

PIRQUE, mayo 14 de 2010

AT: Sr. Alvaro Sapag Rajevic
Director Ejecutivo

Señores
Comisión Nacional del Medio Ambiente
Teatinos N° 254
SANTIAGO

De nuestra consideración:

Considerando que el organismo que usted dirige está sometiendo a consulta pública el anteproyecto de revisión de *"Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales D.S.90"*, esta Asociación solicita a usted considerar las siguientes observaciones y la respuesta a estas:

- En anteproyecto se incluye punto 2.2 que la presente norma no será aplicable, letra a) A las descargas de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias. Según lo anterior esta Asociación rechaza tajantemente que sea incluido este punto, ya que en forma histórica se han conectado diferentes colectores de aguas lluvias a la red de canales (cuerpo de agua receptor según punto 3.3) que administra esta Asociación en la zona sur de Santiago. Como ejemplo de estas descargas tenemos aquellas conexiones de la Autopista Central en tramo puente Río Maipo-General Velásquez, descargas que han sido monitoreadas aplicando la normativa que expone el D.S. 90, encontrando algunos elementos que contiene esta norma por sobre el límite máximo.

Cabe recordar que esta Asociación administra canales que tienen la finalidad de conducir aguas de riego para la producción de alimentos de comercialización en el mercado nacional como internacional, donde cualquier tipo de contaminación en las aguas afecta al sector.

Es necesario ser consecuente con lo que expone este anteproyecto en el Punto 1, donde con esta norma se pretende *"mejorar sustancialmente la calidad ambiental de las aguas, de manera que éstas mantengan o alcancen la condición de ambientes libres de contaminación, de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República"*.

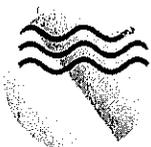
- En Tabla N° 1 del anteproyecto en referencia, se propone la modificación del límite máximo permitido para los siguientes contaminantes:
 - Cobre total: De límite máximo 1 mg/L se modifica a 2 mg/L
 - Fósforo total: De límite máximo 10 mg/L se modifica a 15 mg/L
 - Nitrógeno Kjeldahl: De límite máximo 50 mg/L se modifica a 80 mg/L



CERTIFICADO
ER-1222/2009
PY-0016/2009

Virginia Subercaseaux 5946, Recinto El Clarillo, Pirque.
Fono 8548124 – Fono Fax 8548130 – Casilla 589 San Bernardo.
www.asocanalesmaipo.cl
EMPRESA CERTIFICADA ISO 9001/2008 y NCH 2009/2004



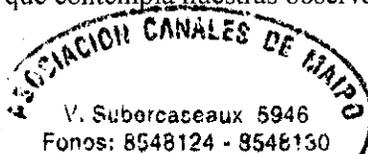


Según lo anterior solicitamos aclarar los criterios utilizados para proponer el aumento del límite máximo de estos contaminantes, considerando que en las descargas de aguas lluvias monitoreadas, el límite máximo 1 mg/L permitido para el contaminante Cobre es sobrepasado y más aun no cumple la Norma Chilena Oficial NCH1333 punto 6 "Requisitos del Agua para Riego".

Finalmente, consideramos que todos aquellos criterios que no sean compatibles con la norma mundial que recomienda la FAO para aguas de riego destinadas a la producción de alimentos, serán rechazados por esta Asociación, ya que significaría una lesión permanente a la industria agro-alimentaria de Chile.

Esperando una respuesta a esta misiva que contempla nuestras observaciones, saluda atentamente.

Rafael León Bilbao
ADMINISTRADOR GENERAL



Eduardo Araneda Escobar
INGENIERO CIVIL AGRICOLA

Felipe Recabarren Pozo
ABOGADO

RLB/EAE/FRP/jvm.
Archivo General 257/2010c

C.C.

- Sr. Gustavo Labbé Morales, Decano Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena, Avenida Cisternas 1200, La Serena.
- Sr. Luis Barrales Vega, Decano Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, Vicuña Mackenna 4860.
- Sr. Luis Antonio Lizana, Decano Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Avenida Santa Rosa 11315, La Pintana.
- Sr. Hernán Paillán Legué, Decano Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca, Avda. Lircay S/N Talca.
- Sr. Raúl Cerda González, Decano Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Vicente Méndez 595 Chillán
- Sr. Aliro Contreras Novoa, Decano Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de La Frontera, Campus Integrado Andrés Bello Montevideo S/N, Temuco.
- Sr. Ricardo Fuentes Pérez, Decano Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Independencia 641, Valdivia.
- Sr. Rodrigo Echeverría Díaz, Presidente Federación de Productores de Fruta de Chile, San Antonio 220, Oficina 301, Santiago.
- Sr. Ronald Bown F, Presidente Asociación Exportadores de Chile, AG., Cruz del Sur 133, Segundo Piso, Las Condes
- Sr. Luis Mayol Bouchon, Presidente Sociedad Nacional de Agricultura, Tenderini 187, Santiago.
- Sr. José Antonio Galilea, Ministro de Agricultura, Teatinos 40, Santiago.
- Sr. Alberto Espina Otero, Presidente Comisión Agricultura Senado Republica de Chile, Avda. Pedro Montt S/N Congreso Nacional, Valparaíso.
- Sr. Ramón Barros Montero, Presidente Comisión Cámara de Diputados, Compañía 1131, Santiago.



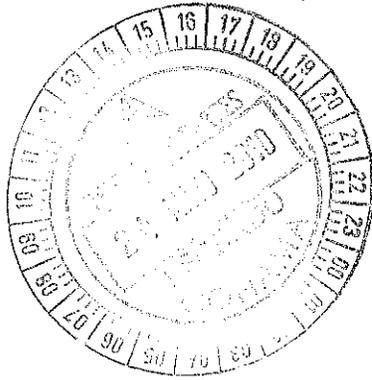
CERTIFICADO
ER-1222/2009
PY-0016/2009

Virginia Subercaseaux 5946, Recinto El Clarillo, Pirque.
Fono 8548124 – Fono Fax 8548130 – Casilla 589 San Bernardo.
www.asocanalesmaipo.cl
EMPRESA CERTIFICADA ISO 9001/2008 y NCH 2009/2004





GOBIERNO DE
CHILE
SUPERINTENDENCIA DE
SERVICIOS SANITARIOS



000050

ORD. N° 1498 /

MAT.: Da respuesta a ORD. N°
100709 de fecha 8 de marzo
de 2010.

SANTIAGO, 17 MAY 2010

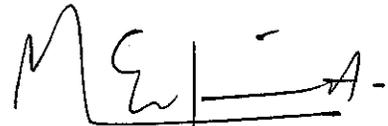
DE: SUPERINTENDENTA DE SERVICIOS SANITARIOS

A: SR. HANS WILLUMSEN ALENDE
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN
COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

1. Mediante ORD. N° 100709 citado en el antecedente, Ud. solicitó a esta Superintendencia responder a la Asociación de Productores de Abalones (APROA) respecto de cuales serán los procedimientos a seguir por todas aquellas instalaciones en operación y que actualmente son calificadas como fuentes emisoras pero que con las modificaciones planteadas en el proceso de revisión de la "Norma de emisión para la regulación de los contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, Decreto Supremo N° 90/2000", podrían no calificar como tales. Solicita además, se le informe respecto del procedimiento que se establecerá para la modificación de la frecuencia de monitoreo de los residuos líquidos generados por las fuentes emisoras existentes, en el contexto de la modificación normativa que se está analizando.
2. Al respecto, puedo señalar que sólo una vez que se encuentren aprobadas las modificaciones propuestas en el proceso de revisión de la norma de emisión pre-citada, esta Superintendencia podrá determinar las acciones necesarias para implementar los cambios realizados al D.S, N° 90/00 MINSEGPRES, ya que no resulta procedente establecer en la actualidad ningún procedimiento debido a que todavía la norma en comento, se encuentra en consulta pública.
3. Si como consecuencia de lo anterior, se debiera proceder a la modificación de las resoluciones que establecieron programas de monitoreo de la calidad de los efluentes generados por establecimientos industriales que califican como fuentes emisoras, como sería la modificación en la frecuencia de estos monitoreos, se elaborará un cronograma de trabajo con la finalidad de efectuar dichos cambios.

4. Finalmente, respecto de los casos que en la actualidad son considerados como fuentes emisoras y que con ocasión de las modificaciones efectuadas a la norma de emisión ya referida, dejarían de serlo, se informa que se realizará una evaluación caso a caso pudiendo esta Superintendencia solicitar al establecimiento industrial una nueva caracterización de sus residuos líquidos para luego, si procede, revocar su Resolución de Monitoreo.

Saluda atentamente a Ud.,



MAGALY ESPINOSA SARRIA
Superintendente de Servicios Sanitarios


GZS/ARS
DISTRIBUCION:
H:\OF-SISS\OF-239-10.doc

- Sr. Hans Willumsen Alende
Teatinos 254/258, Santiago.
- Unidad Ambiental SISS
- Oficina de Partes

Superintendencia de Servicios Sanitarios
Moneda 673, Piso 9
Código Postal: 6500 721
Teléfono: 56 - 2 - 382 4000
Fax: 56 - 2 - 382 4002 / 382 4003
Santiago de Chile
<http://www.siss.gob.cl>



GOBIERNO DE CHILE
COMISION NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

Alicia Q.

A: U. Ambiental

003852

ORD. N° 100709

ANT.: Consulta de APROA respecto al proceso de revisión del DS90.

MAT.: Solicita dar respuesta a consulta citada en antecedentes.

SANTIAGO, 08 MAR. 2010

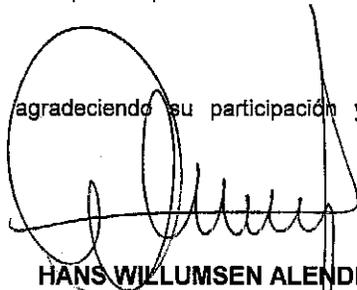
DE : HANS WILLUMSEN ALENDE
Jefe Departamento Control de la Contaminación
Comisión Nacional del Medio Ambiente

A : MAGALY ESPINOZA SARRIA
Superintendente
Superintendencia de Servicios Sanitarios

En relación con el proceso de revisión de la "Norma de emisión para la regulación de los contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales; Decreto Supremo N°90/2000", me permito solicitar a usted dar una respuesta a la consulta realizada por la Asociación de Productores de Abalones (APROA), la cual hace referencia a cuales serán los procedimientos a seguir para todas aquellas instalaciones en operación que actualmente están calificadas como fuente emisora, pero que con las modificaciones planteadas al concepto de Fuente Emisora de la norma, podrían no clasificar como tal, por un determinado parámetro. Asimismo, solicitan aclarar el procedimiento que se establecerá en la modificación de la frecuencia de monitoreo para las fuentes emisoras existentes.

Esperamos que la Superintendencia pueda dar respuesta a esta consulta prontamente, estableciendo los procedimientos que se aplicarán en estos casos planteados (Se adjunta carta de APROA).

Sin otro particular, agradeciendo su participación y cooperación, le saluda muy atentamente,



HANS WILLUMSEN ALENDE
Jefe Departamento Control de la Contaminación
Comisión Nacional del Medio Ambiente

GLS/MAH/CGC/aa

- c.c:
- Dirección Ejecutiva CONAMA
 - Archivo Departamento Control de la Contaminación, CONAMA. 625
 - Expediente Norma DS 90

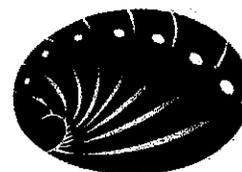
Adj: Carta APROA del 22 de febrero 2010

11.3.10

RECIBIDO	
HORA:	5 10 MAR 2010 /537
OFICINA DE PARTES SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS	



003653



APROA
ASOCIACION DE
PRODUCTORES
DE ABALONES

Santiago, 22/02/2010

Señor
Álvaro Sapag Rajevic
Director Ejecutivo
Comisión Nacional del Medio Ambiente
PRESENTE

Ref: Su carta N° 100154, del 15/01/10,
responde cartas remitidas a expediente
público Revisión DS 90 por APOOCH y
APROA

De mi consideración:

Junto con saludarle, agradecemos su carta de la referencia, donde se nos informa la aprobación de una nueva redacción final del DS N° 90, en términos de incluir en el procedimiento de calificación de fuente emisora los aportes asociadas al contenido natural del agua de captación (agua de mar), así como la frecuencia de autocontrol diferenciada para aquellas fuentes emisoras que no requieran tratamiento de sus efluentes. Tales inclusiones significarán un gran ahorro futuro en los costos de operación, haciendo más competitiva nuestra actividad de acuicultura.

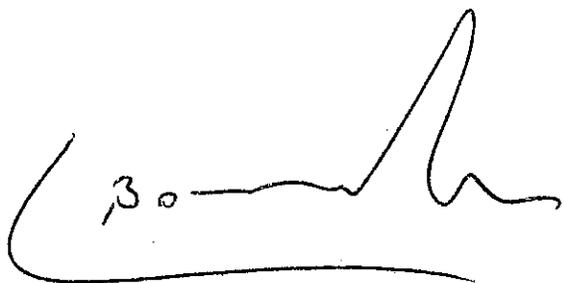
No obstante lo anterior, tal como se desprende de la redacción del DS N° 90 y el Resumen del proceso de revisión que se nos envió adjunto a la carta de la referencia, los "nuevos" criterios incluidos en el proceso de calificación de fuente emisora regirán para actividades **en proyecto**, o bien aquellas **modificaciones de actividades existentes** que sean

ingresadas al SEIA, sin quedar claro el procedimiento para aquellas instalaciones en operación que se han sometido al proceso de calificación "antiguo", calificadas según este como fuentes emisoras, y se encuentran ejecutando en la actualidad programas de monitoreo de autocontrol de altos costos.

En atención a lo anterior, agradeceremos clarificar el punto para los actuales centros que se encuentran operando, incorporando en el proceso de revisión del DS N° 90 la posibilidad de re-calificación en forma explícita, ya sea dentro de la nueva redacción o bien estableciendo un procedimiento validado por el ente fiscalizador para tal efecto, cuya entrada en vigencia sea equivalente a la de la modificación de la normativa en comento.

Finalmente, a nombre de APROA y otras asociaciones gremiales representantes de actividades de acuicultura tales como ASIPEC A.G., gravadas por los costos ya indicados, agradecemos la acogida a nuestras inquietudes y el espíritu de resolución y trabajo conjunto observado en este proceso.

Quedamos a la espera de sus comentarios. Sin otro particular, atentamente le saluda

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'C. Borda Mingo', with a long horizontal stroke underneath.

Cristóbal Borda Mingo
Presidente APROA

003355



Dirección Ejecutiva
Departamento Prevención y Control de la Contaminación
Sección Control Hídrico

TALLER PARTICIPACIÓN CIUDADANA
“Proceso de Revisión DS 90”

Región : CONAMA, Región del Maule.
Lugar : Teatro Regional del Maule
Fecha : 24 de mayo 2010
Hora : 11:00 a 13:00 hrs

DOCUMENTOS ANEXOS

Nº	DOCUMENTO
1	Programa del taller
2	Lista de Asistencia



003456

PROGRAMA**CONSULTA PÚBLICA
ANTEPROYECTO DE NORMA DE EMISIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS
SUBTERRÁNEAS D.S Nº 46/2002 MINSEGPRES****ANTEPROYECTO DE NORMA DE EMISIÓN PARA LA REGULACIÓN DE CONTAMINANTES
ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS MARINAS Y
CONTINENTALES****FECHA: 24 DE MAYO DE 2010****LUGAR: TEATRO REGIONAL DEL MAULE**

HORA	ACTIVIDAD
11:00 – 11:05	Recepción e inscripción
11.05 – 11.15	Palabras de bienvenida Sr. Tomás Irrarrazaval Molina Director Regional CONAMA Región del Maule
11:15 – 11.30	La Participación Ciudadana en Normas Ambientales Área Participación Ciudadana, CONAMA Región del Maule Consultas
11.30 – 12:00	Presentación Anteproyecto de Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas D.S Nº 46. Elizabeth Lazcano, Área de Control de la Contaminación CONAMA Nacional. Preguntas, Comentarios y Observaciones
12.00 – 12.40	Presentación Anteproyecto de norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales DS Nº90 Claudia Galleguillos, Área de Control de la Contaminación CONAMA Nacional. Preguntas, Comentarios y Observaciones
12.40 -13.00	Consultas y cierre



CONSULTA PÚBLICA
ANTEPROYECTO DE NORMA DS 90 Y DS. 46 TALCA, 24 DE MAYO DE 2010

Lugar: Teatro Regional del Maule

NOMBRE COMPLETO	INSTITUCION	MAIL	FONO	FIRMA
DR. Liliana Uteja F.	Escuela de Salud Pública	scu@saludpublica.cl	411038	[Firma]
ARAUCA MEDINA V.	V. BOTALWIND	puerdine@botalwind.cl	027533668	[Firma]
MARIANA SALGADO R.	MUNICIPALIDAD DE YANEN	are@ciudadanyanen.cl	(73)760603	[Firma]
Claudia Gallegillos C.	CONAMA DE	gallegillos@conama.cl	(62)2405706	[Firma]
Viviana Dorey Pastor	SEREMI MAULE	jdoreca@minitru.cl	523466	[Firma]
Christian Ruiz R.	EMPRESA WORE	crusio@carozza.cl	75-411117	[Firma]
Alejandra Gómez Babanich	CONAMA	ingriny@conama.cl	71-231191	[Firma]

0000007



CONSULTA PÚBLICA
ANTEPROYECTO DE NORMA DS 90 Y DS. 46 TALCA, 24 DE MAYO DE 2010

Lugar: Teatro Regional del Maule

NOMBRE COMPLETO	INSTITUCION	MAIL	FONO	FIRMA
Bernardita Pedrotti M.	Vina C7T	bpedrotti@unichi-7.com	9.8872141	B. Pedrotti
VERONICA FARIAS D.	CUTZICHERRE COZTA.	COZTA.C/ FARIAS@CUTZICHERRE	8.1374111	V. Farias
Luis Pulgar deiro z	Nuevo sur	luis.pulgar@essbio.cl	81574122	L. Pulgar
MARIA TERESA PENTALLOZ HERNANDEZ	MINIC. CURICO	maricateresa.pentalloz@curico.cl maricateresa.pentalloz@regionmaule.cl	98652826	M. T. Pentalloz
Enge Inatimay la pabr	Vina C7T	smatimay@camchortba.cl	91283475	E. Inatimay
Eduardo Muñoz Pastene	Vina San Pedro Paranápolis	edmunozp@vst.cl	99622336	E. Muñoz
Rodrigo Fica Monroy	Sereni Salud	rodrigo.fica@redsalud.gov.cl	71-412031	R. Fica

00000000



CONSULTA PÚBLICA
ANTEPROYECTO DE NORMA DS 90 Y DS. 46 TALCA, 24 DE MAYO DE 2010

Lugar: Teatro Regional del Maule

NOMBRE COMPLETO	INSTITUCION	MAIL	FONO	FIRMA
Esteban Alejandro Ojeda Valenzuela	Araucó	Esteban.ojeda@araucó.cl	94845700	
JUAN PABLO ARDOYO LAAGOS	CEMOSA BRADCO	juanpablo.ardoyno@cecomsa.cl	71-200790	
Luis Rovina Díaz	D.S.B.	luis.rovina@cecomsa.cl	71-612200	
Paula Vargasa	COMUNA	pvargas@comuna.cl	231191	
Alexandre Christian F.	COMUNA	alexchristian.f@comuna.cl	231191	

003400



**Dirección Ejecutiva
Departamento Prevención y Control de la Contaminación**

MEMORÁNDUM N° 194/2010

De : HANS WILLUMSEN ALENDE
Jefe Departamento Prevención y Control de la Contaminación
Comisión Nacional del Medio Ambiente

A : LEONEL SIERRALTA JARA
Jefe Departamento Recursos Naturales
Comisión Nacional del Medio Ambiente

Mat. : Solicita apoyo y antecedentes ambientales en Sistema de Información Geográfica para apoyar el proceso de modificación del D.S. N°90.

Fecha : 25 de mayo 2010

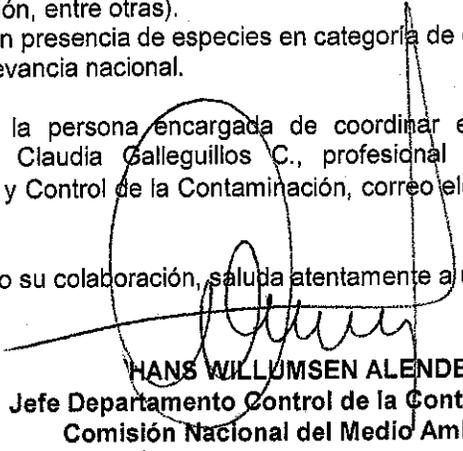
Junto con saludarle cordialmente, solicito el apoyo del departamento de Recursos Naturales con información ambiental disponible en SIG (Datum WGS84), con el fin de respaldar las propuestas de incluir estuarios y modificar la Zona de Protección Litoral el proceso de revisión de la "Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales", Decreto Supremo N°90/2000 MINSEGPRES.

La información requerida es la siguiente:

1. Áreas protegidas en proyecto y definidas en Chile, con énfasis en las zonas costeras.
2. Sitios de Biodiversidad, con énfasis en las zonas costeras.
3. Zonas frágiles ambientalmente en las zonas costeras (áreas de reproducción, nidificación, desove, alimentación, entre otras).
4. Zonas costeras con presencia de especies en categoría de conservación y/o endémicas.
5. Humedales de relevancia nacional.

Para mayor información, la persona encargada de coordinar el proceso de revisión de la norma mencionada es la Srta. Claudia Galleguillos C., profesional de la Sección Control Hídrico del Departamento Prevención y Control de la Contaminación, correo electrónico cgalleguillos@conama.cl ; Teléfono: 2405706.

