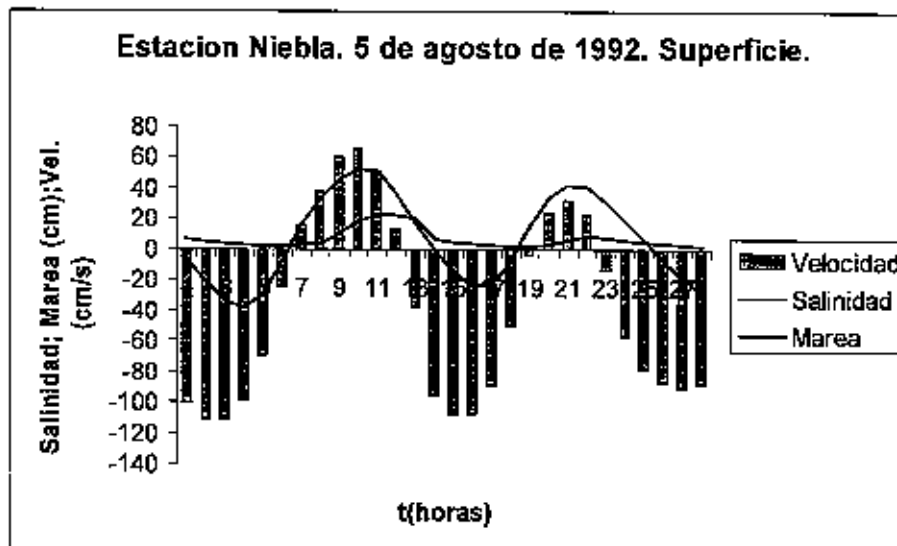


Figura 13. Marea, salinidad y velocidad de la corriente en la superficie del río Valdivia en el sector de Niebla (figura 11), obtenida por el modelo hidrodinámico. Las velocidades positivas indican que las aguas se dirigen río arriba y negativas que se dirigen al mar.

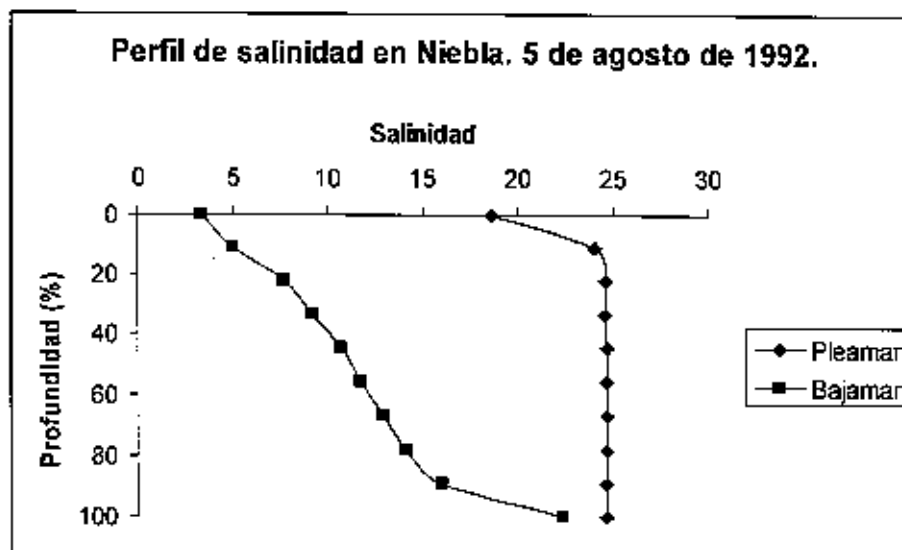


Figura 14. Perfiles de salinidad en el sector de Niebla para Pleamar y Bajamar en Niebla.

