



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**Facultad de Arquitectura y Urbanismo**  
**Escuela de Pregrado**  
**Carrera de Geografía**

**CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS TEMPORO-ESPACIAL DE LA MORFOLOGÍA  
DEL ESTUARIO DEL MAULE: ZONAS MEDIA Y DISTAL  
(Entre los años 1945 y 2011)**

**Memoria para optar al Título Profesional de Geógrafa**

**VICTORIA ANDREA VENEGAS ADRIAZOLA**

**Profesor Guía: María-Victoria Soto Bäuerle**  
**Profesor Informante y Co-Guía: José Francisco Araya Vergara**

**SANTIAGO – CHILE**  
**2014**

*Dedico esta memoria a mis padres,  
Victoria y Fernando, a quienes amo inmensamente,  
gracias por la educación que me han dado  
y la confianza que han tenido en mi. A mi hermana Fernanda,  
a quien admiro profundamente, y quien me ha acompañado  
en todas las etapas de mi vida, gracias por tu apoyo incondicional.  
A mi pareja, Pablo, quien siempre me alentó a seguir,  
gracias por tu paciencia y amor.  
A ustedes esta memoria.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Profesora Guía María Victoria Soto Bäuerle, por sus consejos y orientación para la realización de este estudio, así como también a mi Profesor Co-Guía José Francisco Araya Vergara, por sus valiosos aportes y su siempre buena disposición.

Al Sr. Manuel Campillay del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, por haber facilitado información fundamental para el análisis de esta memoria.

A mis amigos Katherine y David, quienes me acompañaron en este camino, así como también a mis compañeros de carrera.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que aportaron de una u otra manera a mi formación profesional.

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	9
1._INTRODUCCIÓN .....	10
1.1._Propósito y motivación.....	10
1.2._Estado del Asunto .....	11
1.3._Enfoque Teórico-conceptual.....	12
1.3.1._El concepto de estuario.....	12
1.3.2._Zonificación y extensión de un estuario.....	13
1.3.3._Tipos de estuarios.....	15
1.3.4._Evolución de sistemas costeros.....	24
1.4._Antecedentes del estuario del río Maule.....	26
1.5._Objetivos .....	29
1.5.1._Objetivo General.....	29
1.5.2._Objetivos Específicos .....	29
2._MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
2.1._Área de Estudio .....	30
2.1.1 Cuenca del Maule.....	30
2.1.2 Constitución.....	31
2.2._Procedimientos .....	34
3._RESULTADOS .....	37
3.1._Reconocimiento geomorfológico del estuario del río Maule y individuos constituyentes .....	37
3.2._Antecedentes morfológicos e históricos del estuario del río Maule (1876-1934)....	40
3.3._Análisis comparativo de los estados morfológicos del Maule (1944-5 al 2011) .....	50
3.3.1._Estado morfológico años: 1944, 1955 y 1965 .....	50
3.3.2._Estado morfológico de los años: 1974, 1978(a) y 1978(b).....	56
3.3.3._Estado morfológico de los años: 1992, 1994 y 1997.....	60
3.3.4._Estado morfológico año 1999.....	66
3.3.5._Estado morfológico de los años: 2004 y 2007.....	67
3.3.6._Estado morfológico de los años: 2009, 2010 y 2011.....	70
3.3.7._Estado morfológico actual.....	77
3.4._ Reconstitución evolutiva del estuario del Maule.....	83