Agradeciendo de antemano su colaboración, saluda atentamente a usted,



HANS WILLUMSEN ALENDE
Jefe Departamento Control de la Contaminación
Comisión Nacional del Medio Ambiente



MAH/CGC/jra

Distribución:

- Destinatario
- Expediente proceso de revisión D.S.N°90/00.
- c.c.:
- Alejandra Figueroa, Departamento de RRNN CONAMA
- Claudia Cortés, Departamento de RRNN, CONAMA



Dirección Ejecutiva
Departamento Prevención y Control de la Contaminación
Sección Control Hídrico

TALLER PARTICIPACIÓN CIUDADANA
“Proceso de Revisión DS 90”

Región : CONAMA, Región del Libertador B. O'Higgins.
Lugar : Salón de CORFO, Rancagua.
Fecha : 26 de mayo 2010
Hora : 09:30 a 13:00 hrs

DOCUMENTOS ANEXOS

Nº	DOCUMENTO
1	Programa del taller
2	Lista de Asistencia



GOBIERNO DE
CHILE
COMISIÓN NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

008062

Programa Consulta Pública Anteproyecto

*Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas DS.46
*Norma de Emisión para Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Continentales Superficiales y Marinas DS.90

26 de Mayo del 2010, Rancagua

PROGRAMA

09:30 hrs. Inscripciones participantes

09:45 hrs. Bienvenida.

10:00 hrs. Antecedentes Consulta Pública

10:15 hrs. Presentación del DS.46

Elizabeth Lazcano profesional de COCO Dirección ejecutiva

11:15 hrs. Preguntas

11:30 hrs. Café

11:45 hrs. Presentación del DS.90

Claudia Galleguillos profesional de COCO Dirección ejecutiva

12:45 hrs. Preguntas

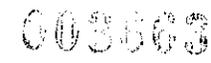
13:00 hrs. Termina

Consulta Pública Anteproyecto

*Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas DS.46
 *Norma de Emisión para Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Continentales Superficiales y Marinas DS.90
 26 de Junio del 2010, Rancagua

NOMBRE	INSTITUCION	FONO	EMAIL
Elizabeth Trujillo Mandiola	Aconcahua Foods. S.A.	54 116 0	etrujillo@aconcahuafoods.cl
María Paz Aguirre Pizarro	Aconcahua Foods SA.	072-591160	mpizarro@aconcahuafoods.cl
RAFAEL FUENTES LARA	VITAL AGUAS S.A.	072-512206	RTUENTESL@KOANDINA.COM
Yamara Mancuinda Urzua	Mun. Ambiental Agua Limpia Colchagua	072-723150	contacto@fiosdeobiggins.cl
Jose A. Peña Lopez	Uiceo Agrícola El Carmen SAN FERNANDO		peuya@email.com
Cristian A. Ochoa Oborio	Uiceo Agrícola El Carmen SAN FERNANDO		mc_xrocristi@hotmail.com
Fabian I. Morales Zuriga	Uiceo Agrícola El Carmen SAN FERNANDO		Abol6@hotmail.com
Alvaro A. Lizama Pérez	Uiceo Agrícola El Carmen SAN FERNANDO		Alvaro_lizama@hotmail.com
Diego S. Sandoval Sandoval	Uiceo Agrícola El Carmen SAN FERNANDO		diego_x2_05@hotmail.com
Generoso Lopez Vizcaino	Uiceo Agrícola El Carmen SAN FERNANDO		Ge-no-ks@hotmail.com
Luis Orellana Reyes	Uiceo Agrícola El Carmen SAN FERNANDO	712979	luis.orellana.reyes@gmail.com
Sergio Medina Jorjey	Uiceo Agrícola El Carmen SAN FERNANDO	712979	Smedina93@gmail.com

Linea Agrícola El Carmen 712974 HECTOR CIFRAN@HOTMAIL.COM
 Uiceo Agrícola El Carmen 89646639 Peribaxerperibax@gmail.com
 San Fernando



Consulta Pública Anteproyecto

*Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas DS.46

*Norma de Emisión para Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Continentales Superficiales y

Marinas DS.90

26 de Junio del 2010, Rancagua

NOMBRE	INSTITUCION	FONO	EMAIL
MARIO VASQUEZ L.	INVERTER	741000	mvasquez@invertec.cl
HEPARGO CARDALLO PAUEZ	MUNICIPALIDAD DE CARMENO	9 2292123	mcardallo@gmail.com
HORACIO L. VILLAGRAN NARANJO	CONSULTOR INDEPENDIENTE.	---	h.villagrannaranjo@gmail.com
CAROLINA ZANUDA CASATA	ENDESA	(71) 247090	CMZC@ENDESA.U
FRANCISCA TORQUEZ O.	Comercial Greenvic S.A.	(72) 858220	FTORQUEZ@GREENVIC.S
Alejandro Valenzuela Rojas	Aconcega Foods S.A	(02) 8218255	avalenzuela@aconcegafoods.cl
DAVID VARELA FURTADO	Nucleonidina Pichilemu	(71) 571015	mijuelvarela@pichilemu.cl
JOSE GONZALEZ O.	PROPIA	(72) 712699	JOSE6060@HOTMAIL.COM
JMORA Hoffmeister	CONAMA		mc_hoffmeister@yahoo.de
Consuegra Kong P	Smve	741018	ckong@smve.cl

003005



GOBIERNO DE
CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DGA



ORD Nº 79 /

ANT. : Revisión D.S. 90/2000, "Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales"
MAT. : Envía copia electrónica del estudio "Análisis Metodológico para Determinar Caudales de Dilución en Zonas Estuarinas".

SANTIAGO, **28 MAYO 2010**

- DE: MESENIA ATENAS VIVANCO.
JEFA DEL DEPTO. DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS.
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS.
- A: SR. HANS WILLUMSEM A.
JEFE DEL DEPTO. PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN.
COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE.

Como es de su conocimiento, la Dirección General de Aguas tomó como compromiso en el marco del proceso de revisión del D.S. 90/2000, "Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales", la elaboración de una metodología para determinar caudales de dilución en zonas Estuarinas.

Adjunto al presente, un CD con el resultado del trabajo antes señalado, el que cuenta con antecedentes propios de la metodología adoptada por la DGA y antecedentes de terreno que sirvieron de validación.

Saluda atentamente a Usted,

MESENIA ATENAS VIVANCO
Ingeniero Jefe
Depto. Conservación y P.R.H.
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

MAV/FAZ/faz

Distribución:

Destinatario

Archivo D.C.P.R.H.

PROCESO: 3875996

003506



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**ANÁLISIS METODOLÓGICO PARA
DETERMINAR CAUDALES DE DILUCIÓN
EN ZONAS ESTUARINAS**

REALIZADO POR:

Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos

Departamento de Ingeniería Civil - Universidad de Chile

S.I.T. N° 189

SANTIAGO, SEPTIEMBRE 2009

ÍNDICE DE CAPÍTULOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. MOTIVACIÓN	1
1.2. OBJETIVOS.....	1
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	1
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
1.3. ALCANCES DEL ESTUDIO.....	2
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE TRABAJO	3
2.1. ESTRUCTURA Y CONTENIDO DEL INFORME.....	3
2.2. SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE CAUDAL DE DILUCIÓN EN ESTUARIOS	3
CAPÍTULO 3: REVISIÓN DE ANTECEDENTES Y ANÁLISIS TEÓRICO	5
3.1. DECRETO SUPREMO N°90/2000 Y CAUDAL DE DILUCIÓN.....	5
3.2. INFORMACIÓN GENERAL ACERCA DE ESTUARIOS	6
3.2.1. EXTENSIÓN DEL ESTUARIO Y SUS LÍMITES.....	6
3.2.2. FENÓMENO DE MAREA EN ESTUARIOS	7
3.2.3. PROCESOS DE MEZCLA	8
3.2.4. GEOMORFOLOGÍA.....	11
3.3. MODELOS NUMÉRICOS	11
3.3.1. MODELO HIDRÁULICO IMPERMANENTE (ECUACIONES DE SAINT-VENANT)	12
3.3.2. RELACIONES PARA EL GRADO DE ESTRATIFICACIÓN	12
3.3.3. MODELOS DE MEZCLA, CASO BIEN Y PARCIALMENTE MEZCLADO	13
3.3.4. MODELOS DE MEZCLA, CASO ESTRATIFICADO.....	15
3.3.5. ECUACIONES RELEVANTES.....	15
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA PROPUESTA	18
4.1. INFORMACIÓN GENERAL.....	18
4.1.1. ESTRUCTURA DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA	19
4.1.2. ESTUDIO DE TERRENO	21
4.2. METODOLOGÍA DE MODELACIÓN PARA OBTENER CAUDAL DE DILUCIÓN	21
4.2.1. DETERMINACIÓN DE LA EXTENSIÓN DEL ESTUARIO	22
4.2.1. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL LÍMITE PARA TENER CUÑA SALINA.....	22
4.2.2. EXTENSIÓN DE LA CUÑA SALINA	23
4.2.3. EXTENSIÓN DE LA ZONA DE MEZCLA PARCIAL.....	24
4.2.4. CAUDAL DE DILUCIÓN EN LA ZONA DE MEZCLA PARCIAL.....	24
4.2.5. CAUDAL DE DILUCIÓN EN LA ZONA SIN INTRUSIÓN	25
4.3. RESUMEN.....	26
4.4. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN EN TERRENO.....	26
4.4.1. PERFILES DE PROFUNDIDAD.....	27
4.4.2. PERFILES DE SALINIDAD	27

ÍNDICE DE CAPÍTULOS

7.2. VALIDACIÓN DE LA DETERMINACIÓN DEL GRADO DE ESTRATIFICACIÓN.....	71
7.2.1. TOLTÉN	72
7.2.1. LEBU	72
7.3. VALIDACIÓN DEL MODELO DE OLIVARES (2000)	73
7.3.1. TOLTÉN	73
7.3.2. LEBU	74
7.4. VALIDACIÓN DE MODELACIÓN DE HEC-RAS	74
7.5. ANÁLISIS DEL SUPUESTO DE UNIDIMENSIONALIDAD	75
7.5.1. TOLTÉN	75
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
8.1. SOBRE LA EXTENSIÓN DEL ESTUARIO.....	77
8.2. ZONIFICACIÓN DEL ESTUARIO Y CAUDAL DE DILUCIÓN	77
8.2.1. DETERMINACIÓN DE $Q_{LÍMITE}$	77
8.3. CUERPOS DE AGUA SIN AFLUENTE SUPERFICIAL	77
8.4. RECOMENDACIONES	78
CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFÍA.....	79
CAPÍTULO 10: GLOSARIO	81

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 5.22: ANCHO SUPERFICIAL DEL ESTUARIO DEL ESTERO TONGOY.....	57
FIGURA 5.23. PERFIL LONGITUDINAL DE SALINIDAD DEL ESTUARIO DEL ESTERO TONGOY.	59
FIGURA 5.24: VARIACIÓN DEL GRADO DE ESTRATIFICACIÓN EN LA LONGITUDINAL.	60
FIGURA 6.1. OBTENCIÓN DE MÁXIMA INTRUSIÓN DE ONDA DE MAREA.....	61
FIGURA 6.2. CAUDALES DE DILUCIÓN PARA EL ESTUARIO DEL RÍO TOLTÉN.	63
FIGURA 6.3. CAUDALES DE DILUCIÓN PARA EL ESTUARIO DEL RÍO TOLTÉN.	64
FIGURA 6.4. OBTENCIÓN DE MÁXIMA INTRUSIÓN DE ONDA DE MAREA.....	65
FIGURA 6.5. COEFICIENTES DE DISPERSIÓN LONGITUDINAL.	67
FIGURA 6.6. CAUDALES DE DILUCIÓN PARA EL ESTUARIO DEL RÍO LEBU.	68
FIGURA 6.7. CAUDALES DE DILUCIÓN PARA EL ESTUARIO DEL RÍO LEBU.	68
FIGURA 6.8. CAUDALES DE DILUCIÓN PARA EL ESTUARIO DEL RÍO LEBU.	69

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 6.5: INFORMACIÓN UTILIZADA PARA OBTENER EXTENSIÓN DE CUÑA SALINA.....	66
TABLA 6.6: CARACTERÍSTICAS DE LA DESCARGA VIRTUAL UTILIZADA.	67
TABLA 6.7: ZONAS DE DIVISIÓN DEL ESTUARIO.	69
TABLA 7.1: VARIACIÓN DEL NIVEL Y CAUDAL EN EL LÍMITE ESTUARIO/RÍO.....	71
TABLA 7.2: VALIDACIÓN DEL MODELO PARA $Q_{LÍMITE}$	72
TABLA 7.3: VALIDACIÓN DEL MODELO PARA $Q_{LÍMITE}$	72
TABLA 7.4: DATOS UTILIZADOS PARA LA MODELACIÓN.....	73
TABLA 7.5: COMPARACIÓN ENTRE EXTENSIONES DE LA CUÑA SALINA MODELADAS Y REAL.	73
TABLA 7.6: DATOS UTILIZADOS PARA LA MODELACIÓN.....	74
TABLA 7.7: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN.....	74
TABLA 7.8: EXTENSIÓN DE LA INTRUSIÓN SALINA EN FORMA DE MEZCLA PARCIAL.....	75
TABLA 7.9: DATOS PARA CÁLCULO DE EFECTO DE CORIOLIS.....	76



- Realizar una primera aproximación a la validación de los modelos utilizados.
- Concluir respecto a la metodología desarrollada y a los resultados obtenidos.

1.3. ALCANCES DEL ESTUDIO

Este estudio entregará una metodología para establecer caudales disponibles para la dilución en zonas estuarinas de acuerdo a sus características físicas y clasificación o tipo de estuario.

De esta manera, el presente estudio dotará a la DGA de metodologías claras con fundamentos técnicos y procedimientos para la determinación de caudales disponibles para la dilución en dichas zonas.



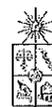
GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE CONS. Y PROT. DE REC. HID.



fcfm

Ingeniería Civil
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

para el caso de estuarios, una metodología que combina mediciones en terreno e información hidrológica con modelación numérica. A lo largo del estudio se explica el tipo de mediciones necesarias a realizar, además de los modelos numéricos propuestos, de modo que el interesado en obtener el caudal de dilución asociado a un estuario pueda aplicar fácilmente la metodología desarrollada.



$$d = \frac{Q_{\text{CuerpoReceptor}}}{Q_{\text{Descarga}}} \quad (3.2)$$

Donde d corresponde a la tasa de dilución, $Q_{\text{CuerpoReceptor}}$ corresponde al caudal disponible del cuerpo receptor y Q_{Descarga} al caudal medio mensual del efluente vertido durante el mes de máxima producción de residuos líquidos. Cabe mencionar que $Q_{\text{CuerpoReceptor}}$ se define como “la cantidad de agua disponible expresada en volumen por unidad de tiempo para determinar la capacidad de dilución en un cuerpo receptor”.

Atendiendo a que los estuarios también pueden ser considerados como cuerpos receptores, surge la necesidad de establecer una metodología para la determinación de la capacidad de dilución en estas zonas.

3.2. INFORMACIÓN GENERAL ACERCA DE ESTUARIOS

Los estuarios corresponden a cuerpos de agua costeros semicerrados, donde el agua dulce se mezcla con el agua marina (Dyer 1973, en Martin and McCutcheon, 1999), lo que determina la existencia de gradientes de salinidad, temperatura y densidad. Lo anterior, sumado al fenómeno de marea, hace que los procesos de mezcla en estuarios sean más complejos que los asociados a ríos, por lo que la metodología utilizada para determinar caudales de dilución también lo será.

3.2.1. EXTENSIÓN DEL ESTUARIO Y SUS LÍMITES

Una de las definiciones de estuario más aceptadas es la propuesta por Pritchard (1967), quien indica que los estuarios son “cuerpos de agua semicerrados que poseen una conexión libre con el mar, y en los cuáles el agua marina es diluida por el agua dulce proveniente de la escorrentía de la cuenca”. Por otro lado, la IUCN¹ los define como “masas de agua donde la desembocadura de un río se abre a un ecosistema marino, con una salinidad intermedia entre dulce y salada y en los que la acción de las mareas es un importante regulador biofísico”. Las definiciones presentadas dan un indicio de cómo establecer los límites de un estuario, tanto con la zona de protección litoral como con sus afluentes fluviales.

En lo que respecta al límite de aguas abajo del estuario, el DS N°90/2000 indica que la zona de protección litoral “corresponde a la franja de playa, agua y fondo de mar adyacente a la costa continental o insular, delimitada por una línea superficial imaginaria, medida desde la línea de baja marea de sicigia, que se orienta paralela a ésta y que se proyecta hasta el fondo del cuerpo de agua, fijada por la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina

¹ International Union for Conservation of Nature



sentido que implica un mayor alcance de la influencia del mar dentro del cauce del río, definiendo finalmente un estuario de mayor extensión, independiente de cuál de los criterios mencionados en el acápite 3.2.1 se utilice. Por otro lado, la condición de marea de cuadratura puede implicar una menor capacidad de mezcla por parte del mar, por lo cual también se considera crítica.

3.2.3. PROCESOS DE MEZCLA

Las características hidrodinámicas de los estuarios pueden cambiar a lo largo del año, dependiendo de la variabilidad de las condiciones meteorológicas, de marea y de los afluentes fluviales. Debido a esto la capacidad de mezcla en ellos, estrechamente relacionada con las características hidrodinámicas, depende principalmente de los factores mencionados anteriormente (Fischer et al., 1979), tal como se explica a continuación:

- Efecto del viento: Este efecto es importante para el caso de estuarios anchos, en los cuales logra inducir corrientes de circulación. A diferencia de lo que sucede en lagos y océanos, en estuarios en general el viento no es una fuente importante de energía para el sistema.
- Efecto de la marea: La marea genera mezcla a través diferentes mecanismos. Por una parte, produce mezcla turbulenta debido a la interacción con el fondo del canal, mientras que por otra parte existe generación de corrientes por efecto de la interacción con la batimetría, distinguiéndose tres casos: la dispersión producida por efectos de corte por la oscilación de la marea; la circulación residual, que en la mayoría de los estuarios se genera por la batimetría irregular mientras que en estuarios amplios puede ser generada por el efecto de coriolis¹; y el efecto de la marea en zonas de aguas muertas.
- Efecto del río: El aporte de agua dulce, de menor densidad que el agua marina, provee un déficit de energía potencial al sistema definido por el estuario, produciendo corrientes gravitacionales o baroclínicas, que se originan por la tendencia natural de las isohalinas a la horizontalidad.

Dependiendo de la magnitud del caudal de agua dulce afluente, de las condiciones de marea y de la morfología del cauce, un estuario puede presentar diferentes niveles de mezcla o lo que es equivalente, grados de estratificación. En este sentido es posible identificar condiciones de estratificación fuerte, y de mezcla parcial o completa. El grado de estratificación se relaciona con la capacidad del estuario para mezclar sus aguas, por lo que está ligado al caudal de

¹ Aceleración perpendicular al movimiento de un cuerpo debida a la rotación de la Tierra.



superiores sea mayor que para el caso de cuña salina, presentando el estuario una estratificación débil. Las isohalinas se presentan inclinadas hacia el océano, lo que genera una corriente conocida como circulación baroclínica, en la que las aguas superficiales tienden a moverse en dirección al fondo y hacia el océano, mientras que las del fondo suben y se mueven en dirección contraria, tal como se muestra en la Figura 3.2. Estos estuarios tienen en general un caudal afluente considerablemente menor que el asociado a estuarios fuertemente estratificados.

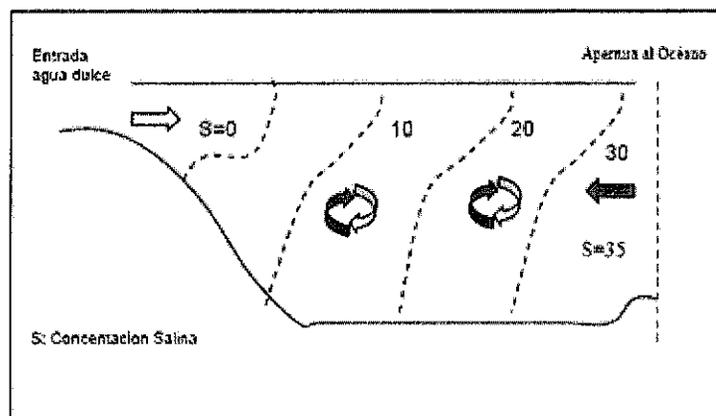


FIGURA 3.2: ESQUEMA DE ESTUARIO PARCIALMENTE MEZCLADO. BUSTOS (2007)

- Estuarios bien mezclados: Se dan en ríos con caudales muy bajos, por lo que la marea domina la mezcla en el estuario. Las isohalinas son verticales y aumentan a medida que se acercan al océano. Este tipo de estuario se encuentra generalmente en regiones con amplitudes de marea mayores a 2 m. Un esquema se presenta en la Figura 3.3.

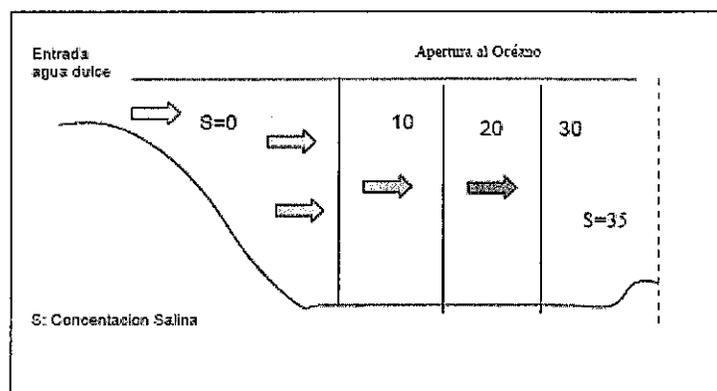


FIGURA 3.3: ESQUEMA DE ESTUARIO BIEN MEZCLADO. BUSTOS (2007).



requerida para aplicar los modelos proviene de mediciones en terreno y de estadística hidrológica.