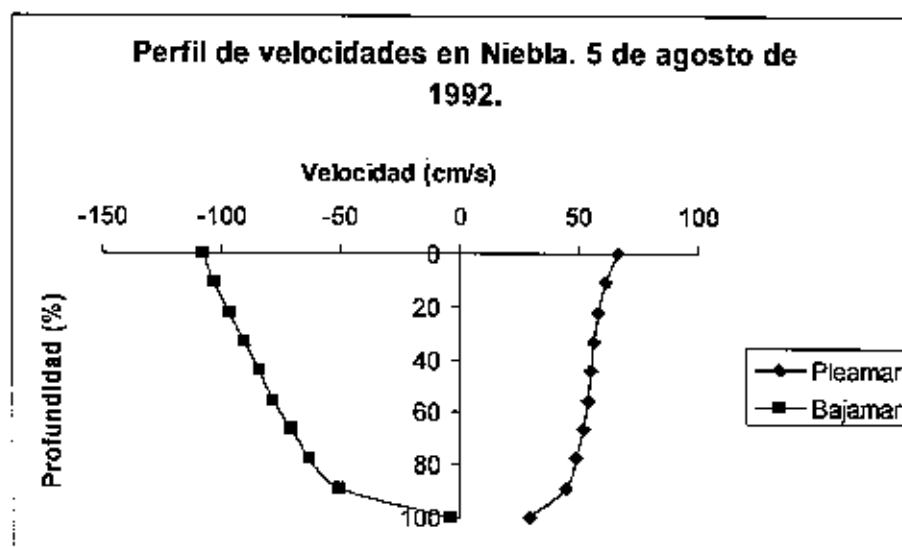


Figura 15. Perfiles de velocidad en el sector de Niebla para Pleamar y Bajamar en Niebla.

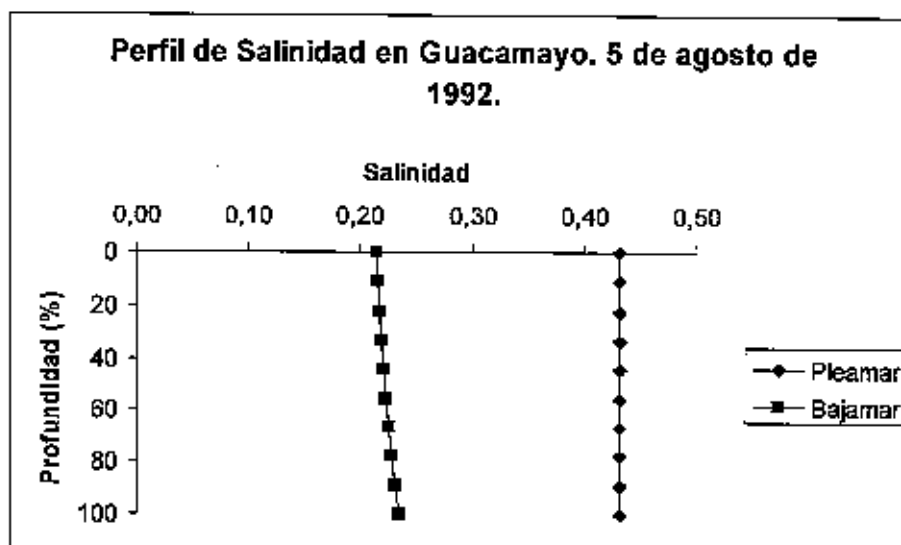


Figura 16. Perfiles de salinidad en el sector de Guacamayo para Pleamar y Bajamar en Niebla.