3.4.1. Principales cambios morfológicos y tendencia evolutiva .....	83
4._DISCUSIÓN.....	88
5._CONCLUSIONES .....	92
6._BIBLIOGRAFÍA .....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Distribución esquemática de los procesos físicos dentro de un estuario, y zonación tripartita de facies. Fuente: DALRYMPLE <i>et al.</i> , (1992). .....	14
Fig. 2: Tipos de desembocadura según dominio morfoclimático en Chile central, y su relación entre caudal y existencia de campos dunares. Fuente: ARAYA-VERGARA (1985). .....	17
Fig. 3: Tipos de delta en ría según configuración y tipo de respuesta a la alta energía del oleaje. Fuente: ARAYA-VERGARA (1985). .....	18
Fig. 4: Distribución de A) tipos de energía, B) componentes morfológicos vistos en planta, y C) facies sedimentarias en sección longitudinal, dentro de un idealizado estuario dominado por olas. Fuente: DALRYMPLE <i>et al.</i> (1992). .....	20
Fig. 5: Distribución de A) tipos de energía, B) componentes morfológicos vistos en planta, y C) facies sedimentarias en sección longitudinal dentro de un idealizado estuario dominado por mareas. Fuente: DALRYMPLE <i>et al.</i> (1992). .....	22
Fig. 6: Morfología estuarial como función de la importancia relativa de las olas, mareas y el río. Fuente: COOPER (1993). .....	23
Fig. 7: Tipos de ambientes costeros, según el origen de su relleno sedimentario y la fuerza relativa dominante en ellos. Fuente: DALRYMPLE <i>et al.</i> (1992). .....	24
Fig. 8: Esquema evolutivo de ambientes costeros. Fuente: DALRYMPLE <i>et al.</i> (1992). ..	25
Fig. 9: Esquema morfológico del estuario del río Maule. Fuente: ARAYA-VERGARA (1981). .....	28
Fig. 10: Cartografía del área de estudio y su contexto inmediato. Fuente: Elaboración propia, en base a cartografía digital del Instituto Geográfico Militar – IGM. ....	30
Fig. 11: Bloque representativo de los individuos geomorfológicos costeros de Constitución. Fuente: ARAYA-VERGARA (1976). .....	32

Fig. 12: Zonificación del estuario del río Maule. Fuente: Elaboración propia, en base a tipos de zonificación propuestos por ARAYA-VERGARA (1981), BIRD (2008) y consideraciones propias. ....	39
Fig. 13: Plano histórico de la desembocadura del río Maule y las obras por ejecutar. Fuente: LÉVEQUE (1876).....	41
Fig. 14: Plano histórico del sondaje realizado en la desembocadura del río Maule. Fuente: LÉVEQUE (1876). ....	43
Fig. 15: Plano histórico del proyecto del puerto marítimo de Constitución en el sector de La Caleta. Fuente: LÉVEQUE (1876). ....	44
Fig. 16: Recorte de plano histórico del litoral de Constitución. Fuente: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada – SHOA (1905).....	45
Fig. 17: Superposición de planos históricos que representan los cambios ocurridos en la desembocadura del río Maule. Fuente: POMAR (1962).....	46
Fig. 18: Cartografía del puerto de Constitución. Fuente: Oficina de Hidrografía y Navegación de Chile (1926).....	47
Fig. 19: Plano del embancamiento del puerto marítimo de Constitución. Fuente: Departamento de Obras Marítimas (1932).....	48
Fig. 20: Plano que grafica la progradación secuencial experimentada en el sector La Caleta, puerto marítimo de Constitución. Fuente: POMAR (1962). ....	49
Fig. 21: Estados morfológicos del estuario del río Maule en los años 1944, 1955 y 1965. Fuente: Elaboración propia, mediante fotointerpretación. ....	54
Fig. 22: Clasificación de tipos de zona de rompiente (TZR) frente a la playa de Quivolgo, según estados morfológicos de los años 1944, 1955 y 1965. Fuente: Elaboración propia, en base a la clasificación de TZR propuesta por ARAYA-VERGARA (1996). ....	55
Fig. 23: Estados morfológicos del estuario del río Maule en los años 1974, 1978(a), 1978(b). Fuente: Elaboración propia, mediante fotointerpretación. ....	59
Fig. 24: Clasificación de tipos de zona de rompiente (TZR) frente a la playa de Quivolgo, según estados morfológicos de los años 1974, 1978(a) y 1978(b). Fuente: Elaboración propia, en base a la clasificación de TZR propuesta por ARAYA-VERGARA (1996). ....	60
Fig. 25: Estados morfológicos del estuario del río Maule, en los años 1992, 1994 y 1997. Fuente: Elaboración propia, mediante fotointerpretación. ....	64
Fig. 26: Clasificación de tipos de zona de rompiente (TZR) frente a la playa de Quivolgo, según estados morfológicos de los años 1992, 1994 y 1997. Fuente: Elaboración propia, en base a la clasificación de TZR propuesta por ARAYA-VERGARA (1996). ....	65