3.3.1. MODELO HIDRÁULICO IMPERMANENTE (ECUACIONES DE SAINT-VENANT)

Se dice que el flujo en un estuario es impermanente debido a que su velocidad puede experimentar grandes variaciones temporales debido al efecto de la marea, en periodos de tiempo considerablemente menores que los asociados a cambios hidrológicos. El efecto de marea se refleja además en variaciones de la cota de la superficie libre a lo largo del estuario. Una manera usual de modelar escurrimientos impermanentes en cuerpos de agua fluviales es mediante las ecuaciones de Saint-Venant, que se basan en la aplicación de los principios de conservación de masa y de momentum. La relación unidimensional que sale de la aplicación del principio de conservación de masa corresponde a la Ecuación (3.3), mientras que la que sale del principio de conservación de momentum corresponde a la Ecuación (3.4), considerando la ley friccional de Manning.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (3.3)$$

Donde A corresponde al área de escurrimiento, Q al caudal total y q a un posible caudal lateral.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) = -g \cdot A \cdot \frac{\partial Z}{\partial x} - g \cdot \frac{n^2 \cdot Q \cdot |Q|}{A \cdot R_h^{4/3}} \quad (3.4)$$

Donde Q corresponde al caudal, A al área de escurrimiento, g a la aceleración de gravedad, Z a la cota de fondo, n al número de Manning y R_h al radio hidráulico.

Existen programas comerciales que permiten modelar escurrimientos en superficie libre, basados en la aplicación de las ecuaciones de Saint-Venant. Para el presente estudio fue utilizado el programa HEC-RAS, el cual se caracteriza por ser ampliamente utilizado en el área de la ingeniería hidráulica. En el Anexo II se entrega un manual de aplicación para la modelación de estuarios.

3.3.2. RELACIONES PARA EL GRADO DE ESTRATIFICACIÓN

Para modelar los procesos de mezcla en estuarios es necesario conocer su grado de estratificación, concepto abordado anteriormente en el acápite 3.2.3. Para ello existen una serie



La mayor dificultad para aplicar la Ecuación (3.6) es conocer los coeficientes de dispersión K_L . Para estimar K_L se presentan las Ecuaciones (3.7) y (3.8), siendo la primera aplicable sólo en el tramo del estuario en que se tenga mediciones de salinidad, mientras que la segunda se dedujo para ríos por Fisher (1975) y se considera correcta para sectores del estuario que presenten muy baja influencia de marea.

$$K_L(x) = \frac{Q \cdot S(x)}{A(x) \cdot \partial S / \partial x} \quad (3.7)$$

Donde $K_L(x)$ corresponde al coeficiente de dispersión longitudinal para estuarios, Q al caudal del río, $S(x)$ a la salinidad medida en terreno y $A(x)$ al área de escurrimiento.

$$K_L = 0.01 \cdot u_* \cdot H \cdot \left(\frac{u}{u_*}\right)^2 \cdot \left(\frac{B}{H}\right)^2 \quad (3.8)$$

Donde K_L corresponde al coeficiente de dispersión longitudinal para ríos, H y B a la profundidad y anchos medios del río y u_* a la velocidad de corte en el fondo definida en la Ecuación (3.9).

$$u_* = \sqrt{\tau_0 / \rho} \quad (3.9)$$

Donde ρ corresponde a la densidad del fluido (1000 kg/m³ para agua) y τ_0 al esfuerzo de corte en el fondo, que se puede estimar por la Ecuación (3.10) que se deduce a partir de la ley de resistencia de Manning.

$$\tau_0 = \frac{g \cdot n^2}{R_h^{1/3}} \cdot \rho \cdot u^2 \quad (3.10)$$

Donde ρ corresponde a la densidad del fluido, g a la aceleración de gravedad, n al número de Manning, u a la velocidad media de escurrimiento y R_h al radio hidráulico.

Es necesario mencionar que los coeficientes de dispersión obtenidos a partir de la aplicación de la Ecuación (3.7) a mediciones de salinidad de cierta campaña están asociados al caudal del río de dicha campaña y a su estado de mareas, por lo que si se desean determinar coeficientes de dispersión para un caudal diferente es necesario interpolar o extrapolar a partir de información de dos o más campañas, teniendo cuidado en considerar el estado de mareas pertinente. Por otro lado cabe mencionar que HEC-RAS ofrece la opción de computar



$S_{Vaciante}$ a las salinidades medias de los periodos de llenante y vaciante obtenidas de mediciones en terreno en la boca del estuario.

El caudal de agua renovada se obtiene a partir de la Ecuación (3.12).

$$Q_O = R \cdot Q_{Llenante} \quad (3.12)$$

Donde Q_O corresponde al caudal de agua renovada de la llenante, R al coeficiente de intercambio y $Q_{Llenante}$ al caudal de la llenante, el cual se obtiene de la modelación de HEC-RAS.

A partir de las relaciones anteriores se concluye que la fracción del caudal de la llenante que corresponde a agua proveniente del estuario queda dada por la Ecuación (3.13). Por otro lado, si al interior del estuario existe una descarga de cierta sustancia conservativa, cuya única fuente es dicha descarga, la concentración con que ésta es devuelta al estuario se puede estimar utilizando la Ecuación (3.14).

$$Q_E = (1 - R) \cdot Q_{Llenante} \quad (3.13)$$

Donde Q_E corresponde al caudal de agua de la llenante que corresponde a agua estuarina, R al coeficiente de intercambio y $Q_{Llenante}$ al caudal de la llenante, el cual se obtiene de la modelación de HEC-RAS.

$$C_{Llenante} = (1 - R) \cdot \frac{Q_{Descarga}}{Q_{Descarga} + Q_{Rio}} \cdot C_{Descarga} \quad (3.14)$$

Donde $C_{Llenante}$ corresponde a la concentración de la sustancia descargada asociada al caudal de la llenante, $Q_{Descarga}$ al caudal de la descarga de dicha sustancia, Q_{Rio} al caudal del río para la situación de análisis y $C_{Descarga}$ a la concentración de la descarga de dicha sustancia.

El intercambio de aguas entre el estuario y el océano está condicionado por diversos factores como lo son las corrientes litorales, el oleaje, la marea y el caudal efluente del estuario. Para efectos de la metodología desarrollada se considera la relación existente entre el coeficiente de intercambio R y el caudal del río y la marea. En este sentido, si se desea conocer el coeficiente de intercambio asociado a cierto caudal y a ciertas condiciones de marea, se propone interpolar o extrapolar el valor a partir de pares (R, Q_{Rio}) que se hayan medido en terreno para la condición de marea deseada.



CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA PROPUESTA

4.1. INFORMACIÓN GENERAL

En el presente capítulo se entrega la metodología desarrollada para determinar los límites del estuario y el caudal de dilución a lo largo de su extensión. Para obtener el caudal de dilución en zonas estuarinas se propone una metodología que combina información hidrológica y de mediciones en terreno con modelación numérica. Básicamente se propone subdividir el estuario estudiado en zonas definidas en función de su capacidad para diluir contaminantes. Un esquema de la subdivisión se presenta en la Figura 4.1.

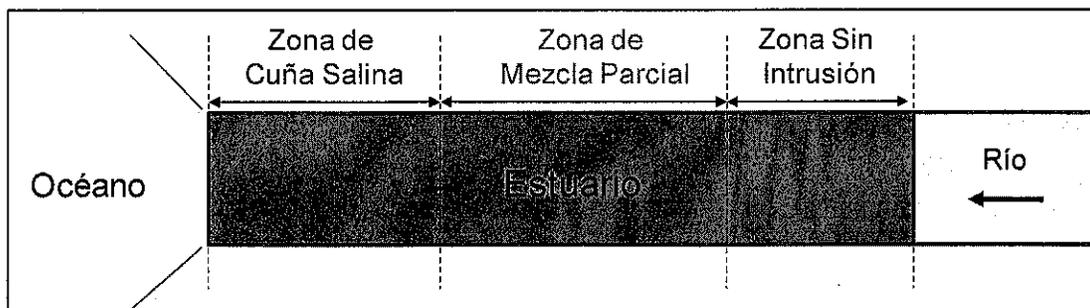


FIGURA 4.1: ESQUEMA DE LA SUBDIVISIÓN DEL ESTUARIO.

Para cada una de las zonas se propone una metodología para estimar el caudal de dilución. El criterio adoptado para la subdivisión se basa principalmente en la información sobre los procesos de mezcla en estuarios entregada en la revisión de antecedentes, específicamente en el acápite 3.2.3. A continuación se presenta una caracterización de las zonas en que se subdividió el estuario.

CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE CUÑA SALINA

La baja capacidad de mezcla existente al interior de la cuña salina obliga a tomar la decisión de considerar un caudal de dilución nulo para esta zona. La extensión de la intrusión en forma de cuña salina depende principalmente de la morfología del cauce, del caudal de agua dulce afluente y del nivel del mar. Para obtener dicha extensión se propone utilizar el modelo de Olivares (2000) incluido en el Anexo I.

CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE MEZCLA PARCIAL

Debido a la variación del nivel del mar, el caudal de esta zona fluctúa en torno al caudal del río, pudiéndose observar incluso flujo desde el océano en ciertos momentos del día. El caudal



considerar condiciones de marea de sicigia, dado que implican la máxima extensión de la intrusión salina. En el caso de que el caudal límite sea menor al caudal con probabilidad de excedencia del 95%, se considerará a éste como el nuevo caudal límite.

3. Utilizando el caudal límite obtenido anteriormente se determina la extensión de la intrusión en forma de cuña salina, la cual define lo que se denomina *Zona de Cuña Salina* en la Figura 4.1. Para determinar dicha extensión se utiliza el modelo de Olivares (2000), descrito en el Anexo I. Dado que los procesos de mezcla al interior de la cuña salina son poco eficientes, se impone arbitrariamente un caudal de dilución nulo para esta zona. Luego, si el interesado en descargar se ubica en esta zona, debe considerar un caudal de dilución nulo, y dar por terminado el proceso de obtención del caudal de dilución. En caso contrario debe continuar con los siguientes pasos.
4. Utilizando el caudal con probabilidad de excedencia del 95% se determina la extensión de la intrusión en forma de mezcla parcial, ocupando el módulo de calidad de aguas de HEC-RAS para condición de marea de sicigia, de modo de obtener la máxima extensión posible. La extensión obtenida es siempre mayor a la longitud de la intrusión en forma de cuña salina. El tramo comprendido entre el límite superior de la *Zona de Cuña Salina* y la extensión obtenida con HEC-RAS se denomina *Zona de Mezcla Parcial* en la Figura 4.1.
5. Si el interesado en descargar se ubica dentro de la *Zona de Mezcla Parcial*, debe utilizar el módulo de calidad de aguas de HEC-RAS para obtener el caudal de dilución del lugar de descarga, considerando nuevamente como caudal afluente el de probabilidad de excedencia del 95%, pero esta vez condiciones de marea de cuadratura, las cuales implican la mínima capacidad de mezcla posible.
6. Si el interesado en descargar no se ubica en la *Zona de Cuña Salina* ni en la *Zona de Mezcla Parcial*, se encuentra necesariamente en el tramo final denominado *Zona Sin Intrusión*, indicado en la Figura 4.1. Este tramo del estuario se ve afectado por la marea, pero que no recibe aporte desde océano. Para obtener el caudal de dilución asociado a esta zona se ocupa el módulo de calidad de aguas de HEC-RAS, considerando un caudal con probabilidad de excedencia del 95% y condición de marea de sicigia.

Las etapas mencionadas son descritas con mayor detalle en el acápite 4.2.



6. Caudal de dilución en la zona sin intrusión.

Al final del capítulo se muestra un esquema de la metodología desarrollada para obtener caudales de dilución en zonas estuarinas.

4.2.1. DETERMINACIÓN DE LA EXTENSIÓN DEL ESTUARIO

En el acápite 3.2.1 fueron mencionados tres criterios para establecer el límite entre el estuario y el río, que dependen del alcance de la onda de marea, de la extensión de la intrusión salina o bien de la intrusión de los sedimentos marinos. Debido a que el caudal varía con el efecto de marea y a que el alcance de la onda de marea es mayor que el alcance de la salinidad y de los sedimentos marinos, se considera al criterio del efecto de marea como el más adecuado para definir la extensión del estuario. De este modo el límite entre el estuario y el río queda definido por el lugar en que el efecto de marea deja de percibirse.

Una manera sencilla de estimar el máximo alcance de la onda de marea, es considerar que éste queda definido por el lugar del río cuya cota de terreno es similar a la cota del nivel del mar para una pleamar de sicigia. En otras palabras, se debe trazar una horizontal desde el nivel máximo de la marea de sicigia hasta donde se intercepte la cota de fondo del río, como se muestra en el ejemplo de la Figura 4.2, para el que se obtiene una extensión de 13 km. La información de mareas y la batimetría deben ser medidas en terreno.

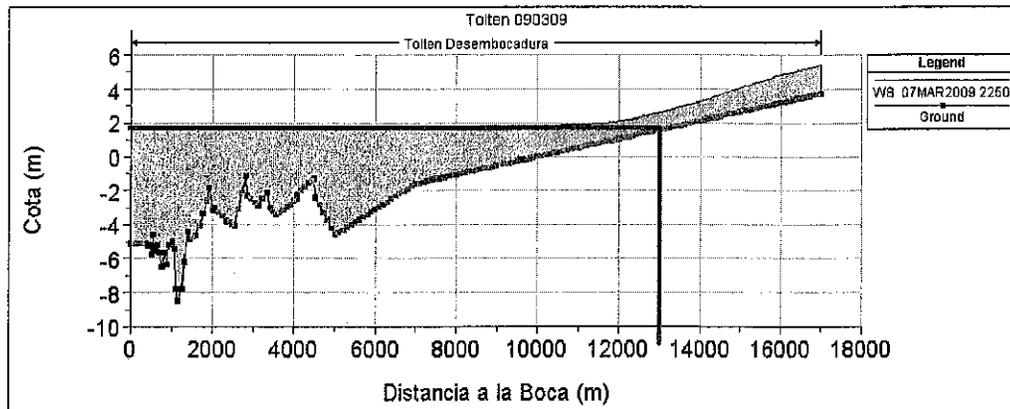


FIGURA 4.2. DETERMINACIÓN DE LA EXTENSIÓN DEL ESTUARIO DEL RÍO TOLTÉN.

4.2.1. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL LÍMITE PARA TENER CUÑA SALINA

Para determinar el caudal límite por sobre el cual se comienza a tener intrusión en forma de cuña salina se propone utilizar la Ecuación (4.1), que se dedujo a partir del Número de Richardson de Estuarios, descrito en el Capítulo 3.3.2.



4.2.3. EXTENSIÓN DE LA ZONA DE MEZCLA PARCIAL

Considerando que la norma chilena de calidad de agua NCh409/1.Of.84 señala que la concentración máxima de cloruros en el agua potable debe ser inferior a 0.2 g/l, se define la salinidad límite para determinar la máxima extensión de la intrusión salina como 0.2 g/l. Es decir, se supondrá el fin de la intrusión salina cuando se tengan salinidades inferiores a 0.2 g/l.

Para determinar la extensión de la *Zona de Mezcla Parcial* se propone utilizar el módulo de calidad de aguas de HEC-RAS para modelar la salinidad al interior del estuario y de este modo conocer el punto en que la salinidad disminuye por debajo de 0.2 g/l. Dicho módulo requiere tener modelada la hidráulica del estuario, lo cual corresponde a la etapa anterior. En el modelo de calidad de aguas se debe utilizar como caudal afluente el de probabilidad de excedencia del 95% y como salinidad del río 0.1 g/l y del océano 35 g/l. Sin embargo, dado que parte del caudal de la llenante corresponde a agua dulce proveniente del estuario, la salinidad proveniente del océano debe obtenerse a partir de la aplicación de la Ecuación (3.14). Además se debe considerar una marea típica de sicigia, de modo de obtener la máxima extensión de intrusión posible. Los coeficientes de dispersión utilizados deben obtenerse a partir de la aplicación de la Ecuación (3.7) a las mediciones de salinidad realizadas para marea de sicigia. En el Anexo II se incluye una guía para modelar procesos de mezcla en estuarios en HEC-RAS.

Cabe notar que si se tiene un caudal con probabilidad de excedencia del 95% mayor a $Q_{\text{Límite}}$, no se tendrá intrusión en forma de mezcla parcial, debido a que los altos caudales del río generarán siempre intrusión en forma de cuña salina.

4.2.4. CAUDAL DE DILUCIÓN EN LA ZONA DE MEZCLA PARCIAL

Si el interesado en descargar se ubica dentro de la *Zona de Mezcla Parcial*, debe obtener el caudal de dilución del lugar de descarga como se explica a continuación.

Para determinar el caudal de dilución en la *Zona de Mezcla Parcial* se debe utilizar el módulo de calidad de aguas de HEC-RAS, pero considerando una descarga lateral de una sustancia contaminante ficticia. HEC-RAS permite incluir descargas laterales en cualquier punto del estuario, por lo que es posible modelar una descarga virtual de contaminante, caracterizada por una concentración y un caudal arbitrarios. En el modelo de calidad de aguas se debe utilizar como caudal afluente del río el de probabilidad de excedencia del 95% y condición de marea de cuadratura, que implican la menor capacidad de mezcla posible. Como condiciones de borde del contaminante se debe considerar concentración nula desde aguas arriba y cierta concentración de retorno desde aguas abajo. Dicha concentración de retorno se obtiene de la aplicación de la Ecuación (3.14) a las mediciones de salinidad realizadas en la boca del



4.3. RESUMEN

En la Figura 4.3 se presenta un esquema que resume la metodología definida.

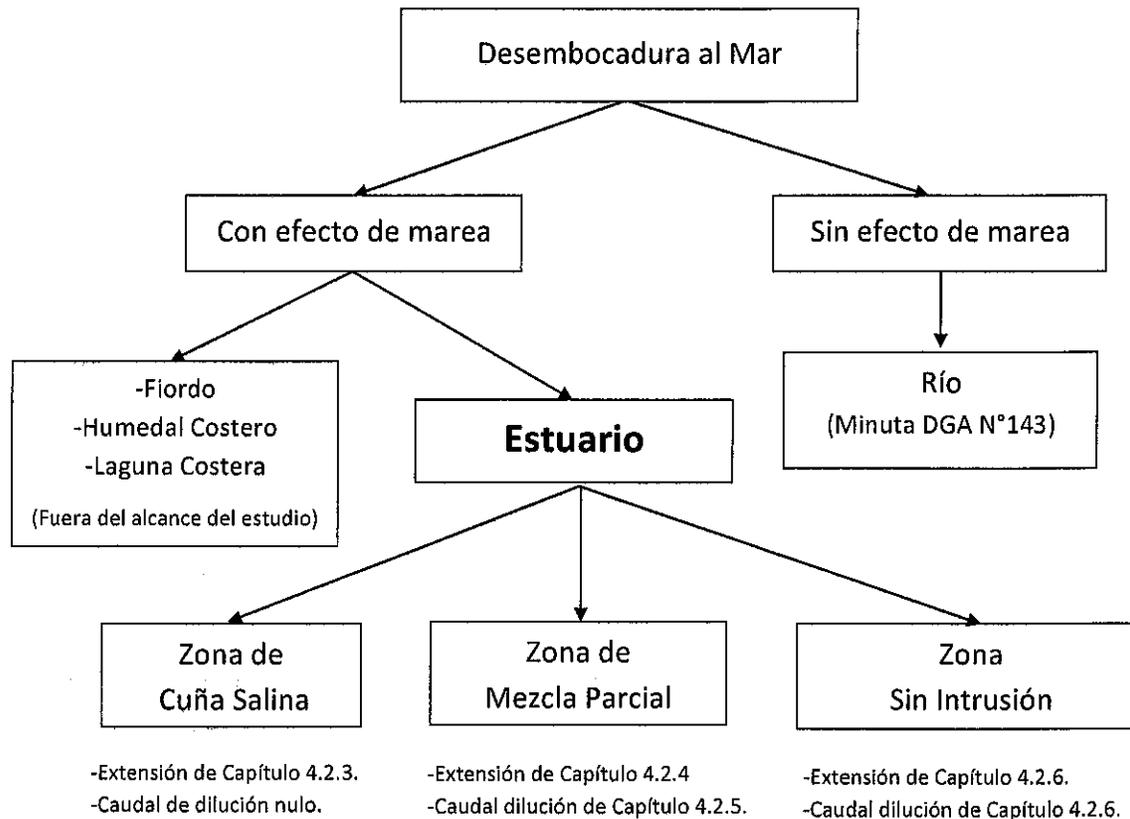


FIGURA 4.3: METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EXTENSIÓN DEL ESTUARIO Y CAUDAL DE DILUCIÓN.

4.4. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN EN TERRENO

Considerando las variables de entrada de los modelos numéricos se hace necesario medir perfiles transversales de profundidad y salinidad a lo largo del estuario, el caudal de agua dulce afluente y la variación del nivel del mar y de la salinidad en la boca del estuario.

Debido a la variabilidad temporal de los parámetros requeridos, se deben realizar las mediciones tanto durante el periodo de llenante como el de vaciante. A continuación se detalla la forma en que deben llevarse a cabo las mediciones.