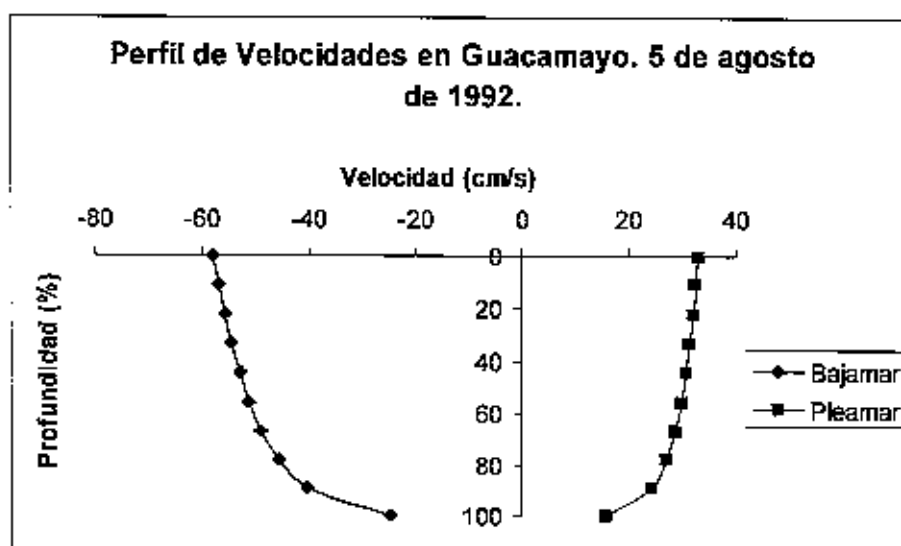


Figura 17. Perfil de velocidad en el sector de Guacamayo para Pleamar y Bajamar en Niebla.

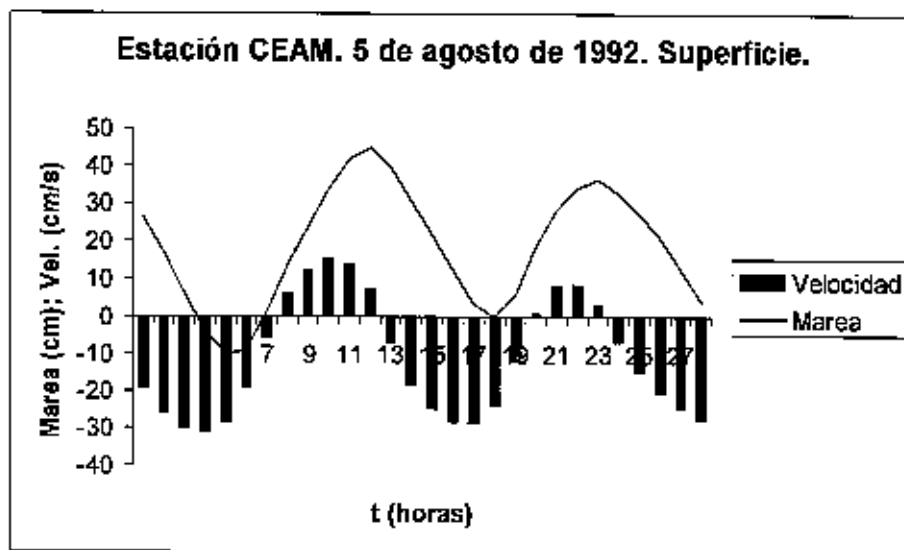


Figura 18. Marea y velocidad en superficie en estación CEAM ubicada en el río Calle Calle antes de la confluencia con el canal Cau Cau.