Fig. 27: Vista oblicua del estado morfológico del estuario del río Maule en el año 1999. Fuente: Instituto Hidráulico Nacional, IHN (2003). .....	66
Fig. 28: Estados morfológicos del estuario del río Maule en los años 2004 y 2007. Fuente: Elaboración propia, mediante fotointerpretación. ....	69
Fig. 29: Clasificación de tipos de zona de rompiente (TZR) frente a la playa de Quivolgo, según estados morfológicos de los años 2004 y 2007. Fuente: elaboración propia, en base a la clasificación de TZR propuesta por ARAYA-VERGARA (1996). ....	70
Fig. 30: Estados morfológicos del estuario del río Maule en los años 2009, 2010 y 2011. Fuente: Elaboración propia, mediante fotointerpretación. ....	73
Fig. 31: Clasificación de tipos de zona de rompiente (TZR) frente a la playa de Quivolgo, según estados morfológicos de los años 2009, 2010 y 2011. Fuente: Elaboración propia, en base a clasificación de TZR propuesta por ARAYA-VERGARA (1996). ....	75
Fig. 32: Vista panorámica de la bahía de Constitución. Desembocadura del río Maule, meses más tarde del terremoto tsunamigénico del 27 de Febrero del 2010. Fuente: Archivo fotográfico de NELSON MORAGA, 16 de Octubre 2010. ....	77
Fig. 33: Estuario del río Maule, visto de poniente a oriente. Fuente: Archivo fotográfico de GUSTAVO LATORRE, 03 de Marzo 2010. ....	77
Fig. 34: Zona media del estuario del río Maule. Fotografía tomada desde el cerro Mutrún, con vista hacia el oriente. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011). ....	78
Fig. 35: Vista de la ría de Constitución desde la zona media hacia el interior. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011). ....	78
Fig. 36: Vista poniente (izquierda) y vista oriente (derecha) del banco lateral de El Edén, ribera norte del estuario. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011). ....	79
Fig. 37: Vista del extremo distal de Isla Orrego, y por tanto, inicio de la zona distal del estuario (izquierda). Fotografía del la Isla del Perro cercenada, zona media del estuario (derecha). Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011). ....	79
Fig. 38: Bases de flechas o flechas embrionarias de la ribera sur del estuario, zona distal. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011). ....	80
Fig. 39: Flecha de Quivolgo vista desde el cerro Mutrún (izquierda). Componentes de la flecha de Quivolgo y perspectiva de su topografía. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011). ....	80
Fig. 40: Vista de la barra submarina del Maule, límite de la zona distal del estuario. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011). ....	81

Fig. 41: Terraza estuarina de Constitución, vista desde el cerro Mutrún. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011).	81
Fig. 42: Beach cups y estrán de rodados de la playa de Quivolgo. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011).	82
Fig. 43: Vista de post-playa de rodados, playa de Quivolgo. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011).	82
Fig. 44: Cambios morfológicos más representativos de la evolución del estuario del Maule. Fuente: Elaboración propia.	83
Fig. 45: Secuencia de acreción por yuxtaposición de bancos. Fuente: Elaboración propia.	84
Fig. 46: Secuencia de erosión por desmembramiento. Fuente: Elaboración propia.	85
Fig. 47: Secuencia de tendencia y ajuste morfodinámico en la zona media del estuario. Fuente: Elaboración propia.	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación entre la altura alcanzada por las olas de Constitución en los años 1986-1987 y su frecuencia.	33
Tabla 2: Material cartográfico histórico utilizado:	34
Tabla 3: Fotografías aéreas e imágenes satelitales utilizadas:	35
Tabla 4: Caudal del río Maule registrado en la estación fluviométrica de Forel, coincidente con la fecha de captura de las fotografías e imágenes base de los esquemas morfológicos de los años 1992, 1994 y 1997.	65
Tabla 5: Caudal del río Maule registrado en la estación fluviométrica de Forel, coincidente con la fecha de captura de las fotografías e imágenes base de los esquemas morfológicos de los años 2004 y 2007.	70
Tabla 6: Caudal del río Maule registrado en la estación fluviométrica de Forel, coincidente con la fecha de captura de las fotografías e imágenes base de los esquemas morfológicos de los años 2009, 2010 y 2011.	74
Tabla 7: Variabilidad en las dimensiones de los individuos morfológicos deltaicos del estuario del Maule, entre los años 1944 y 2011.	76



## RESUMEN

La presente investigación, caracteriza y analiza los cambios morfológicos que ha experimentado el estuario del río Maule (Lat 35° 19'S), durante la segunda mitad del siglo XX y la última década, dilucidando aspectos referentes a su comportamiento morfodinámico y tendencia evolutiva. La técnica investigativa utilizada para el desarrollo de este estudio, corresponde principalmente a la fotointerpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales del estuario del río Maule. Este análisis fue complementado con material cartográfico histórico, información levantada en terreno e información bibliográfica.