4.4.3. VARIACIÓN DEL NIVEL DEL MAR EN LA BOCA DEL ESTUARIO

Como se mencionó en el acápite 4.4.1, para obtener la batimetría del estuario es necesario corregir las mediciones de profundidad realizando una modelación en HEC-RAS. En este sentido, la variación del nivel del mar en la boca del estuario corresponde a una condición de borde del sistema, la cual se debe conocer si se desea modelar el estuario.

La medición del nivel del mar debe realizarse en el sector del estuario más cercano a la boca en el que se siga teniendo flujo unidireccional, es decir un comportamiento similar al de un canal. Su medición debe realizarse con la ayuda de una regleta, recordando registrar el lugar de medición mediante el uso de un GPS. Además de la variación del nivel durante el día de muestro, se debe tener información de los dos días anteriores. Dicha información debe ser medida en terreno.

4.4.4. SALINIDAD EN LA BOCA DEL ESTUARIO

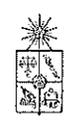
Para poder estimar el intercambio de contaminantes entre el estuario y el océano es necesario conocer la variación temporal de la salinidad en la boca, tanto en el periodo de llenante como en el de vaciante. Básicamente se utiliza sal como trazador, para dar cuenta de los procesos de mezcla de la zona litoral. La información obtenida es utilizada en la Ecuación (3.11) del acápite 3.3.5.

La salinidad debe medirse en el mismo lugar en que se registra la variación del nivel por efecto de la marea, es decir en el sector del estuario más cercano a la boca en el que se siga teniendo flujo unidireccional. Lo anterior debido a que ambas variables corresponden a condiciones de borde, la primera para modelos de mezcla de sustancias disueltas y la segunda para modelos hidráulicos. Debido a esto, la medición debe ser representativa de la salinidad media de la sección.

4.4.5. CAUDAL DEL RÍO

El caudal del río debe ser aforado el día de muestreo en una sección del cauce en que no se observe influencia de marea. El lugar exacto de aforo debe ser registrado con ayuda de un GPS.

Cabe recordar que para ciertas etapas de la metodología es necesario recurrir a estadísticas de caudales, por lo que es necesario tener información de estaciones fluviométricas cercanas a la desembocadura del cauce analizado.



5.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS RÍOS

5.3.1. RÍO TOLTÉN

El río Toltén se ubica en la Región de la Araucanía. Su origen se encuentra en el Lago Villarrica y se extiende por 120 km hasta su desembocadura en punta Nilhue (Aquambiente Ltda., 2006). El estuario del río Toltén se desarrolla en las cercanías del poblado de Nueva Toltén, encontrándose su desembocadura en Boca Toltén, coordenadas UTM: 653209E, 5653362S (Huso 18S), zona en la que el río presenta un ancho superior a los 500 m (DGA, 2004).

De acuerdo a la subdivisión territorial de las zonas hidrográficas en Chile (Aquambiente LTDA., 2006) el río Toltén se encuentra en la zona número 4, la que se caracteriza por tener ríos tranquilos con regulación lacustre.

En la Figura 5.1 se presenta la curva de variación estacional del río Toltén en la estación fluviométrica Teodoro Schmidt, la que se encuentra ubicada alrededor de 40 km de la desembocadura del Toltén, marcada en la Figura 5.2. De la figura se puede concluir un comportamiento pluvial del río en las cercanías de su estuario. Los mayores caudales ocurren entre junio y agosto, debido a las lluvias de invierno, mientras que el período de estiaje se presenta entre enero y abril.

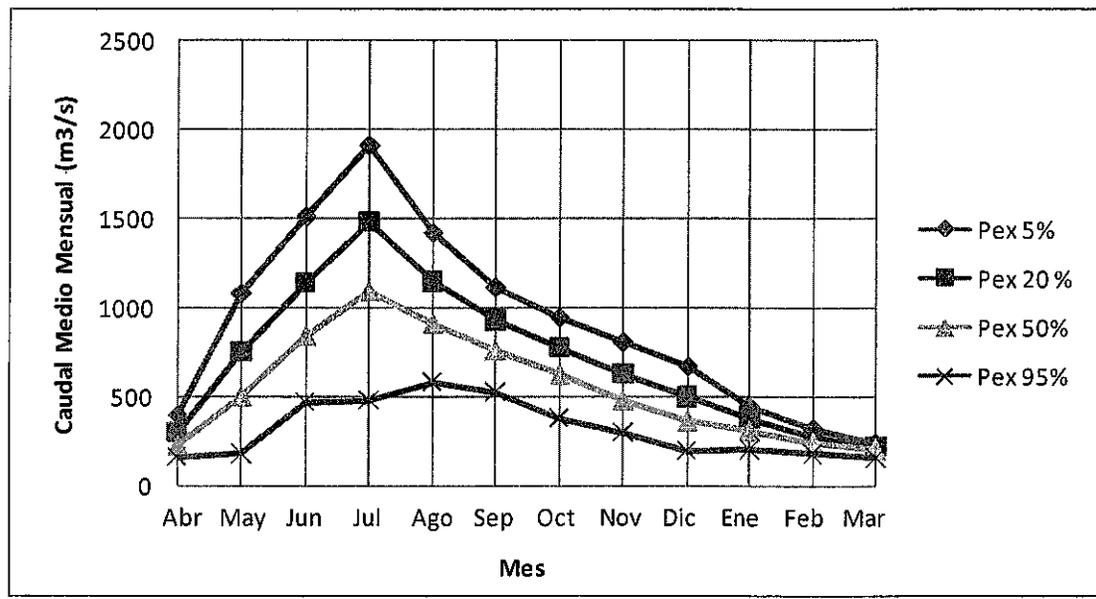


FIGURA 5.1: CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL RÍO TOLTÉN EN TEODORO SCHMIDT.

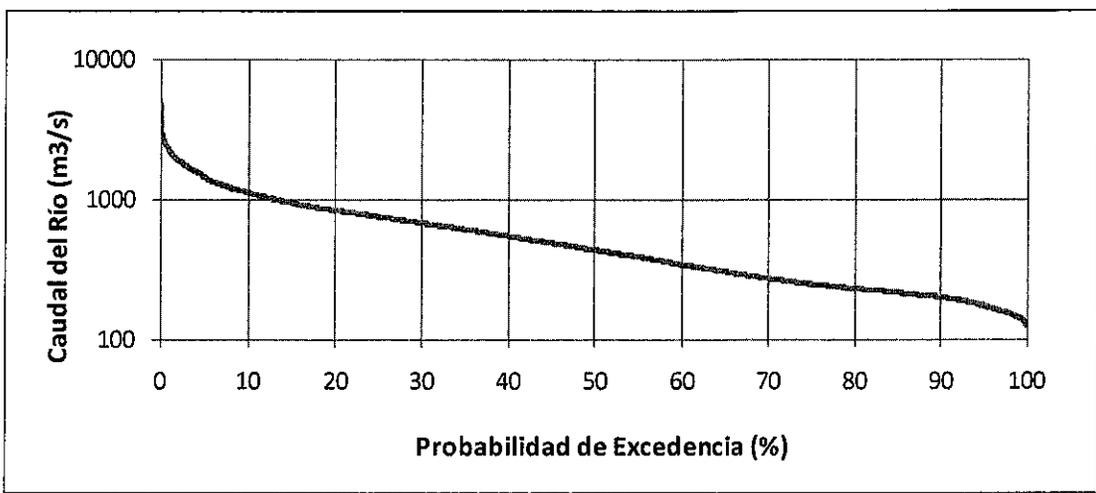
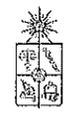


FIGURA 5.3: CURVA DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE CAUDAL RÍO TOLTÉN EN TEODORO SCHMIDT.

5.3.2. RÍO LEBU

El río Lebu se encuentra en la Región del Bío Bío. Su origen se ubica en la Cordillera de Nahuelbuta, mientras que su desembocadura está en la ciudad de Lebu, específicamente en las coordenadas UTM 618049E, 5837964S (Huso 18S).

De acuerdo a datos obtenidos de la estación Lebu en Los Álamos entre los años 1966 y 1982, el río Lebu presenta un régimen pluvial, caracterizado por caudales máximos durante julio y mínimos entre diciembre y abril, lo cual se aprecia en la curva de variación estacional presentada en la Figura 5.4. La ubicación de dicha estación fluviométrica se muestra en la Figura 5.5. Durante el estiaje los caudales presentan valores medios mensuales inferiores a los 10 m³/s, mientras que en invierno son del orden de 100 m³/s (González, 1994).

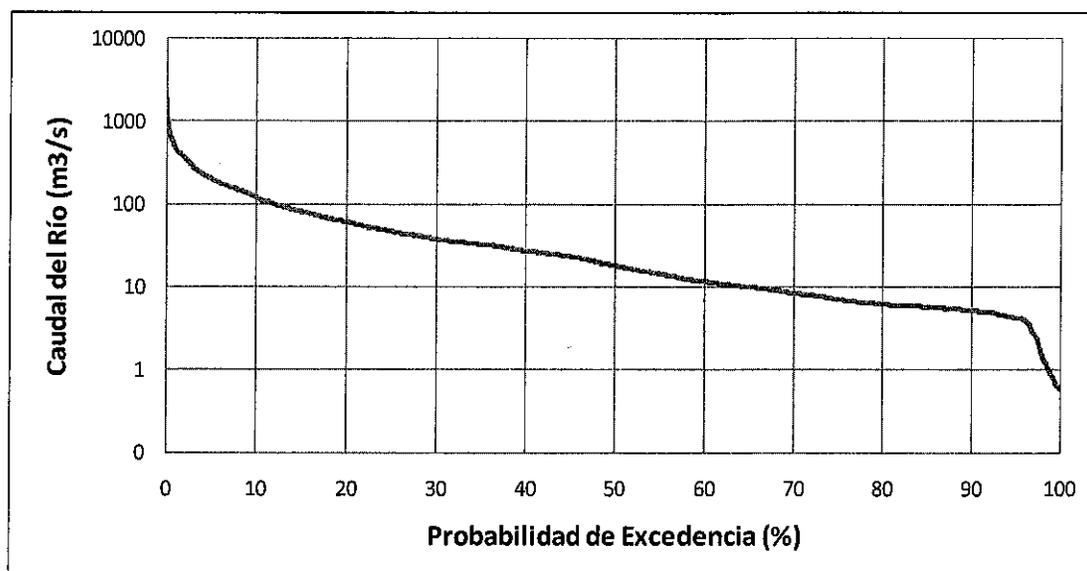


FIGURA 5.6: CURVA DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE CAUDAL RÍO LEBU EN LOS ÁLAMOS.

5.3.3. ESTERO TONGOY

El estero Tongoy está ubicado en la Región de Coquimbo. Su origen se ubica en la Cordillera de la Costa, mientras que su desembocadura se encuentra en la ciudad de Tongoy, específicamente en las coordenadas UTM 260060E, 6650513S (Huso 19S). Su principal fuente de agua dulce es de origen subterráneo durante la mayor parte del año.

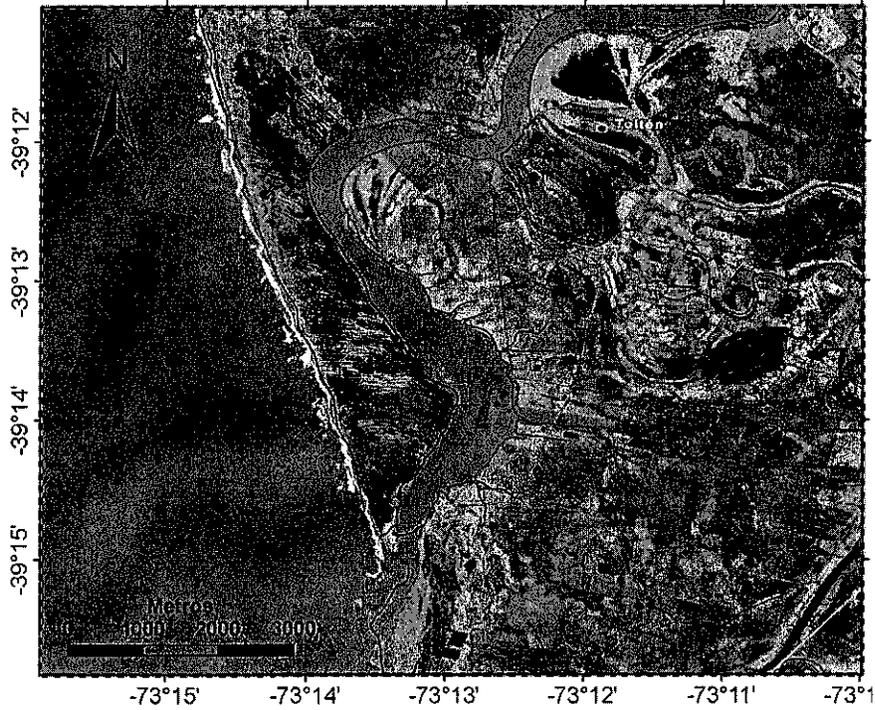
Acorde a lo que muestra la imagen presentada en la Figura 5.7C, el estero se extendería una distancia de 3 km desde su desembocadura hacia aguas arriba. En base a una serie de fotografías satelitales tomadas para diferentes fechas, se puede asumir que dicha longitud se mantiene constante en el transcurso del año. Estimaciones del tiempo de concentración de la cuenca, en conjunto con información de precipitaciones amparan dicho supuesto.

Los bajos aportes de agua dulce que recibe el estero permiten suponer que gran parte del volumen de agua del estuario proviene del mar.

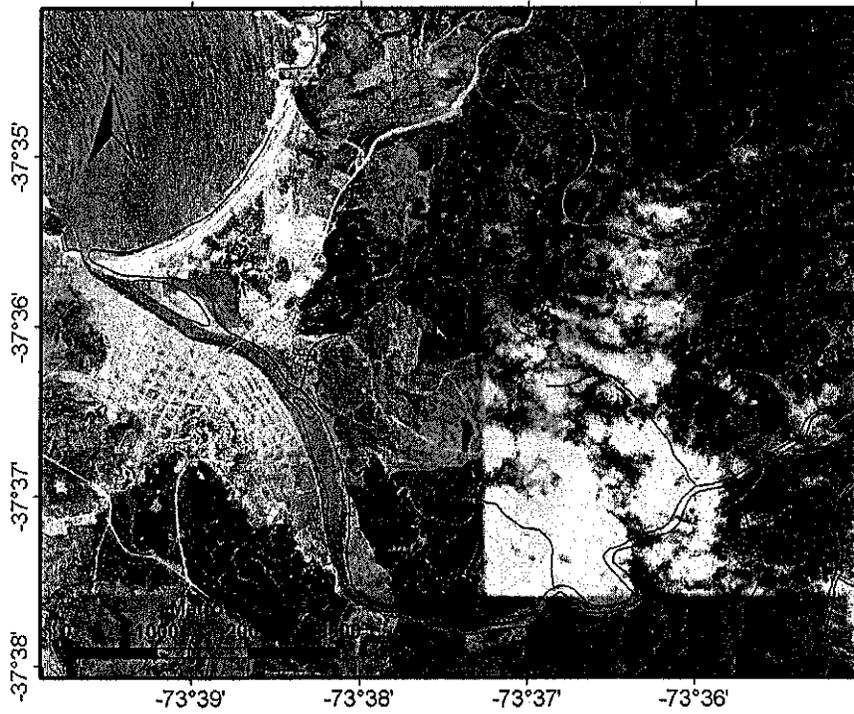
5.4. FECHAS DE MEDICIÓN

Debido a la variación temporal de las principales forzantes de los procesos de mezcla en estuarios, las fechas escogidas para realizar las campañas quedan determinadas por el estado de marea y la variación estacional del caudal afluente al estuario.

En este sentido se definen cuatro escenarios de medición, que corresponden a las diferentes combinaciones de las forzantes:



(A)



(B)



TABLA 5.3: CAUDAL DEL RÍO TOLTÉN PARA LOS DÍAS DE MEDICIÓN.

Fecha	Caudal del Río (m ³ /s)
21 de Enero	187
9 de Marzo	186
14 de Junio	608
19 de Junio	1110

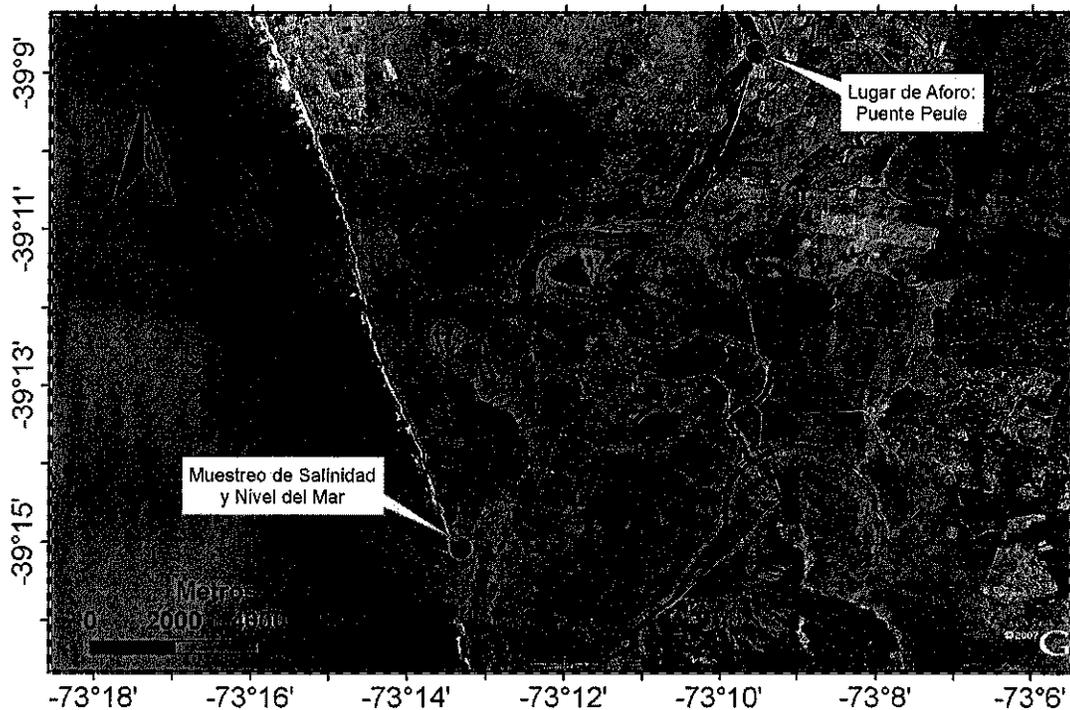
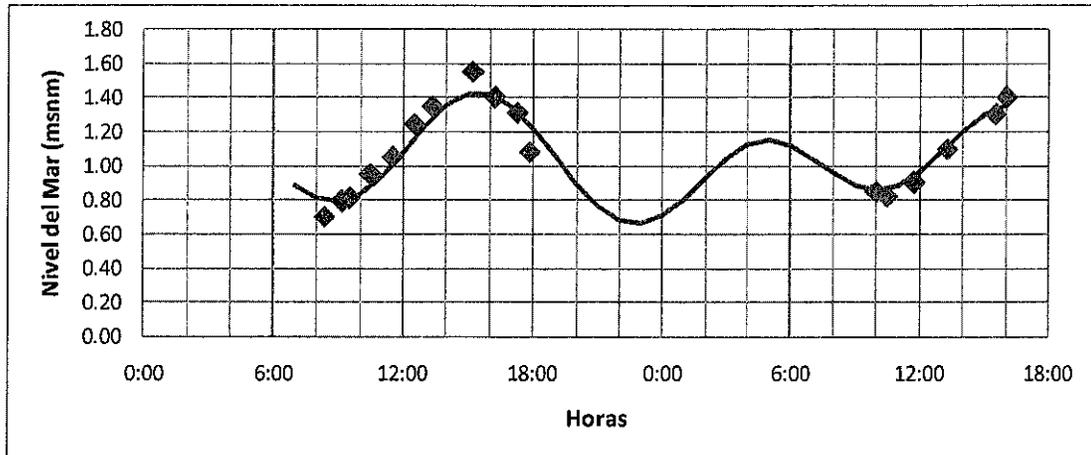


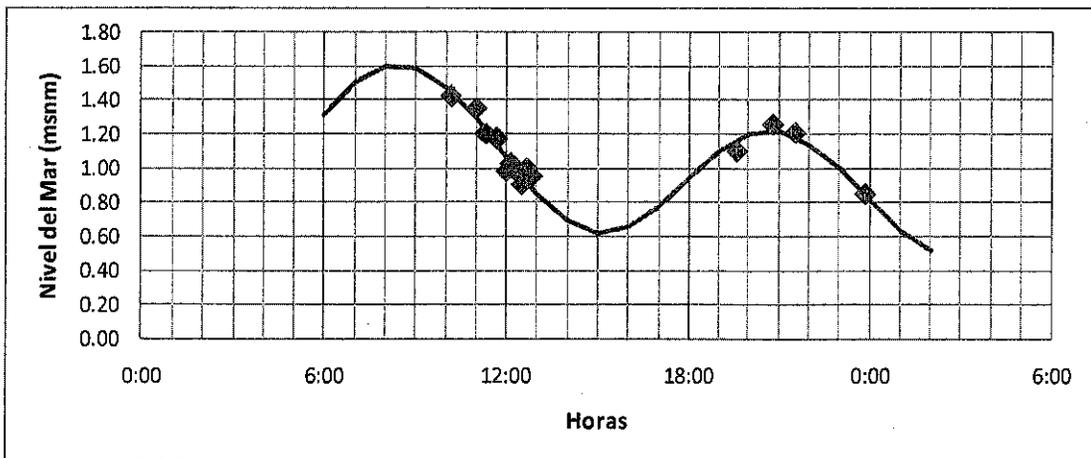
FIGURA 5.8: UBICACIÓN DEL LUGAR DE AFORO Y DE MEDICIÓN DE LA SALINIDAD Y DEL NIVEL DEL MAR EN LA BOCA. RÍO TOLTÉN.