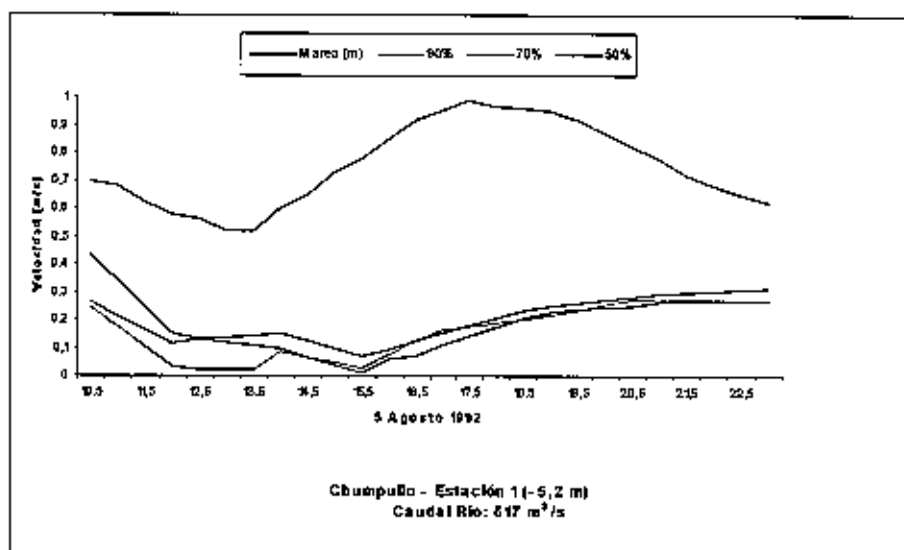


Figura 19. Medición tomada el 5 de agosto de 1992. Esta medición es utilizada para calibrar el modelo. Las velocidades positivas indican que las aguas van hacia el mar y negativas que se dirigen río arriba.



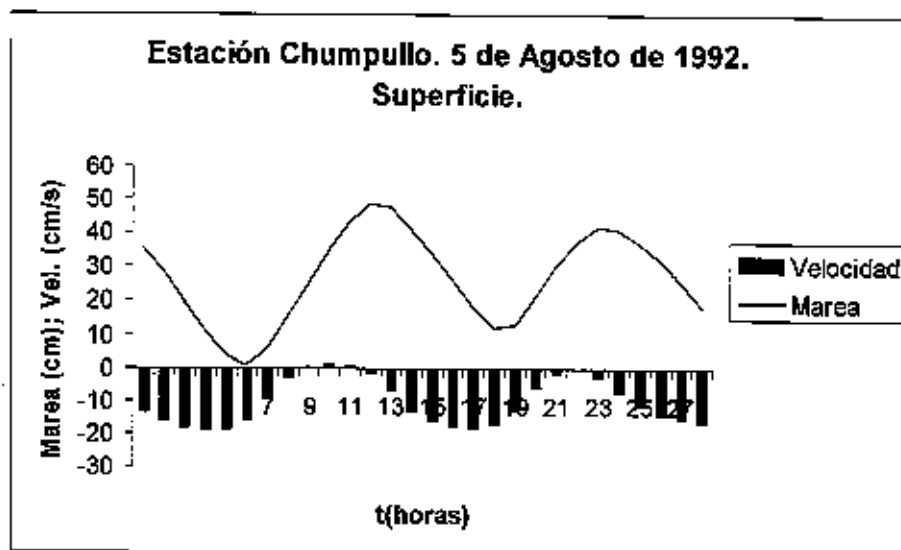


Figura 20. Salida del modelo en sector de Chumpullo. La velocidad negativa indica que la corriente se dirige hacia el mar, los signos están cambiados respecto a las mediciones. Las últimas 12 horas del gráfico corresponden a las 12 horas de la figura 19.

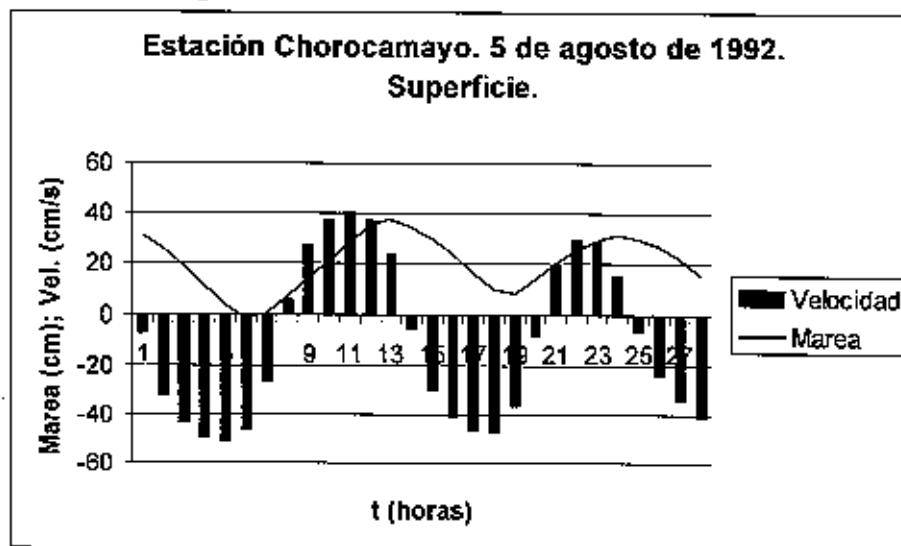


Figura 21. Salida del modelo en sector de Chorocamayo. Marea y velocidad en superficie.