A partir de la fotointerpretación y digitalización del material gráfico, se creó una secuencia espacio-temporal discreta de los estados morfológicos experimentados por el estuario entre los años 1944-5 y 2011. El análisis comparativo de esta secuencia, sumado a los antecedentes cartográficos históricos, permitió revelar entre otras cosas, la existencia del banco medio Isla Orrego y banco del Edén al menos desde el año 1876. Así mismo, se pudo constatar la acción de focos de erosión en los extremos proximales de los principales bancos medios del delta interior, además de otros procesos que fueron interpretados como parte de una tendencia morfológica erosiva.

**Palabras clave:** Configuración morfológica, delta estuarial o delta en ría, comportamiento morfodinámico y tendencia morfológica evolutiva.

## 1.\_INTRODUCCIÓN

Las desembocaduras son definidas, a grandes rasgos, como sistemas costero-litorales en donde cursos de agua continental, como ríos y esteros, realizan sus descargas al mar. Estos ambientes, se caracterizan por poseer una enorme biodiversidad, alta productividad y gran dinamismo, atributos derivados de su particular condición de intercambio de materia y energía entre fuentes hídricas continentales y marinas.

Existen dos tipos de desembocaduras ampliamente reconocidos, denominados: deltas y estuarios. Éstos pueden ser diferenciados entre sí, por aspectos como: tipo de costa o plataforma en la que se desarrollan, caudal del curso de agua continental, carga sedimentaria de dicho curso, morfología, entre otros.

Con respecto a ello, PINO & MULSON (1983) aseguran que una de las principales características de la costa chilena es la gran cantidad de desembocaduras de tipo estuarial ubicadas desde los 28° Lat. S. hacia el extremo meridional del país. Observación que concuerda en gran medida con la clasificación morfoclimática de desembocaduras de Chile de ARAYA-VERGARA (1982).

Desembocaduras de tipo delta, también existen en la costa chilena, aunque su presencia se remite principalmente a los extremos norte y sur del territorio nacional, en donde se encuentran: *deltas distales truncados* y *deltas de cabecera de fiordo* respectivamente, según la clasificación de ARAYA-VERGARA (1982). Este tipo de desembocadura, posee una menor presencia en Chile principalmente debido a dos factores, que en su conjunto, impiden el óptimo desarrollo de estas formas hacia el mar, ellos son: la inclinada y estrecha plataforma continental chilena, y la fuerte energía del oleaje presente a lo largo de su costa.

### 1.1.\_Propósito y motivación

Este estudio tiene como propósito aportar a la discusión y conocimiento sobre estuarios en Chile desde la geomorfología, así como también, contribuir a la línea base para futuros estudios sobre planificación y gestión de zonas costeras en el sector.

La elección del estuario del río Maule como objeto de estudio, por sobre otros, se debe a que en él confluyen tres aspectos de connotación geomorfológica de interés. Éstos son:

- 1) Constitución, ciudad costera ubicada en la ribera sur de la desembocadura del río Maule, fue puerto mayor hasta el año 1883, condición revocada tras experimentar un paulatino, pero progresivo embancamiento en su desembocadura que impidió el ingreso de barcos desde el mar (POMAR, 1962).
- 2) La cuenca del río Maule corresponde a la 4ª cuenca hidrográfica de mayor extensión en Chile (CADE-IDEPE, 2004), y la única cuenca del territorio

nacional que en su exutorio, ha desarrollado una forma de acumulación sedimentaria que sobresale a la costa pareja chilena, llamada por ARAYA-VERGARA (1981) *convexidad de acreción Putú-Quivolgo*, hecho que demuestra el gran gasto sedimentario que esta posee.

- 3) El estuario del río Maule, fue una de las desembocaduras de mayor importancia afectada por el terremoto y tsunami registrado el 27 de Febrero de 2010. La magnitud de este terremoto fue de 8.8 Mw. (FARÍAS *et al.*, 2010).