Las diferencias en los caudales existentes entre las campañas de verano y de invierno fueron adecuadas para el análisis de la hidrodinámica del sistema, pudiéndose observar grandes cambios en la estratificación del sistema entre campañas, acorde al comportamiento supuesto en la Tabla 5.1 para este estuario.

La similitud entre los caudales existentes en la primera y segunda campaña de terreno permitió atribuir las diferencias observadas en la intrusión salina exclusivamente al efecto de la marea, dado que en la primera campaña se midió con mareas muertas y en la segunda con mareas vivas.



(C)



(D)

FIGURA 5.9: NIVEL DEL MAR MEDIDA EN TERRENO (MARCAS AZULES) Y OBTENIDO DEL SHOA (LÍNEA ROJA) PARA TOLTÉN. (A) 21 DE ENERO, (B) 9 DE MARZO, (C) 14 DE JUNIO Y (D) 19 DE JUNIO.

La Tabla 5.4 muestra la amplitud y el periodo de la marea para los días de medición.

TABLA 5.4: AMPLITUD Y PERIODO DE LA MAREA SEGÚN CAMPAÑA.

Fecha	Amplitud (m)	Periodo (hrs)
21 de Enero	0.30	11.7
9 de Marzo	0.70	11.9
14 de Junio	0.27	12.9
19 de Junio	0.41	12.9

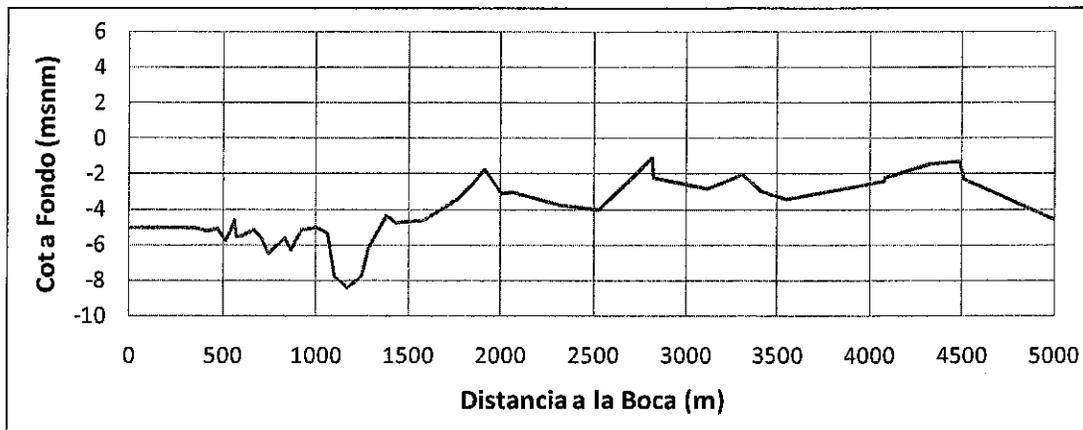


FIGURA 5.10: BATIMETRÍA DEL ESTUARIO DEL RÍO TOLTÉN.

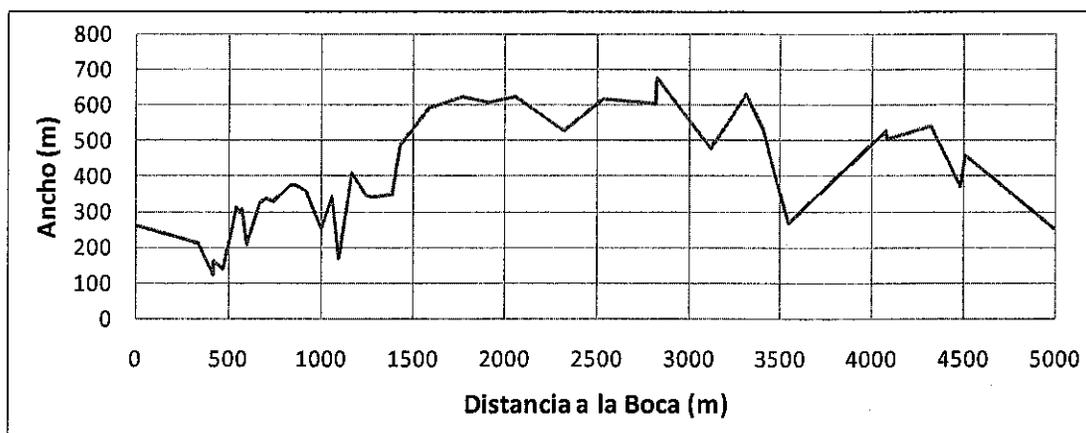


FIGURA 5.11: ANCHO SUPERFICIAL DEL ESTUARIO DEL RÍO TOLTÉN.

En la Tabla 5.6 se muestran los valores medios de la cota de fondo, ancho y pendiente estimados desde la boca hasta 5 km aguas arriba de ella.

TABLA 5.6: PROFUNDIDAD Y ANCHO MEDIOS DEL ESTUARIO DEL RÍO TOLTÉN.

Cota de Fondo Media (msnm)	Ancho Medio (m)	Pendiente (°)
-4.4	403	0.0009

SALINIDAD EN LA BOCA DEL ESTUARIO

En la Tabla 5.7 se muestra la salinidad en la boca asociada al periodo de llenante y la vaciante. La información corresponde al promedio temporal en el periodo de medición y se obtuvo a



En este sentido, la isla ubicada a 2 km de la boca del estuario corresponde a la primera barrera que debe superar el agua marina. Vemos que para la campaña de enero, se midió siempre salinidad nula aguas arriba de la isla. Para la campaña de marzo la intrusión logra superar los 2 km, pero experimentando una fuerte disminución de su salinidad aguas arriba de la isla. En la Figura 5.10 se puede apreciar que a partir del kilómetro 2 la cota del lecho tiende a aumentar paulatinamente hacia aguas arriba, lo cual dificulta el ingreso de agua marina.

Para las campañas de junio, el caudal de agua dulce fue de tal magnitud que independiente del estado de mareas no se tuvo intrusión salina.

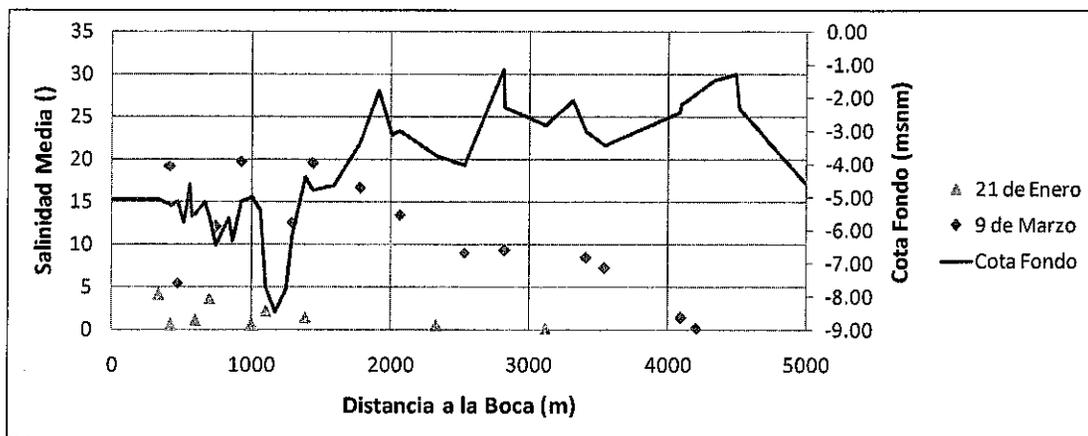


FIGURA 5.12: PERFIL LONGITUDINAL DE SALINIDAD DEL ESTUARIO DEL RÍO TOLTÉN.

En la Tabla 5.9 se muestra la salinidad media del estuario para el día de la medición. La información fue promediada temporalmente en el periodo de medición y espacialmente desde la boca hasta la sección en que se midió salinidad de río (<0.2 g/l), es decir una distancia igual a la longitud de la intrusión mostrada en la Tabla 5.10 para cada campaña.

TABLA 5.9: SALINIDAD MEDIA DEL ESTUARIO DEL RÍO TOLTÉN.

Fecha	Salinidad Media (g/l)
21 de Enero	1.0
9 de Marzo	11.0
14 de Junio	0.0
19 de Junio	0.0

En la Tabla 5.10 se muestra la extensión de la intrusión salina, medida desde la boca hacia aguas arriba, considerando como límite el punto dónde se midió salinidad de río.



coordenadas UTM: 628871E, 5835692S (Huso 18S). Los resultados se muestran en la Tabla 5.11. La Figura 5.14 muestra el lugar en que se realizaron los aforos del caudal y las mediciones del nivel del mar y de la salinidad en la boca del estuario.

TABLA 5.11: CAUDAL DEL RÍO LEBU PARA LOS DÍAS DE MEDICIÓN.

Fecha	Caudal del Río (m ³ /s)
19 de Enero	5.6
11 de Marzo	4.0
12 de Junio	4.3
22 de Junio	35.4

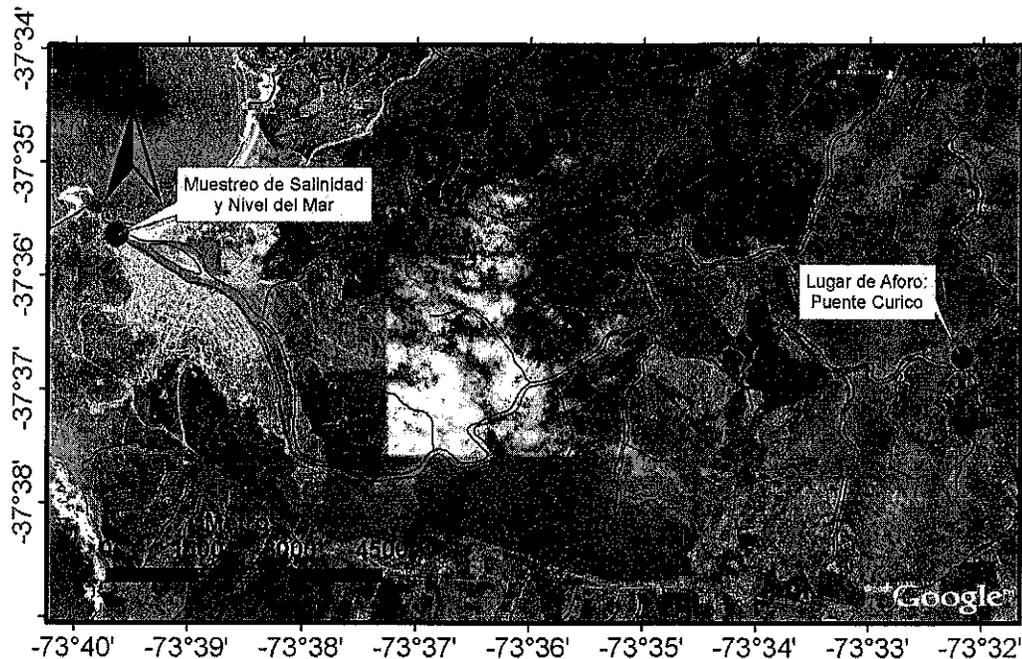
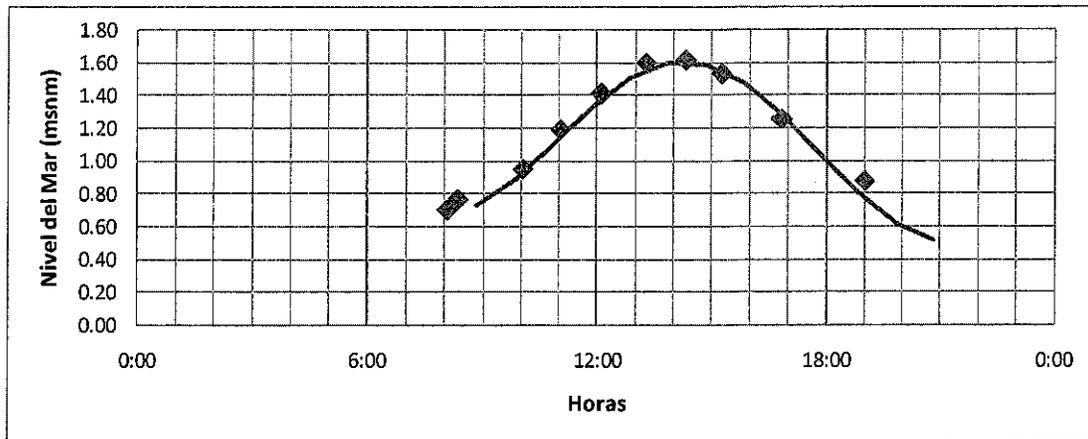
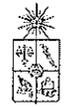
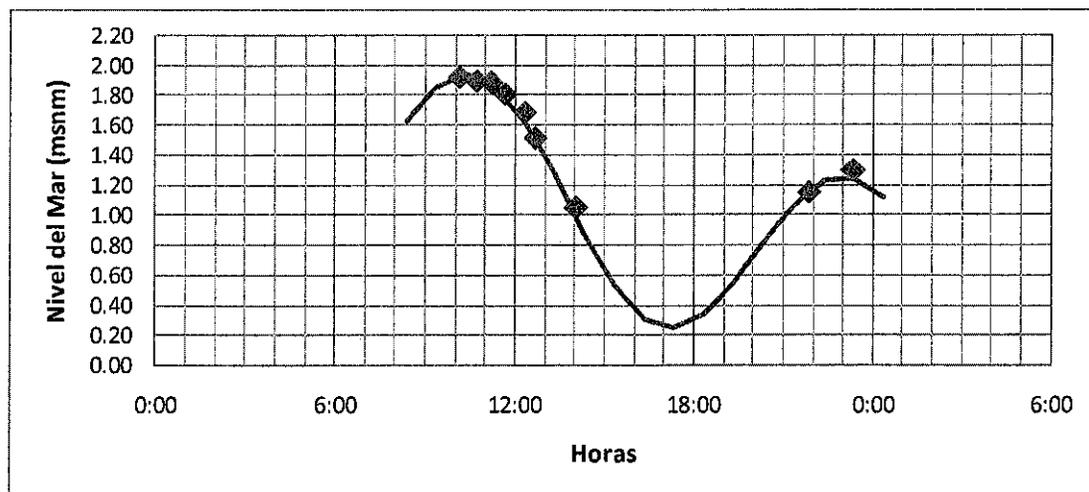


FIGURA 5.14: UBICACIÓN DEL LUGAR DE AFORO Y DE MEDICIÓN DE LA SALINIDAD Y DEL NIVEL DEL MAR EN LA BOCA. RÍO LEBU.

La similitud entre los caudales medidos en las tres primeras campañas fue de algún modo perjudicial para el estudio, debido a que no se pudo observar grandes cambios en la estratificación del estuario, salvo para la última campaña, teniéndose en ésta intrusión en forma de cuña salina. Sin embargo, el haber medido para caudales similares fue de utilidad para observar la influencia de la marea en el sistema.



(C)



(D)

FIGURA 5.15: NIVEL DEL MAR MEDIDO EN TERRENO (MARCAS AZULES) Y OBTENIDO DEL SHOA (LÍNEA ROJA) PARA LEBU. (A) 19 DE ENERO, (B) 11 DE MARZO, (C) 12 DE JUNIO Y (D) 22 DE JUNIO.

La Tabla 5.12 muestra la amplitud y el periodo de la marea para los días de medición.

TABLA 5.12: AMPLITUD Y PERIODO DE LA MAREA SEGÚN CAMPAÑA.

Fecha	Amplitud (m)	Periodo (hrs)
19 de Enero	0.27	12.2
11 de Marzo	0.62	12.2
12 de Junio	0.40	12.7
22 de Junio	0.64	13.1

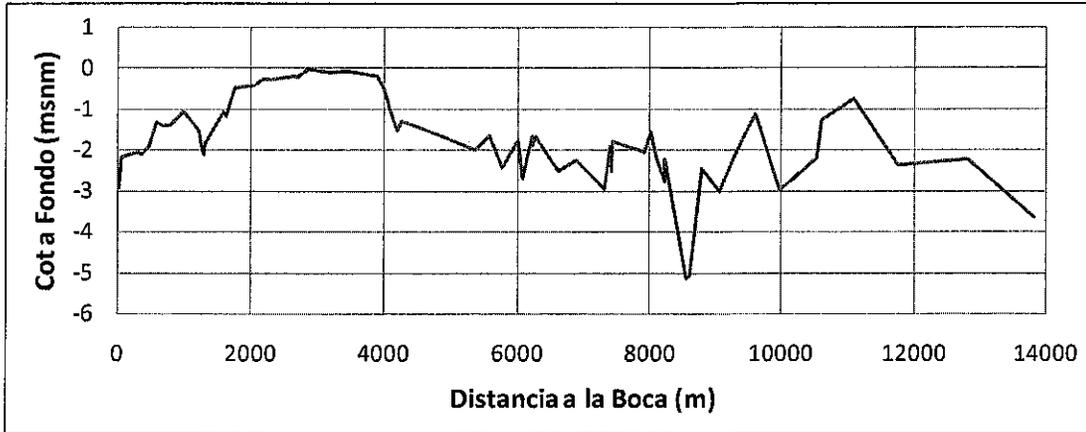


FIGURA 5.16: BATIMETRÍA DEL ESTUARIO DEL RÍO LEBU.

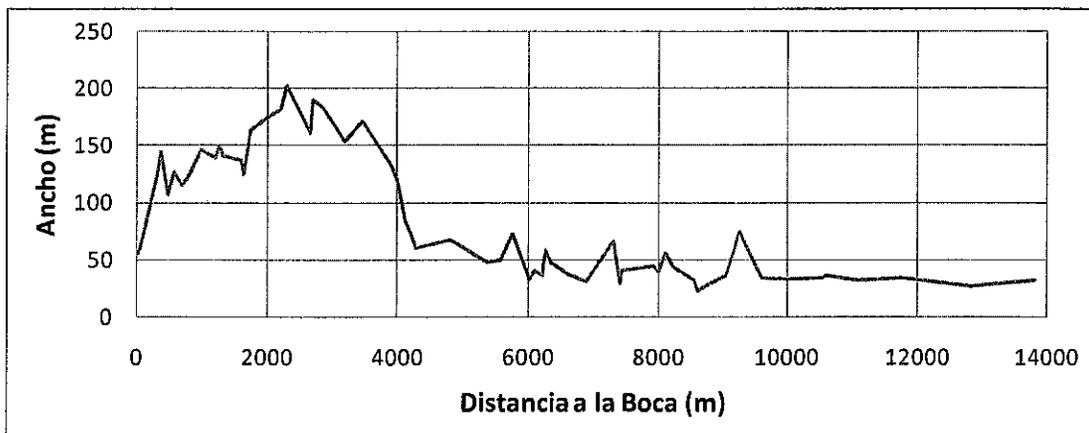


FIGURA 5.17: ANCHO SUPERFICIAL DEL ESTUARIO DEL RÍO LEBU.

En la Tabla 5.14 se muestran los valores medios de la cota de fondo, ancho y pendiente estimados desde la boca hasta 13.8 km aguas arriba de ella.

TABLA 5.14: PROFUNDIDAD Y ANCHO MEDIOS DEL ESTUARIO DEL RÍO LEBU.

Cota de Fondo Media (msnm)	Ancho Medio (m)	Pendiente (°)
-1.8	85	-0.0001

SALINIDAD EN LA BOCA DEL ESTUARIO

En la Tabla 5.15 se muestra la salinidad en la boca asociada al periodo de llenante y de vaciante. La información corresponde al promedio temporal en el periodo de medición y se



las tres campañas, lo cual se puede deber a la incapacidad del caudal de estiaje del río para remover volúmenes de agua marina alejados de la boca.

Para la campaña del 22 de junio se tuvo una intrusión salina mucho menor tanto en extensión como en magnitud de las salinidades medidas, fenómeno asociado al aumento del caudal del río.

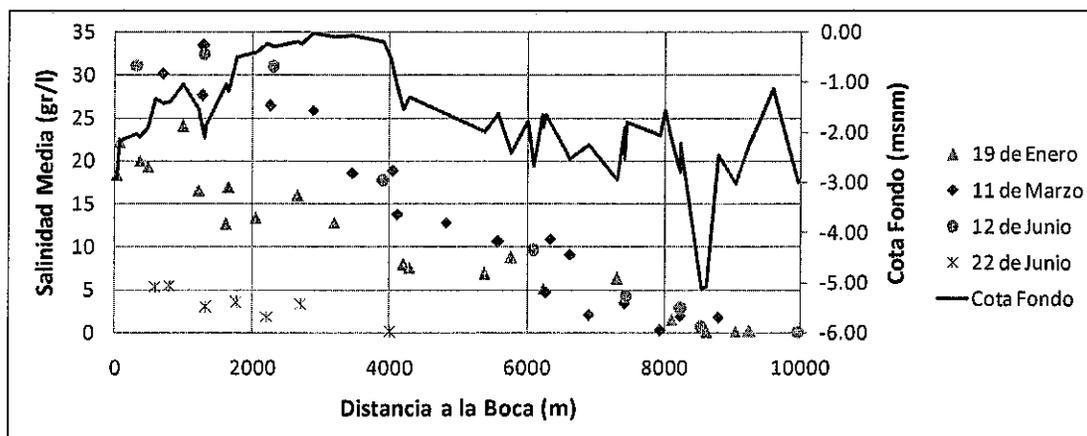


FIGURA 5.18: PERFIL LONGITUDINAL DE SALINIDAD.

En la Tabla 5.17 se muestra la salinidad media del estuario para el día de muestreo. La información fue promediada temporalmente en el periodo de medición y espacialmente desde la boca hasta la sección en que se midió salinidad de río (<0.2 g/l), es decir una distancia igual a la longitud de la intrusión mostrada en la Tabla 5.18 para cada campaña.