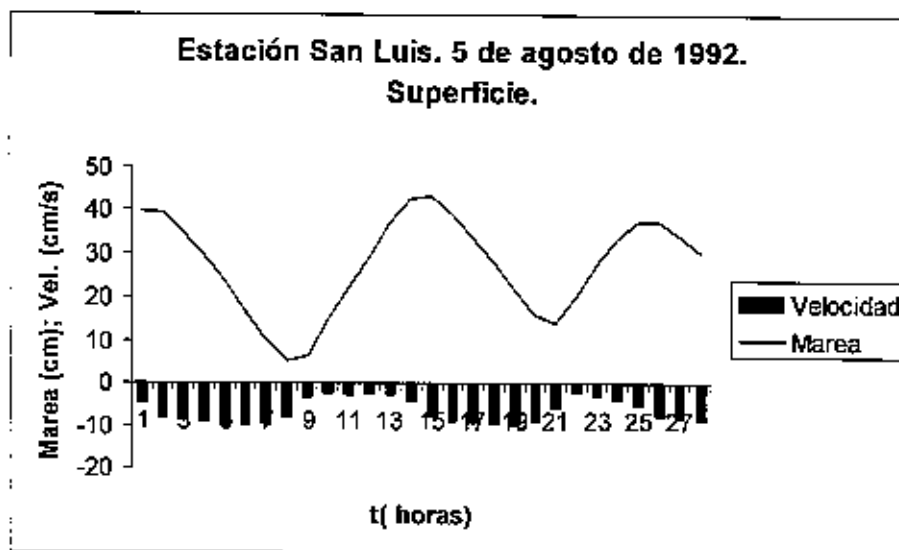


Figura 22. Marea y velocidades en sector de San Luis del Alba en el río Cruces. La velocidad negativa indica que las aguas del río se dirigen hacia el mar. Cuando la marea sube las velocidades disminuyen y cuando la marea baja las velocidades aumentan.

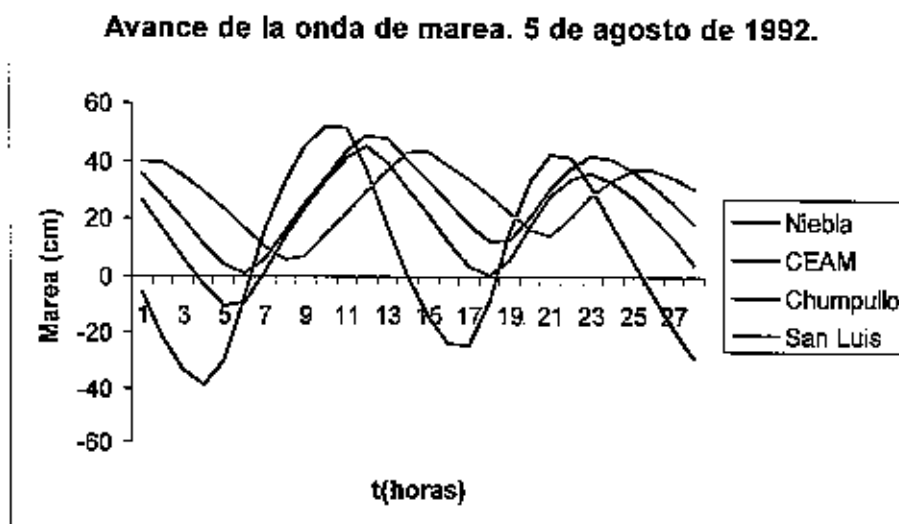


Figura 23. Gráfico que muestra el avance de la marea a lo largo de los ríos calculado por el modelo. Se aprecia un desfase entre la Pleamarea en Niebla y CEAM (en el río Calle Calle) de aproximadamente 2 horas. En cambio entre CEAM y San Luis el desfase es de aproximadamente 3 horas.