## 1.2. Estado del Asunto

El interés contemporáneo por el estudio de los estuarios, a nivel internacional, tuvo sus inicios a principios de los años 50' con los trabajos realizados por KUELEGAN (1949), PRITCHARD (1952), STOMMEL (1953) y STOMMEL & FARMER (1953), según señala PERILLO (1995). En Chile, éste surge de manera incipiente y tangencial con el estudio morfológico de desembocaduras de POMAR (1962), para años más tarde encontrar mayor sustento en los aportes de PASKOFF (1970), ARAYA-VERGARA *et al.* (1978), ARAYA-VERGARA (1970, 1981, 1982 y 1985), PINO & MULSOW (1983), ROJAS (1984), entre otros autores, que reconocieron al estuario como una entidad costera, y objeto de estudio en sí mismo.

Particularmente, y desde un enfoque geomorfológico, el estudio y conocimiento de ambientes estuarinos de la zona centro de Chile, encuentra sus bases en los aportes teórico-conceptuales y taxonómicos de ARAYA-VERGARA (1981, 1982 y 1985), los cuales surgen de la necesidad de comprender la importancia científica de dichas entidades, ya que los esquemas evolutivos y taxonómicos de los tradicionales estudios europeos y norteamericanos, sobre esta temática, no se ajustaban a la realidad nacional, a no ser que éstos fueran previamente modificados (ARAYA-VERGARA, 1981). Es así, que el primero de estos trabajos, tuvo como objetivo estudiar los individuos morfológicos constituyentes de los estuarios del Maipo, Rapel, Mataquito, Maule e Itata, revelando una configuración morfológica coincidente entre los mismos, lo que llevó al autor a proponer un concepto geomorfológico para su reconocimiento: *deltas en ría*. En el mismo estudio se plantea además, una zonificación estuarial interna, que identifica y reagrupa los individuos morfológicos constituyentes de un estuario. Cabe destacar, que dicho trabajo fue citado dentro de la propuesta morfológica estuarial de COOPER (1993). El segundo estudio, corresponde a una clasificación general de los tipos de desembocaduras presentes en el territorio nacional, según su influencia morfoclimática. El tercer estudio, propone un modelo morfológico que relaciona la configuración de los estuarios de Chile central, en respuesta al ambiente de alta energía del oleaje al que se encuentran expuestos.

Estos estudios han sustentado investigaciones más recientes de la zona centro-sur de Chile, como los trabajos de CORTEZ (2002) y MARTINEZ & CORTEZ (2008), para el estuario del río Aconcagua; y el trabajo de ARRIAGADA (2005) para el estuario del río Maipo, siendo éstos los únicos dos estuarios de dicha zona, que han sido abordados

desde un enfoque morfo-evolutivo, perspectiva que permite bosquejar parte del comportamiento estuarial, a través de sus cambios morfológicos en el tiempo.

A partir de lo anterior, se advierte entonces, que el estuario del río Maule sólo ha sido estudiado desde la geomorfología, en el trabajo de ARAYA-VERGARA (1981), donde se refiere al estado morfológico que éste presentaba el año 1955, para ejemplificar su propuesta conceptual de *delta en ría*. Es así, que teniendo como referencia el estudio de ARAYA-VERGARA (1981) y la línea investigativa de CORTEZ (2002), ARRIAGADA (2005, 2009) y MARTINEZ & CORTEZ (2008), el presente estudio tiene como finalidad, contribuir al conocimiento sobre el comportamiento morfodinámico del estuario del río Maule, mediante el análisis temporo-espacial de sus cambios y estados morfológicos.

### **1.3.\_Enfoque Teórico-conceptual**

A continuación, se presenta la perspectiva teórico-conceptual adoptada para la realización de esta investigación. Esencialmente, se desarrollan aspectos referentes a la definición y taxonomía de un estuario, abordada desde la perspectiva y nomenclatura de diversos autores.

#### **1.3.1.\_El concepto de estuario**

Una de las definiciones de estuario con mayor aceptación entre especialistas de diversas disciplinas (aunque no por ello exenta de críticas), corresponde a la definición dada por PRITCHARD en 1967:

*“Un estuario es un cuerpo de agua costero semiconfinado que tiene libre conexión con el mar abierto, y dentro del cual, el agua de mar es mensurablemente diluida con agua dulce derivada del drenaje continental”* (PRITCHARD, 1967 en ARAYA-VERGARA, 1981; EVANS & PREGO, 2003 y BIRD, 2008).