TABLA 5.17: SALINIDAD MEDIA DEL ESTUARIO.

Fecha	Salinidad Media (g/l)
19 de Enero	9.6
11 de Marzo	14.8
12 de Junio	18.0
22 de Junio	2.7

En la Tabla 5.18 se muestra la extensión de la intrusión salina, medida desde la boca hacia aguas arriba, considerando como límite el punto dónde se midió salinidad de río.

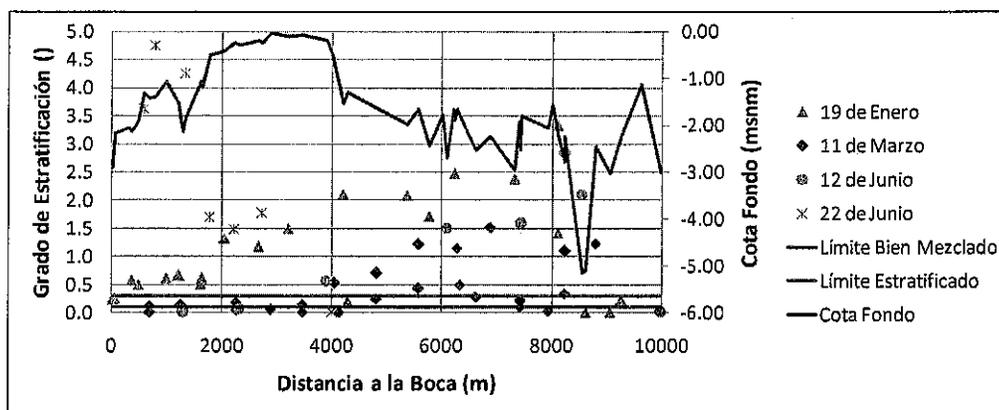


FIGURA 5.19: VARIACIÓN DEL GRADO DE ESTRATIFICACIÓN EN LA LONGITUDINAL.

5.5.3. ESTERO TONGOY

CAUDAL DEL RÍO

Para las dos campañas realizadas no se observó aporte de escorrentía superficial al estero Tongoy, debido a lo cual no fue necesario realizar aforos.

TABLA 5.19: CAUDAL DEL ESTERO TONGOY PARA LOS DÍAS DE MEDICIÓN.

Fecha	Caudal del Estero (m ³ /s)
7 de Abril	0
7 de Julio	0

La falta de escorrentía superficial para los días de muestreo fue de algún modo perjudicial para el análisis de la hidrodinámica del sistema, en el sentido de que no se pudo observar claramente el efecto de la mezcla de agua dulce con agua de mar. Sin embargo se considera útil la información obtenida, dado que el comportamiento de este estero es representativo de otros cursos de agua de la zona norte.

ESTADO DE MAREAS

La Figura 5.20A y la Figura 5.20B muestran la variación del nivel del mar medida en la boca del estuario, coordenadas UTM: 260060E, 6650513S (Huso 19S), comparadas con la información entregada por el SHOA obtenida en Coquimbo, para las dos campañas. Dicha información fue corregida, desfasándose en el tiempo, de modo que coincidiera con la serie de datos medida en terreno. Las cotas están referidas al nivel de reducción de sonda (NRS).



La Tabla 5.20 muestra la amplitud y el periodo del nivel del estuario en su boca para los días de medición.

TABLA 5.20: AMPLITUD Y PERIODO DE LA MAREA SEGÚN CAMPAÑA.

Fecha	Amplitud (m)	Periodo (hrs)
7 de Abril	0.08	12.1
7 de Julio	0.23	12.9

En la Tabla 5.21 se muestra la magnitud del tiempo en que se encontró desfasada la onda de marea, entre Coquimbo y la desembocadura del estero Tongoy para las fechas de medición, obtenida mediante el ajuste de la serie datos del SHOA a partir de la medida en terreno.

TABLA 5.21: TIEMPO DE DESFASE DE LA ONDA DE MAREA.

Fecha	Tiempo de Desfase de la Onda (min)
7 de Abril	40
7 de Julio	30

MORFOLOGÍA

En la Figura 5.21 y Figura 5.22 se muestra el perfil longitudinal de la batimetría (cota de fondo mínima en la transversal) y del ancho superficial del estero Tongoy, luego de haber procesado y corregido la información de las dos campañas realizadas.

En general no se observa gran variación de la cota de fondo en la longitudinal, salvo en el extremo de aguas arriba del estuario, en dónde se ubica una fosa de gran profundidad.

Desde la boca hasta alrededor de 700 m aguas arriba, se tiene una cota de fondo mayor al nivel medio del mar, lo cual permite el ingreso de aguas desde éste solo para condiciones de alto nivel de marea y oleaje.



obtuvo a partir de mediciones en la orilla del cauce, que se supusieron representativas de la salinidad en la sección.

TABLA 5.23: SALINIDAD EN LA BOCA DEL ESTUARIO DURANTE LA LLENANTE Y VACIANTE.

Fecha	Salinidad Llenante (g/l)	Salinidad Vaciante (g/l)
7 de Abril	32	27
7 de Julio	34	28

En base a los valores de la tabla anterior y utilizando la Ecuación (3.11) es posible encontrar la fracción de agua marina renovada que entra al estuario en el periodo de llenante para cada campaña de medición, mostrada en la Tabla 5.24.

TABLA 5.24: COEFICIENTE DE INTERCAMBIO.

Fecha	Coefficiente de Intercambio, R (%)
7 de Abril	71
7 de Julio	100

SALINIDAD AL INTERIOR DEL ESTUARIO

La Figura 5.23 muestra la variación de la salinidad en la longitudinal para todos los terrenos.

Para ambos terrenos se midió salinidad cercana a la del mar a lo largo de todo el estero, el cual tenía una extensión total de 3 km en las fechas de medición. En general no se observaron gradientes longitudinales de salinidad, ni estratificación en la vertical. En base a las mediciones se concluye que gran parte del volumen de agua del estero es de procedencia marina.

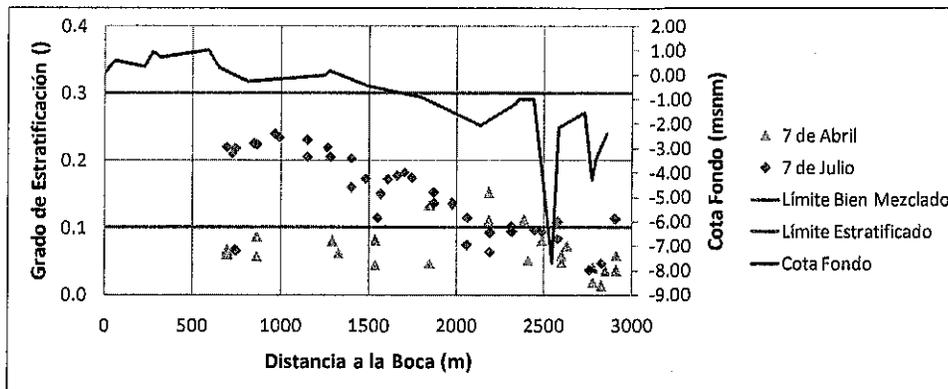


FIGURA 5.24: VARIACIÓN DEL GRADO DE ESTRATIFICACIÓN EN LA LONGITUDINAL.

5.6. RESUMEN DE RESULTADOS

TABLA 5.27: RESUMEN DE DATOS DE TERRENO PARA RÍO TOLTÉN.

Fecha	Caudal del Río (m ³ /s)	Amplitud Marea (m)	Coefficiente de Intercambio (%)	Salinidad Media (g/l)	Extensión Intrusión (km)
21 de Enero	187	0.3	26	1	3.1
9 de Marzo	186	0.7	27	11	4.2
14 de Junio	608	0.27	--	--	--
19 de Junio	1110	0.41	--	--	--

TABLA 5.28: RESUMEN DE DATOS DE TERRENO PARA RÍO LEBU.

Fecha	Caudal del Río (m ³ /s)	Amplitud Marea (m)	Coefficiente de Intercambio (%)	Salinidad Media (g/l)	Extensión Intrusión (km)
19 de Enero	5.6	0.27	78	10	9.3
11 de Marzo	4.0	0.62	17	15	9.4
12 de Junio	4.3	0.4	100	18	9.2
22 de Junio	35.4	0.64	8	3	3.5

TABLA 5.29: RESUMEN DE DATOS DE TERRENO PARA ESTERO TONGOY.

Fecha	Caudal del Río (m ³ /s)	Amplitud Marea (m)	Coefficiente de Intercambio (%)	Salinidad Media (g/l)	Extensión Intrusión (km)
7 de Abril	0	0.08	71	24	2.9
7 de Julio	0	0.23	100	28	2.9



$$Q_{\text{Límite}} = 0.8 \cdot \frac{\rho}{\Delta\rho} \cdot \frac{W \cdot u_t^3}{g} \tag{6.1}$$

Donde $Q_{\text{Límite}}$ corresponde al caudal del río por sobre el cual se comienza a tener intrusión en forma de cuña salina, W al ancho medio del estuario, g a la aceleración de gravedad, $\rho/\Delta\rho$ a la diferencia entre la densidad del agua de mar y agua dulce, y u_t a la velocidad cuadrática media de la marea en la boca que se puede aproximar por 0.71 veces la amplitud de la velocidad en la boca u_0 .

La modelación en HEC-RAS para obtener u_t se realizó considerando mareas de sicigia (serie del 9 de marzo), debido a que corresponde a la condición que implica mayor extensión de la cuña salina. Finalmente se llegó a un valor de 7.5 m³/s. para $Q_{\text{Límite}}$. Dado que el caudal con probabilidad de excedencia del 95% vale 174 m³/s que es mayor a 7.5 m³/s, se considera finalmente $Q_{\text{Límite}} = 174$ m³/s.

TABLA 6.1: INFORMACIÓN UTILIZADA PARA OBTENER $Q_{\text{LÍMITE}}$.

Parámetro	Valor
W (m)	388
ρ río (kg/m ³)	1000
ρ océano (kg/m ³)	1025
u_t (m/s)	0.18

6.2.3. EXTENSIÓN DE LA CUÑA SALINA

Para determinar la máxima intrusión de la cuña salina y así poder definir el límite de la *Zona de Cuña Salina* se utiliza el modelo de Olivares (2000) según la guía que se incluye en el Anexo I. La información utilizada para correr el modelo se muestra en la Tabla 6.2, mientras que la batimetría se obtiene de la Figura 5.10.

TABLA 6.2: INFORMACIÓN UTILIZADA PARA OBTENER EXTENSIÓN DE CUÑA SALINA.

Parámetro	Valor
Caudal límite (m ³ /s)	174
Ancho medio (m)	372
Profundidad media (m)	2.9
Nivel del mar (msnm)	1.01
Amplitud velocidad boca (m/s)	0.2
Densidad cuña (Kg/m ³)	1025

El modelo de Olivares (2000) entrega finalmente una extensión para la cuña salina de 7.8 km.



6.2.7. RESUMEN

En la Tabla 6.3 se muestran las extensiones de las zonas características del estuario, mientras que en la Figura 6.3 se muestra la variación del caudal de dilución a lo largo del estuario.

TABLA 6.3: ZONAS DE DIVISIÓN DEL ESTUARIO.

Zona	Límite Aguas Arriba (km)	Límite Aguas Abajo (km)
Influencia de Marea	13.4	7.8
Zona de Mezcla Parcial	No Existe	No Existe
Zona de Cuña Salina	7.8	0

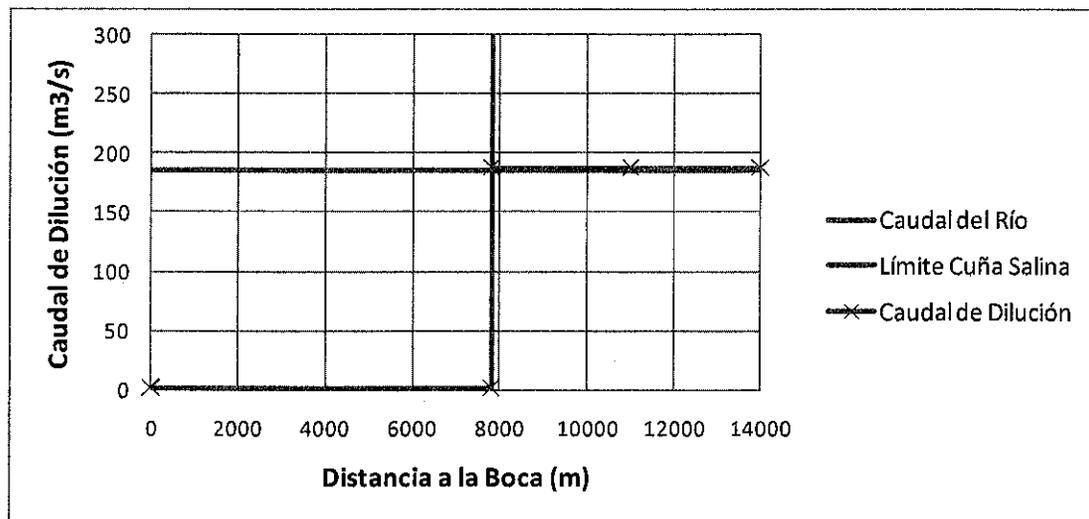


FIGURA 6.3. CAUDALES DE DILUCIÓN PARA EL ESTUARIO DEL RÍO TOLTÉN.

6.3. RÍO LEBU

6.3.1. LÍMITE DEL ESTUARIO CON EL RÍO

Considerando la definición de estuario en términos de la máxima intrusión de la onda de marea, se llega a una extensión de 26.8 km considerando un nivel de marea de 1.93 m (pleamar de sicigia de la serie del 22 de junio). La Figura 6.4 muestra como se obtuvo la extensión, conocida la batimetría.



6.3.1. EXTENSIÓN DE LA CUÑA SALINA

Para determinar la máxima intrusión de la cuña salina y así poder definir el límite de la *Zona de Cuña Salina* se utiliza el modelo de Olivares (2000) según la guía que se incluye en el Anexo I. La batimetría se obtiene de la Figura 5.16, mientras que la información utilizada para correr el modelo se muestra en la Tabla 6.5.

TABLA 6.5: INFORMACIÓN UTILIZADA PARA OBTENER EXTENSIÓN DE CUÑA SALINA.

Parámetro	Valor
Caudal (m ³ /s)	8.7
Ancho medio (m)	101
Profundidad media (m)	1.4
Nivel del mar (msnm)	1.02
Amplitud velocidad boca (m/s)	0.4
Densidad cuña (Kg/m ³)	1025

El modelo de Olivares (2000) entrega una extensión para la cuña salina de 4.2 km. Notamos que esta distancia es mayor a la intrusión en forma de cuña salina medida en Lebu para la campaña del 22 de junio, que arrojó 3.5 km, por lo que el resultado obtenido se encuentra por el lado de la seguridad.

6.3.1. EXTENSIÓN DE LA ZONA DE MEZCLA PARCIAL

Para determinar la máxima intrusión en forma de mezcla parcial y así poder definir el límite de la *Zona de Mezcla Parcial* se realiza una modelación en HEC-RAS según la guía del Anexo II. Acorde a la metodología propuesta, se utiliza para correr los modelos el caudal con probabilidad de excedencia de 95%, igual a 4.3 m³/s, según la información obtenida en la estación fluviométrica de la DGA en Los Álamos. Se utiliza además la serie de nivel del mar del 22 de junio (mareas de sicigia).

Finalmente, se determinó del modelo HEC-RAS que la salinidad disminuye por debajo de 0.2 g/l a 10.3 km de la boca, por lo que se considera ésta la extensión de la intrusión en forma de mezcla parcial.

Para la modelación de HEC-RAS se utilizaron los coeficientes de dispersión mostrados en la Figura 6.5 obtenidos mediante la Ecuación (3.7), utilizando la información de salinidad obtenida para la campaña del 12 de junio, dado que en ésta se tuvo un caudal de 4.3 m³/s similar al caudal con probabilidad de excedencia del 95% utilizado para la modelación. Para el tramo sin mediciones de salinidad se utilizó la Ecuación (3.8) para obtener los coeficientes de dispersión.

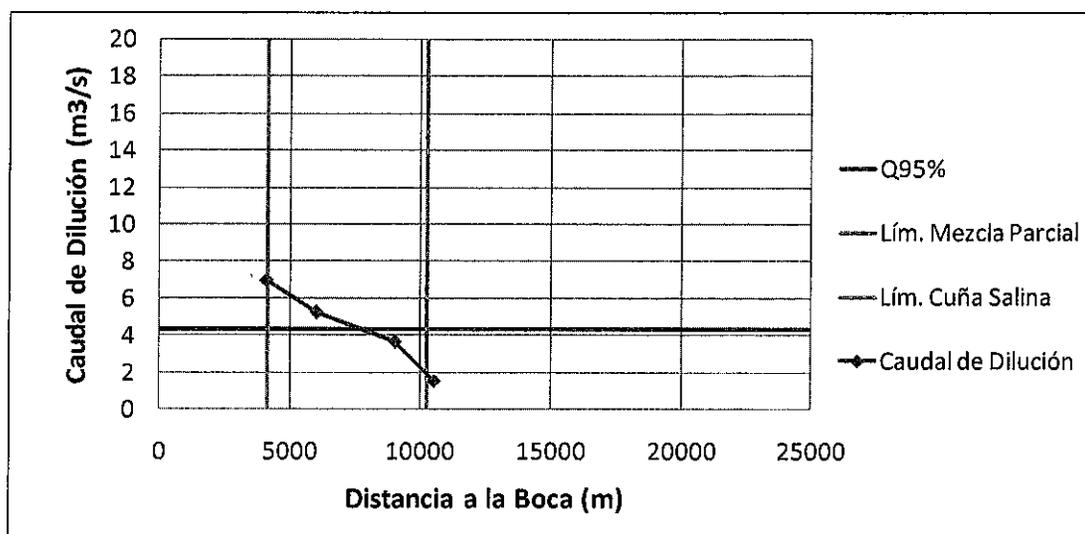


FIGURA 6.6. CAUDALES DE DILUCIÓN PARA EL ESTUARIO DEL RÍO LEBU.

6.3.1. CAUDAL DE DILUCIÓN EN LA ZONA SIN INTRUSIÓN

Para determinar el caudal de dilución en esta zona se ocupa HEC-RAS, según las indicaciones de la guía incluida en el Anexo II. Los coeficientes de dispersión se obtuvieron a partir de la Ecuación (3.7) (aplicable donde existen mediciones de salinidad) para el tramo entre los 0 y 10.3 km y a partir de la Ecuación (3.8) (válida para ríos) desde los 10.3 km de la boca hacia aguas arriba. Además se consideró la serie del nivel del mar del 22 de junio (marea de sicigia). El resultado se entrega en la Figura 6.7.

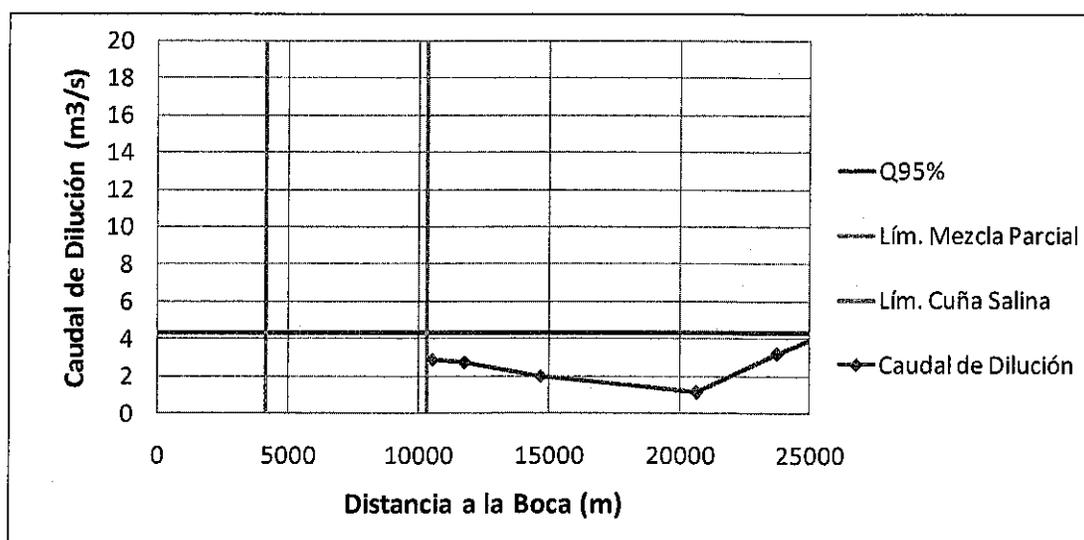


FIGURA 6.7. CAUDALES DE DILUCIÓN PARA EL ESTUARIO DEL RÍO LEBU.



acuerdo a mediciones de precipitación de la estación Cerrillos Pobres, ubicada en la cuenca de la Quebrada de Camarones, entre los años 1962 y 1968 (sin contar 1966), precipitó un total de 51 días. Esto da una probabilidad de precipitación de 2.3%. La cota máxima de la cuenca del estero Tongoy es superior a los 1200 msnm, mientras que la longitud de la quebrada que define el estero es de alrededor de 20 km. La superficie de la cuenca es de alrededor de 300 km². Con estos datos, se puede estimar el tiempo de concentración de la cuenca, lo que se lleva a cabo por medio de los métodos de California y de Giandotti, presentados en las Ecuaciones (6.3) y (6.4), respectivamente.

$$t_c = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385} \quad (6.3)$$

$$t_c = 60 \cdot \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H}} \quad (6.4)$$

Donde t_c al tiempo de concentración en segundos, A corresponde al área de la cuenca en km², H al desnivel en metros, L a la longitud del cauce principal en km.