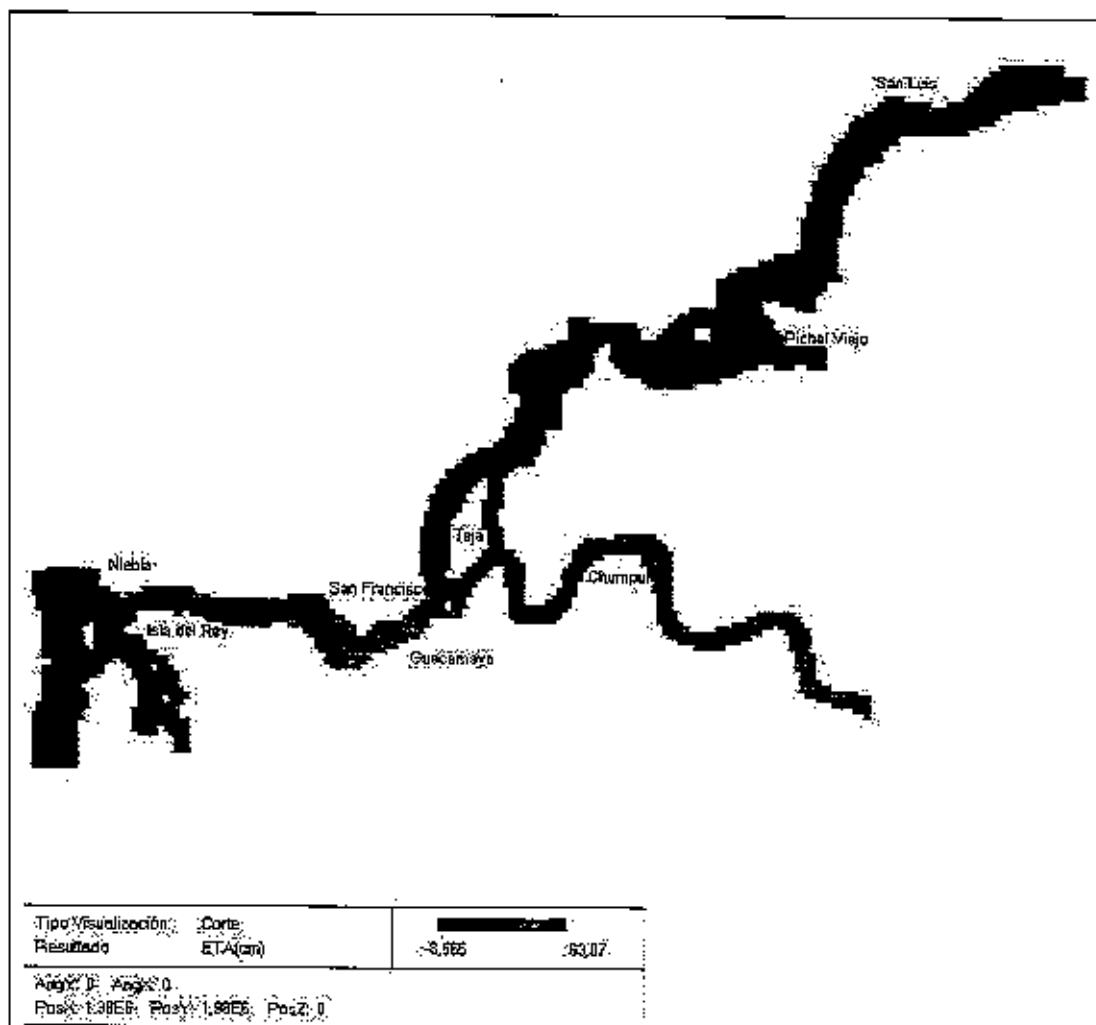


Figura 24. Amplitud de Marea con Pleamar en Niebla.