Los resultados entregados por los modelos indican que el tiempo de concentración para la cuenca del estero Tongoy es de menos de 5 horas (2 horas para el método de California y 3.5 horas para el de Giandotti). Considerando el bajo tiempo de concentración y la probabilidad de asociada a la precipitación, se puede concluir que el estuario presenta un caudal afluente durante muy pocas ocasiones en el año, y que estos corresponden principalmente a pulsos ocasionados por la precipitación, que rápidamente llegan a la zona costera. Por lo tanto, se puede asegurar que la condición normal del sistema es la observada en terreno para las fechas de medición. Debido a que la probabilidad de recibir aporte de aguas superficiales es baja, no tiene sentido definir las zonas de mezcla antes propuestas. Por las razones antes mencionadas, se impone arbitrariamente un caudal de dilución nulo para toda la extensión del estuario.



$$Q_{\text{Límite}} = 0.8 \cdot \frac{W \cdot u_t^3}{\Delta\rho/\rho \cdot g} \quad (7.1)$$

7.2.1. TOLTÉN

En terreno se observó intrusión en forma de cuña salina para las campañas del 21 de enero y 9 de marzo, mientras que para las campañas de junio no se tuvo intrusión. Luego se espera encontrar valores de $Q_{\text{Límite}}$ inferiores al caudal del río para las campañas del 21 de enero y 9 de marzo, mientras que para las campañas de junio no tiene sentido preguntarse por $Q_{\text{Límite}}$. En la Tabla 7.2 se muestran los caudales límites obtenidos y aforados en terreno.

TABLA 7.2: VALIDACIÓN DEL MODELO PARA $Q_{\text{LÍMITE}}$.

Fecha	u_t (m/s)	W (m)	$Q_{\text{Río}}$ (m ³ /s)	$Q_{\text{Límite}}$ (m ³ /s)
21 de Enero	0.10	388	186	1
9 de Marzo	0.28	388	187	28

Finalmente se concluye que los resultados entregados por el modelo concuerdan con las mediciones en terreno para el río Toltén.

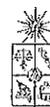
7.2.1. LEBU

En terreno se observó intrusión en forma de cuña salina solo para la campaña del 22 de junio. Para el resto de las campañas la intrusión fue en forma de mezcla parcial. Luego se esperaría obtener valores de $Q_{\text{Límite}}$ inferiores al del río solo para la campaña del 22 de junio. En la Tabla 7.3 se muestran los caudales límites obtenidos y aforados en terreno.

TABLA 7.3: VALIDACIÓN DEL MODELO PARA $Q_{\text{LÍMITE}}$.

Fecha	u_t (m/s)	W (m)	$Q_{\text{Río}}$ (m ³ /s)	$Q_{\text{Límite}}$ (m ³ /s)
19 de Enero	0.22	85	5.6	3.0
11 de Marzo	0.58	85	4.0	54.1
12 de Junio	0.34	85	4.3	10.9
22 de Junio	0.39	85	35.4	16.5

Luego se obtienen valores para $Q_{\text{Límite}}$ consistentes con la teoría, salvo para la campaña de enero. Lo que explica dicho fenómeno es que a pesar de que no se observó intrusión en forma



7.3.2. LEBU

Para validar el modelo de Olivares (2000) se recurre a la única campaña en que se observó intrusión en forma de cuña salina para el estuario del río Lebu, es decir la del 22 de junio.

Los datos de entrada para la modelación en el río Lebu se presentan en la Tabla 7.6, mientras que los resultados se incluyen en la Tabla 7.7, en la que son comparadas las longitudes de la intrusión real y la modelada para los dos casos considerados.

TABLA 7.6: DATOS UTILIZADOS PARA LA MODELACIÓN.

Campaña de terreno	Caudal (m ³ /s)	H marea (msnm)	Profundidad media (m)	Ancho medio (m)	Velocidad Boca (m/s)
22 de Junio	35.4	1.03	2.4	124	0.4

TABLA 7.7: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN.

Campaña de terreno	Longitud real (m)	Olivares (m)	Arita y Jirka (m)	Schijf y S. (m)	Keulegan (m)
22 de Junio	3500	3148	755	1435	736

Se observa que el modelo de Olivares (2000) entrega una extensión inferior a la medida en terreno. Sin embargo, a partir de las mediciones de salinidad y de batimetría, se concluye que las salinidades medidas aguas arriba de los 4 kilómetros corresponden a agua marina estancada por el efecto de una grada ubicada entre los 2 y 4 kilómetros, apreciable en la Figura 5.16. Efectos como el anterior no son tomados en cuenta por el modelo de Olivares (2000).

7.4. VALIDACIÓN DE MODELACIÓN DE HEC-RAS

Se comparan las extensiones de la intrusión en forma de mezcla parcial medidas en las campañas del 19 de enero, 11 de marzo y 12 de junio con los resultados entregados por HEC-RAS. Para la modelación se consideran las condiciones de marea y de caudal afluente medidas en terreno, además de mediciones de salinidad realizadas por González (1994), presentadas en el Anexo V. A modo de comparación se presentan los resultados obtenidos a partir de modelos alternativos a HEC-RAS.

Los resultados de la estimación de la longitud de la intrusión salina para las tres campañas de terreno analizadas se presentan en la Tabla 7.8. El detalle de los modelos alternativos utilizados se entrega en el Anexo III.



$$f = 2 \cdot \Omega \cdot \text{seno}(\phi) \tag{7.3}$$

Donde f corresponde a la frecuencia de coriolis, W corresponde a la velocidad angular de la tierra y ϕ es la latitud.

Radio de Rossby menores a 0.1 indican que el efecto de coriolis es importante.

Para el cálculo de R_o , se considera la zona más ancha del río Toltén y las condiciones en las que la velocidad del flujo es menor (campañas de enero y marzo), de modo de tener la condición más crítica respecto al efecto de coriolis. Los datos utilizados y los radios obtenidos se presentan en la Tabla 7.9.

TABLA 7.9: DATOS PARA CÁLCULO DE EFECTO DE CORIOLIS.

Latitud (°)	f (rad/s)	A (m ²)	Q (m ³ /s)	U (m/s)	W (m)	Ro ()
39.67	9.31 E-05	1400	187	0.13	600	2.4

Dado que el radio de Rossby obtenido es mayor a 0.1 se concluye que el efecto de coriolis es despreciable, por lo que es válido aplicar la metodología para determinar caudales de dilución desarrollada.



8.4. RECOMENDACIONES

La metodología desarrollada debe ser aplicada a otros estuarios piloto, de modo de ajustar los modelos propuestos a la realidad de los estuarios existentes en el territorio nacional. En el mismo sentido se propone analizar el alcance de la aplicabilidad de HEC-RAS a través del uso de modelos numéricos más avanzados que contemplen el uso mallas bi- o tridimensionales. A su vez se recomienda validar el modelo de cuña salina de Olivares (2000) con uno que considere la variación temporal existente producto del fenómeno de marea.

Finalmente debe quedar claro que la metodología desarrollada no es aplicable a fiordos, lagunas costeras ni humedales costeros.



GOBIERNO DE CHILE
 MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
 DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
 DEPARTAMENTO DE CONS. Y PROT. DE REC. HID.



fcfm

Ingeniería Civil
 FACULTAD DE CIENCIAS
 FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 UNIVERSIDAD DE CHILE

Ministerio Secretaría General de la Presidencia (2001), "Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales", Decreto Supremo N°90/2000.

Miranda, J. (2000). "Estudio analítico y experimental de los efectos de la batimetría en la intrusión salina en estuarios estratificados". Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.

Niño, Y., Tamburrino, A. (2002) Apuntes del curso Hidrodinámica Ambiental.

Olivares, M. (2000). "Estudio analítico-numérico y experimental de la cuña salina en estuarios". Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.

Savenije, H. (2005). "Salinity and Tides in Alluvial Estuaries". Elsevier BV.

Stuardo, J., Valdovinos, C. (1989) "Estuarios y lagunas costeras: Ecosistemas importantes del Chile central". Amb y Des, 1, pp 107-115

U.S. Environmental Protection Agency (1997), "Development of Mixing Zone Dilution Factors".

U.S. Environmental Protection Agency (1991), "Technical Support Document for Water Quality-based Toxics Control".



Marea de gran amplitud, que ocurre para luna llena o nueva.

Vaciante:

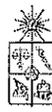
Periodo de tiempo en que el agua estuarina fluye en dirección al océano, producto de una disminución en el nivel del mar.

Valor cuadrático medio:

Es una medida estadística de la magnitud de una cantidad variable. Corresponde a la raíz cuadrada de la media aritmética de los cuadrados de los valores.

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (10.1)$$

Donde x_{rms} corresponde a el valor cuadrático medio de x , N al número de valores que se tienen y x_i a los valores que se tienen.



ANEXO 2: MODELACIÓN HIDRÁULICA Y DE CALIDAD DE AGUAS EN ESTUARIOS

UTILIZANDO HEC-RAS

2.1. INTRODUCCIÓN

HEC-RAS es una herramienta gratuita ampliamente utilizada en el ámbito de la ingeniería hidráulica y ambiental, que permite realizar modelos hidráulicos de flujos unidimensionales, tanto en régimen permanente como impermanente. La versión 4.1 del programa incluye módulos de calidad de agua y de transporte de sedimentos, que basan su funcionamiento en los resultados de las modelaciones hidráulicas, pudiéndose de esta forma simular procesos transientes de mezcla como los que ocurren en estuarios.

En este anexo se presenta una guía para realizar modelos hidráulicos y de calidad de agua impermanentes de estuarios, que cumplan con la condición de flujo unidimensional. Cabe mencionar que el manual de usuario de HEC-RAS incluye toda la información necesaria para realizar esta tarea, siendo el presente documento una guía que relaciona la modelación impermanente en HEC-RAS con la metodología de estimación de caudales de dilución en estuarios desarrollada en el estudio. Básicamente se repetirán los pasos realizados para obtener el caudal de dilución asociado a la *Zona de Mezcla Parcial* y *Zona Sin Intrusión* del estuario del río Lebu. En este sentido la información entregada en este anexo complementa a la que existe en el acápite 6.3 del cuerpo principal del informe SIT N° 189.

2.2. MODELACIÓN DE ESTUARIOS EN HEC-RAS

Se dice que el flujo en un estuario es impermanente debido a que su velocidad puede experimentar grandes variaciones temporales debido al efecto de la marea, en periodos de tiempo considerablemente menores que los asociados a cambios hidrológicos. El efecto de marea se refleja además en variaciones de la cota de la superficie libre a lo largo del estuario. La variación temporal de la velocidad afecta los procesos de mezcla al interior del estuario, haciendo que éstos dependan también del tiempo.

En este sentido, HEC-RAS resulta ser de gran utilidad para modelar la hidráulica y los procesos de mezcla en estuarios. Dados los esquemas numéricos implementados en el programa, se considera una de las mejores herramientas para modelar escurrimientos y procesos de mezcla impermanente en flujos unidimensionales.

Debido a que los cálculos realizados por HEC-RAS suponen flujo en 1-D, no es posible modelar estuarios que presenten corrientes laterales o fuertes gradientes verticales. En este

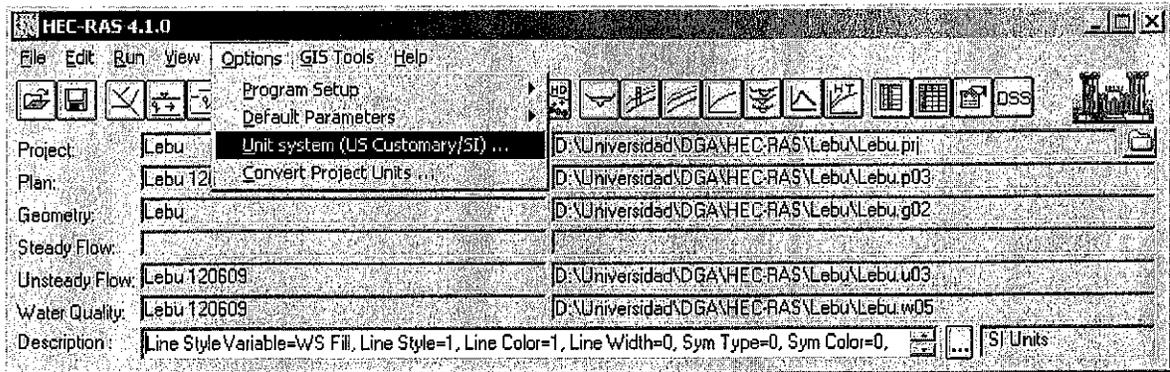


FIGURA 2.2: UNIT SYSTEM. CREACIÓN DEL PROYECTO.

2.3.2. MORFOLOGÍA DEL CAUCE

Para definir la geometría del cauce se debe seleccionar *Geometric Data* en el menú principal *Edit* (Figura 2.3). La manera de incorporar la morfología del cauce a HEC-RAS para modelos transientes es similar a la forma en que se hace para modelos en régimen permanente.

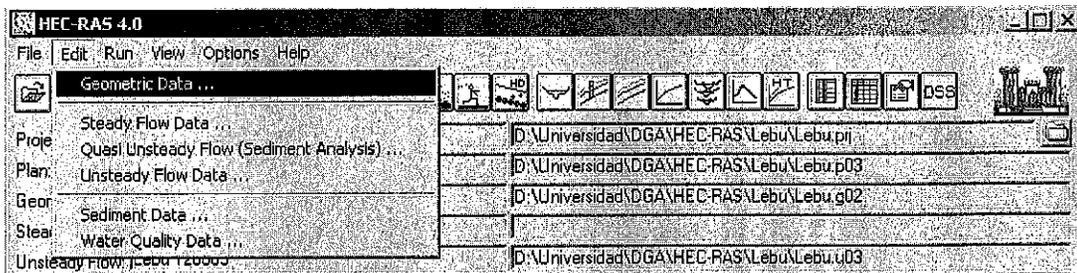


FIGURA 2.3: GEOMETRIC DATA. DEFINICIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL CAUCE.

Dentro de la ventana *Geometric Data* se debe realizar un dibujo esquemático del cauce, presionando *River Reach* (Figura 2.4). A continuación se debe asignar un nombre al río (*River*) y al sector (*Reach*), en este caso *Lebu* y *Desembocadura* respectivamente. Cabe recordar que el dibujo del cauce es esquemático y su forma no influye de ninguna manera en la simulación numérica.



HEC-RAS permite diferenciar entre el cauce principal (*Channel*) y sus planicies de inundación izquierda (*LOB*) y derecha (*ROB*), si es que existen. Es posible especificar características particulares a cada una de ellas en *Downstream Reach Lengths* y *Manning's n Values*.

En *Downstream Reach Lengths* se debe ingresar la distancia desde la sección que se está creando a la sección ubicada inmediatamente aguas abajo, pudiéndose especificar distancias diferentes para las planicies de inundación y el canal principal. A la sección ubicada en el extremo de aguas abajo del cauce se le debe asignar un valor nulo.

En *Manning's n Values* se debe ingresar el número de Manning asociado al canal principal y a sus planicies de inundación. El valor del *n* de Manning debe obtenerse a partir de observaciones de terreno, utilizando por ejemplo la metodología de Cowan (e.g. <http://www.fhwa.dot.gov/BRIDGE/wsp2339.pdf>).

Finalmente en *Main Channel Bank Stations* se deben especificar los límites del canal principal del cauce, es decir las coordenadas *Station* que definen el borde izquierdo y derecho del cauce principal. En este ejemplo se consideran 0 y 56.1 (que coinciden con los valores extremos de la información introducida en *Cross Section Coordinates*) dado que no se consideran planicies de inundación.

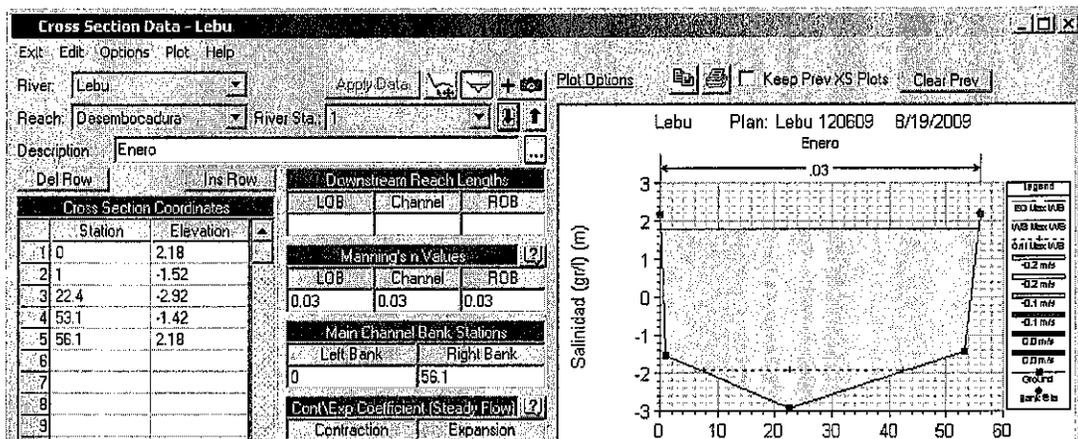


FIGURA 2.6: GEOMETRIC DATA, CROSS SECTION DATA. INCORPORACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SECCIÓN.

El proceso anterior se debe repetir para todas las secciones medidas en terreno. Una vez terminada la incorporación de secciones se debe salir de la ventana *Cross Section Data* e ingresar a *XS Interpolation Within a Reach* en el menú *Tools* (Figura 2.7), para interpolar linealmente entre las secciones medidas en terreno, con el objetivo de mejorar la modelación. Se recomienda una longitud de interpolación (*Maximum Distance between XS's*) de 50 m. Finalmente se debe presionar *Interpolate XS's y close* para generar la interpolación.



modelación de un estuario requerimos dos condiciones de borde, una sobre el nivel de la superficie libre en la boca y otra sobre el caudal del río en la cabeza.

CONDICIÓN DE BORDE DE AGUAS ABAJO

Para incorporar la condición de borde de la marea es necesario poseer una serie de tiempo del nivel del mar en la boca del estuario, la cual se debe obtener a partir de mediciones en terreno. Como requisito para modelar correctamente la hidráulica del estuario, es necesario que la serie de tiempo sea de por lo menos 4 días de duración. En este sentido se recomienda realizar mediciones en terreno por dicho periodo de tiempo. Para obtener el caudal de dilución en un lugar ubicado dentro de la *Zona de Mezcla Parcial* se debe ingresar una serie de tiempo de mareas de cuadratura, mientras que si se desea obtener el caudal de dilución en la *Zona Sin Intrusión* se debe ingresar una serie de tiempo de mareas de sicigia. En este ejemplo se supondrá que se desea descargar dentro de la *Zona Sin Intrusión* por lo que se considera una serie de tiempo de mareas de sicigia (15 al 19 de junio del 2009).

En la ventana *Unsteady Flow Data* se debe seleccionar en *River Sta.* la sección en que se desea ingresar la serie de tiempo del nivel del mar (e.g. sección 1 que corresponde a la sección del extremo de aguas abajo). Dicha sección debe ser necesariamente la primera desde aguas abajo. Luego se debe presionar el botón *Add a Boundary Condition Location* para agregar la sección seleccionada. Además se debe especificar que la condición de borde es sobre la cota de la superficie libre del agua, es decir *Stage Hydrograph* (Figura 2.9). A continuación se debe realizar un doble click sobre *Stage Hydrograph* para poder ingresar sus características.

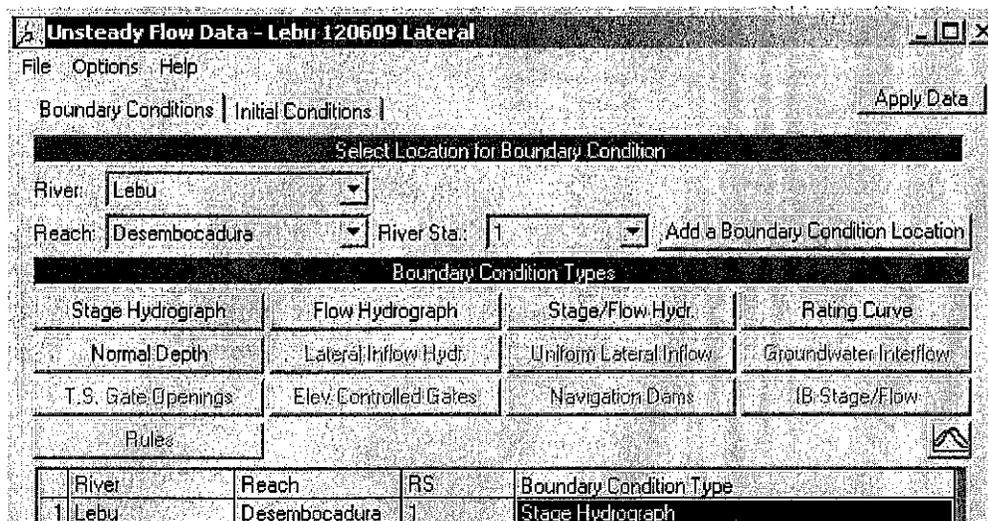


FIGURA 2.9: UNSTEADY FLOW DATA. INCORPORACIÓN DE LA CONDICIÓN DE BORDE SOBRE EL NIVEL DEL MAR EN LA BOCA.



River	Reach	RS	Boundary Condition Type
1 Lebu	Desembocadura	105	Flow Hydrograph
2 Lebu	Desembocadura	1	Stage Hydrograph

FIGURA 2.11: UNSTEADY FLOW DATA. INCORPORACIÓN DE LA CONDICIÓN DE BORDE SOBRE EL CAUDAL DE AGUA DULCE AFLUENTE AL ESTUARIO.

En la ventana *Flow Hydrograph* se debe seleccionar *Fixed Start Time* para especificar el tiempo en el cual comienza la serie de mediciones. Finalmente se debe ingresar en la columna *Flow* el caudal que indica la metodología desarrollada, el cual en este caso corresponde a $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$, según el acápite 6.3.2 del cuerpo principal del informe SIT N°189. En general se debe tener un caudal invariante durante el periodo de muestreo, dado que la sección de aforo requiere no tener influencia de la marea.

CONDICIÓN DE BORDE LATERAL

De acuerdo a la metodología desarrollada, debe considerarse una descarga virtual de contaminante en el sector donde se desea conocer el caudal de dilución. En el acápite 6.3.2 del cuerpo principal del informe SIT N°189 se muestran las características de la descarga virtual utilizada en este ejemplo, que corresponde a un caudal de $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$. Nuevamente en la ventana *Unsteady Flow Data* se debe seleccionar en *River Sta.* la sección en que se desea ingresar la condición de borde de descarga lateral, en este caso la 43, que está ubicada en la *Zona Sin Intrusión*, específicamente a 12.8 km de la boca del estuario. Se debe presionar el botón *Lateral Inflow Hydr.* para especificar que se trata de una condición de borde sobre una descarga lateral de caudal (Figura 2.12). Luego se debe realizar doble click sobre *Lateral Inflow Hydr.* para especificar las características de la descarga.

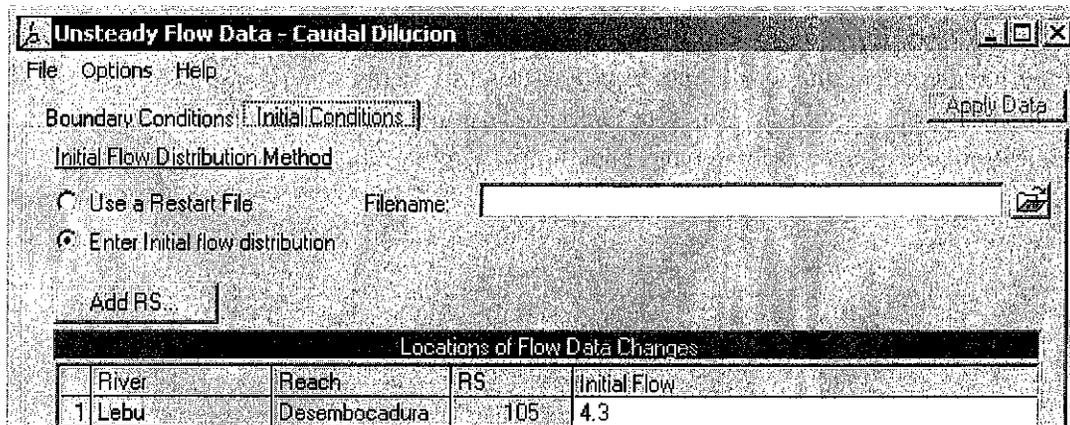


FIGURA 2.13: UNSTEADY FLOW DATA, INITIAL CONDITIONS. INCORPORACIÓN DE LA CONDICIÓN INICIAL SOBRE EL CAUDAL EN LA CABEZA DEL ESTUARIO.

2.3.4. EJECUTAR LA SIMULACIÓN

Una vez ingresada la geometría del cauce y las condiciones de borde para régimen impermanente es posible correr el modelo hidráulico del estuario. Para ello es necesario seleccionar *Unsteady Flow Analysis* en el menú *Run* (Figura 2.14).

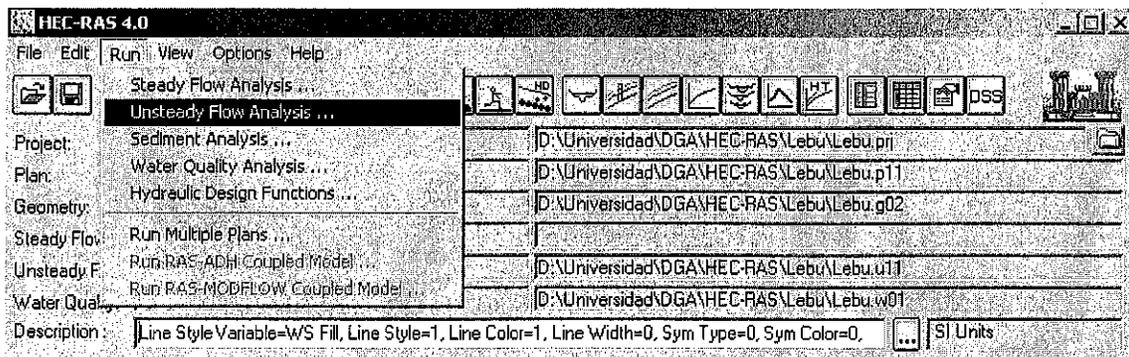


FIGURA 2.14: UNSTEADY FLOW ANALYSIS. ACCESO A LA VENTANA DE EJECUCIÓN DEL MODELO IMPERMANENTE.

En la nueva ventana se deben seleccionar los archivos de geometría y condiciones de borde que se desean utilizar en la modelación, *Lebu* y *Caudal Dilucion* en este ejemplo (Figura 2.15). Además es necesario activar las casillas *Geometry Preprocessor*, *Unsteady Flow Simulation*, *Post Processor* y *Computation Level Output*.

En la sección *Simulation Time Window* se debe indicar el tiempo de comienzo y finalización de la simulación. Es necesario que dichos tiempos estén incluidos en el intervalo asociado a las series de datos de nivel del mar y caudal (Condiciones de Borde). Si lo anterior no se

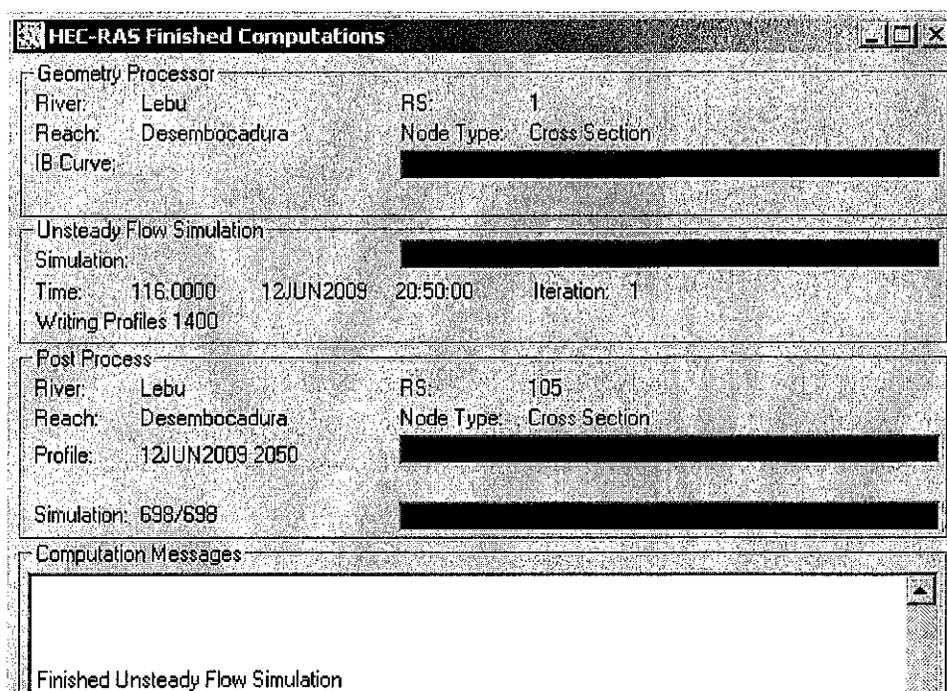


FIGURA 2.16: UNSTEADY FLOW ANALYSIS, HEC-RAS FINISHED COMPUTATIONS. VENTANA DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA.

Como resultado de este capítulo se obtiene un modelo de la hidráulica del sistema. A continuación se muestra cómo modelar los procesos de mezcla de modo de poder obtener el caudal de dilución para el sector analizado, en este caso la sección 43 ubicada a 12.8 km de la boca.

2.4. MODELACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS

HEC-RAS 4.1 incluye un módulo de calidad de aguas que resuelve numéricamente la ecuación de advección-dispersión en régimen impermanente en 1-D.

2.4.1. INCORPORACIÓN DE DATOS

Para incorporar la información sobre las condiciones de borde para la sustancia analizada y los coeficientes de dispersión asociados al estuario, se debe seleccionar *Water Quality Data* en el menú *Edit* (Figura 2.17).

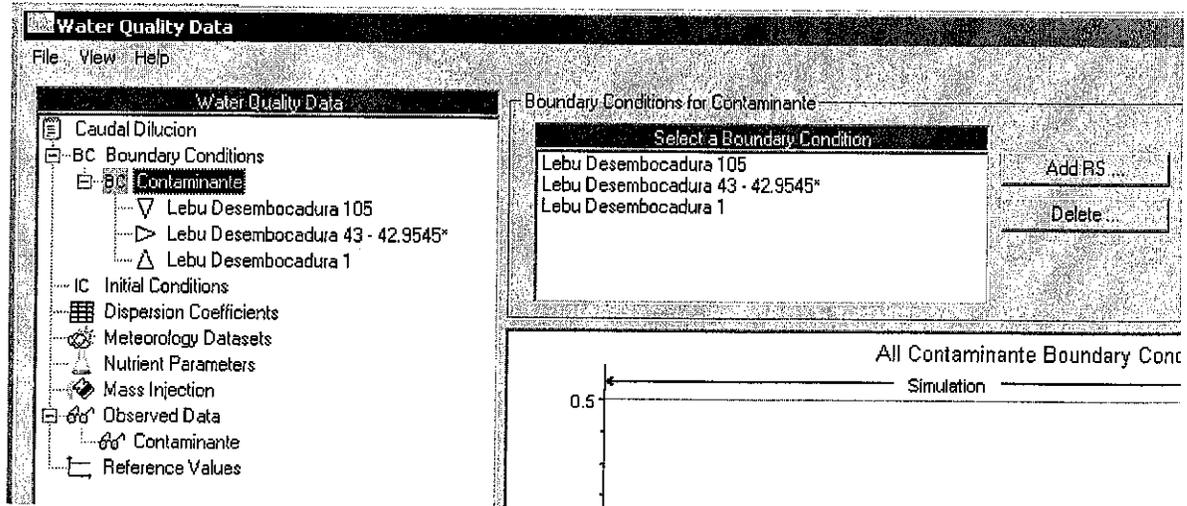
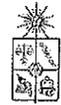


FIGURA 2.19: WATER QUALITY DATA. CONDICIONES DE BORDE SOBRE LAS SUSTANCIAS ANALIZADAS.

Para especificar las condiciones de borde se debe seleccionar la sección en el listado *Select a Boundary Condition* y luego en *Data Source* seleccionar *Constant Value* e ingresar el valor de la concentración en mg/l en el cuadro *Constant Value* (Figura 2.20). Para este ejemplo se deben considerar concentración nula por parte del río (sección 105) y una concentración de 100 mg/l en la descarga virtual (sección 43) y 0.5 mg/l en el mar (sección 1), según lo indicado en el acápite 6.3.2 del cuerpo principal del informe SIT N°189.

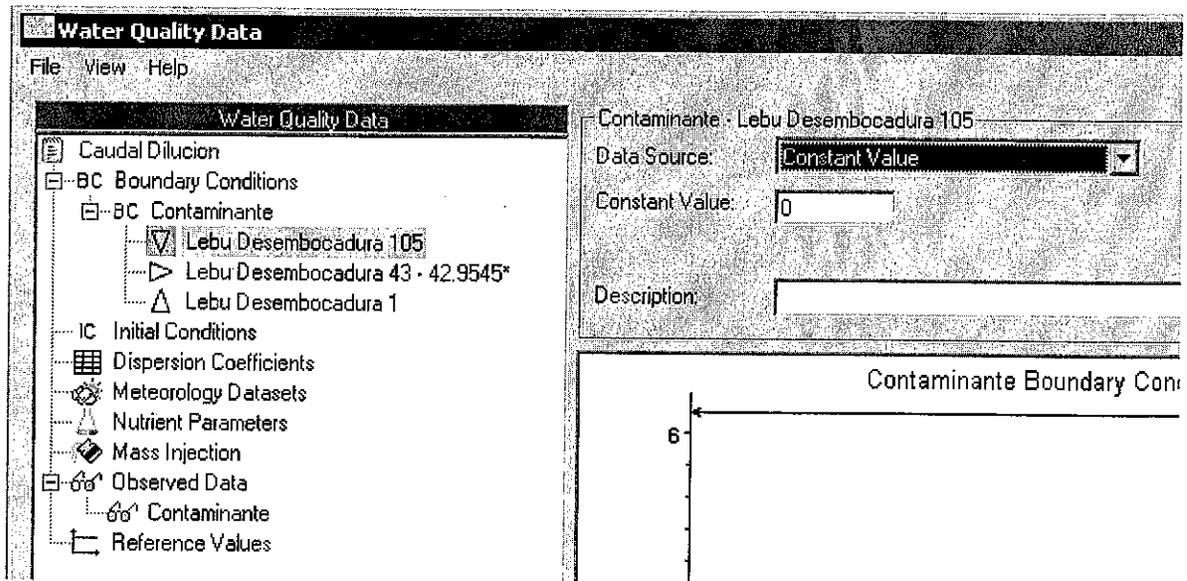


FIGURA 2.20: WATER QUALITY DATA. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS CONDICIONES DE BORDE.

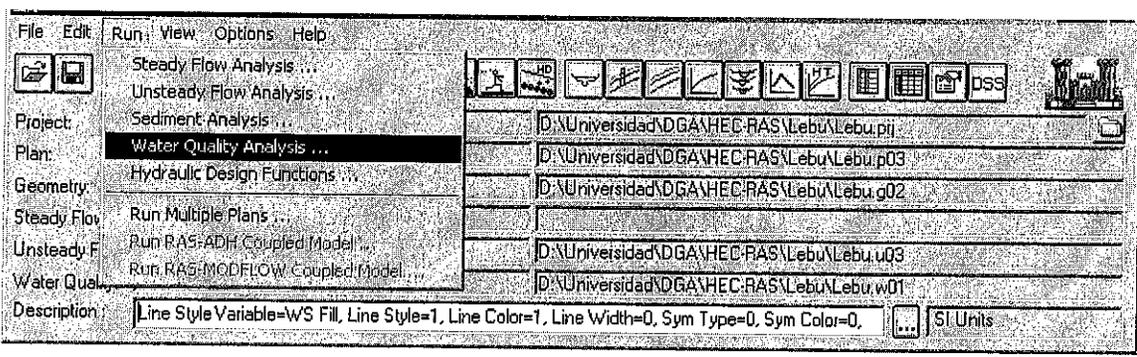
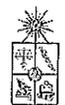


FIGURA 2.23: WATER QUALITY ANALYSIS. ACCESO A LA VENTANA DE EJECUCIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DE AGUAS.

En la ventana *Water Quality Analysis* se debe especificar el modelo hidráulico a utilizar en *Hydraulics Plan* (e.g. Caudal Dilución), además del tiempo de inicio y término de la simulación en *Water Quality Simulation Time Window* que en este caso coinciden con los tiempos de la simulación del modelo hidráulico (Figura 2.24).

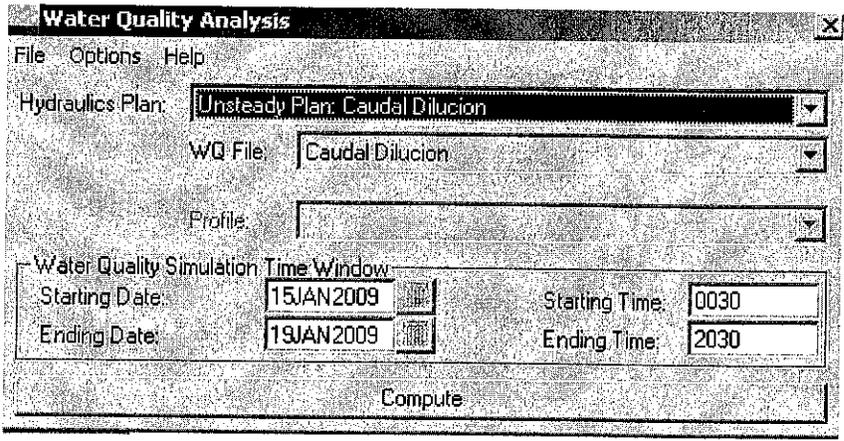


FIGURA 2.24: WATER QUALITY ANALYSIS. VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE LA SIMULACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS.

2.5. OBTENCIÓN DEL CAUDAL DE DILUCIÓN

Para obtener el caudal de dilución se debe ingresar a *WQ Time Series Plot* en el menú principal *View* (Figura 2.25) en dónde es posible observar las concentraciones resultantes del modelo de calidad de aguas, para cada sección del cauce.



2.5.1. OTROS RESULTADOS RELEVANTES ENTREGADOS POR HEC-RAS

HEC-RAS entrega la variación temporal de variables importantes para la metodología de estimación de caudales de dilución propuesta, como lo son la velocidad de escurrimiento en la boca, los promedios en el periodo de marea de la profundidad, área de escurrimiento, etc. Dicha información se entrega a través de gráficos y tablas que pueden ser analizadas, por ejemplo en Excel. Para acceder a dichas tablas se debe seleccionar *Profile Summary Table* en el menú *View* (Figura 2.27).

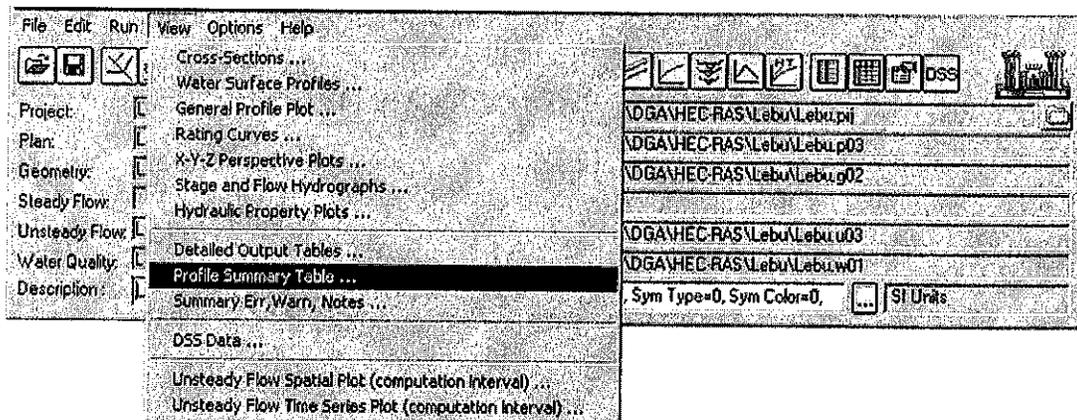


FIGURA 2.27: PROFILE SUMMARY TABLE. ACCESO A LA TABLA DE RESULTADOS.

Para seleccionar qué variables se mostrarán en la tabla se debe seleccionar *Define Table* en el menú *Options*. Para definir qué secciones del cauce se incluirán en la tabla se debe seleccionar *Define Location List* en el menú *Locations*. Finalmente, para definir para qué tiempos se tabulará la información se debe seleccionar *Profiles* en el menú *Options*.

Como ejemplo se tabula la velocidad de escurrimiento en la boca del estuario durante todo el periodo de simulación.

Primero indicamos que se tabule exclusivamente la velocidad, seleccionando *Vel Total* en el listado *Available Variables* en la ventana *Define Table* del menú options (Figura 2.28).

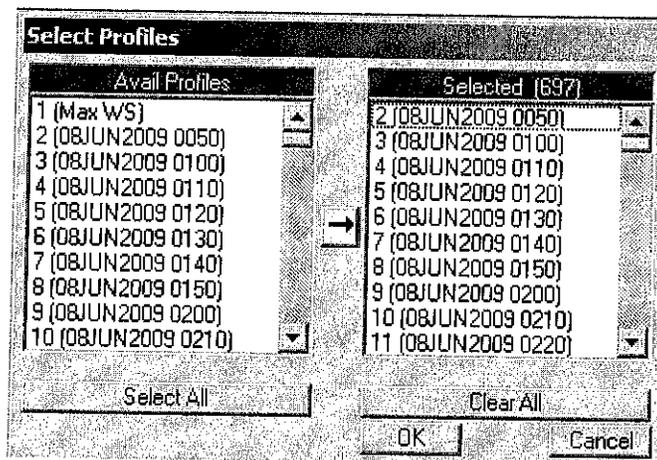


FIGURA 2.30: PROFILE SUMMARY TABLE, SLECT PROFILES. DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE TIEMPO PARA EL CUAL SE TABULAN LOS RESULTADOS.

Finalmente obtenemos una tabla con la variación temporal de la velocidad en la boca del estuario para todo el periodo de simulación (Figura 2.31).

River	Reach	River Sta.	Profile	Vel Total (m/s)
Lebu	Desembocadura	1	08JUN2009 0050	0.02
Lebu	Desembocadura	1	08JUN2009 0100	0.10
Lebu	Desembocadura	1	08JUN2009 0110	0.16
Lebu	Desembocadura	1	08JUN2009 0120	0.19
Lebu	Desembocadura	1	08JUN2009 0130	0.21
Lebu	Desembocadura	1	08JUN2009 0140	0.22
Lebu	Desembocadura	1	08JUN2009 0150	0.23

FIGURA 2.31: PROFILE SUMMARY TABLE, PROFILE OUTPUT TABLE. TABLA CON EL RESULTADO DE LAS VARIABLES REQUERIDAS, SEGÚN PERFIL GEOMÉTRICO Y TIEMPO.