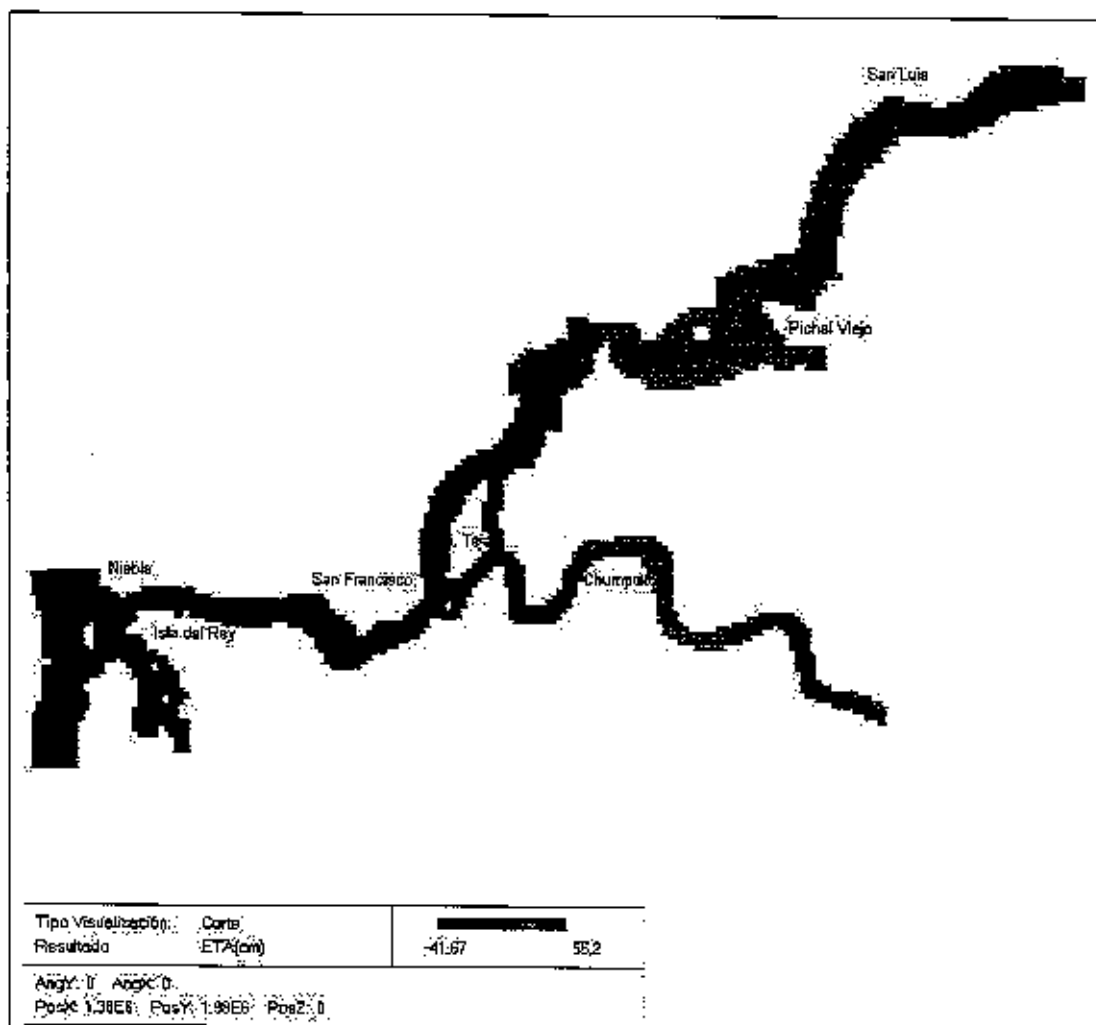


Figura 25. Amplitud de Marea con Bajamar en Niebla.