Sin embargo, el surgimiento de nuevas definiciones, redujo sus adherentes a expertos relacionados principalmente al área de la biología, química e hidráulica, ya que para muchos autores la definición dada por PRITCHARD en 1967, posee un enfoque un tanto obtuso destacando fundamentalmente una perspectiva hidrológica (EVANS & PREGO, 2003), e incluso hay quienes como DALRYMPLE *et al.*, (1992), sostienen que ésta tiene un enfoque aún más acotado, basada sólo en el factor salinidad, *“agua de mar mensurablemente diluida con agua dulce, derivada del drenaje continental”*.

No bastando con ello, una de las mayores críticas con la que se ve aludida esta definición, es el hecho de no incluir de manera literal, al principal mecanismo de mezcla de aguas de un estuario: las mareas (PERILLO, 1995; BIRD 2008). Según señala GUILCHER (1957) y PERILLO (1995), esta definición transgrede incluso la etimología del término estuario, pues éste se asocia al vocablo latín *aestus* que significa marea. En relación a ello, GUILCHER (1957) explica que un estuario debiese significar entonces la *“parte de un*

*organismo fluvial en el cual se hacen sentir la marea y sus corrientes (marea de salinidad y marea dinámica)”.*

Respecto a este último punto, y desde un enfoque geológico, DALRYMPLE *et al.* (1992) apoyan la idea de considerar ambos tipos de mareas (de salinidad y dinámica), pues para ellos, la distribución de litofacies y particularmente las facies arenosas dentro de un estuario, está determinada principalmente por procesos físicos, antes que por salinidad, esto porque la influencia mareal generalmente tiene un mayor alcance hacia el continente, que la cuña de agua salina (ROCHFORD 1951; NICHOLS & BIGGS, 1985 en DALRYMPLE *et al.*, 1992).

Evidentemente, la mayor parte de las críticas aquí planteadas provienen de expertos del área de la geología, geomorfología y geografía, quienes si bien, comprenden lo planteado por PRITCHARD & CASPERS (1967, en ARAYA-VERGARA, 1970): “*un estuario es un término hidrológico y no geomorfológico*”, desean aportar al entendimiento y estudio de estos complejos individuos costeros desde sus disciplinas.

Debido a que no existe un acuerdo sobre una definición única de estuario, a continuación se presentan tres aspectos principales (extraídos de diversas definiciones) que a juicio de la autora, debiesen ser determinantes al momento de identificar a estos individuos costeros.

Un estuario es...

- Un cuerpo de agua costero semi-confinado, que tiene libre acceso con el mar abierto (PRITCHARD, 1967; y PERILLO, 1995), que por lo general, corresponde a la porción hacia el mar de un sistema de valle inundado (...) (DALRYMPLE *et al.*, 1992).
- (...) donde el agua de mar es mensurable y significativamente diluida y mezclada con agua dulce proveniente del drenaje continental, (PRITCHARD 1952 y 1967; PERILLO, 1995 y BIRD 2008), que recibe a su vez, sedimentos de fuentes marinas y fluviales (...) (DALRYMPLE *et al.*, 1992 y BIRD, 2008).
- (...) y que se encuentra sujeto a las fluctuaciones de marea (GUILCHES, 1957 y BIRD, 2008) además de procesos fluviales y la acción del oleaje (...) (DALRYMPLE *et al.*, 1992 y BIRD, 2008).

### **1.3.2. Zonificación y extensión de un estuario**

Los autores DALRYMPLE *et al.*, (1992) y BIRD (2008) señalan que existen tres factores relacionados a procesos hidrodinámicos, que controlan la naturaleza y disposición de facies sedimentarias en los estuarios, y por ende también, su morfología. Estos son: la energía y procesos fluviales, y la energía y procesos marinos derivados de las olas y las mareas (Fig. 1a).

Cada factor, posee un alcance o dominio dentro del estuario. DALRYMPLE *et al.*, (1992) relacionaron la energía relativa de ellos, con la distribución de facies (Fig. 1a y b), cuya representación espacial tuvo como resultado una zonificación tripartita que subdivide al estuario en:

- Zona exterior, sección dominada por el mar, donde el transporte de la carga sedimentaria neta es hacia la cabeza del estuario;
- Zona central, relativamente de baja energía, donde hay convergencia de la carga sedimentaria neta; y
- Zona interior, parte dominada por el río (pero aún con influencia marina), donde el transporte neto es hacia el mar.

Estas zonas, no se desarrollan de igual manera en todos los estuarios, ya que varían según factores como: disponibilidad de sedimentos, gradiente de la zona costera y estado de evolución del estuario (DALRYMPLE *et al.*, 1992).

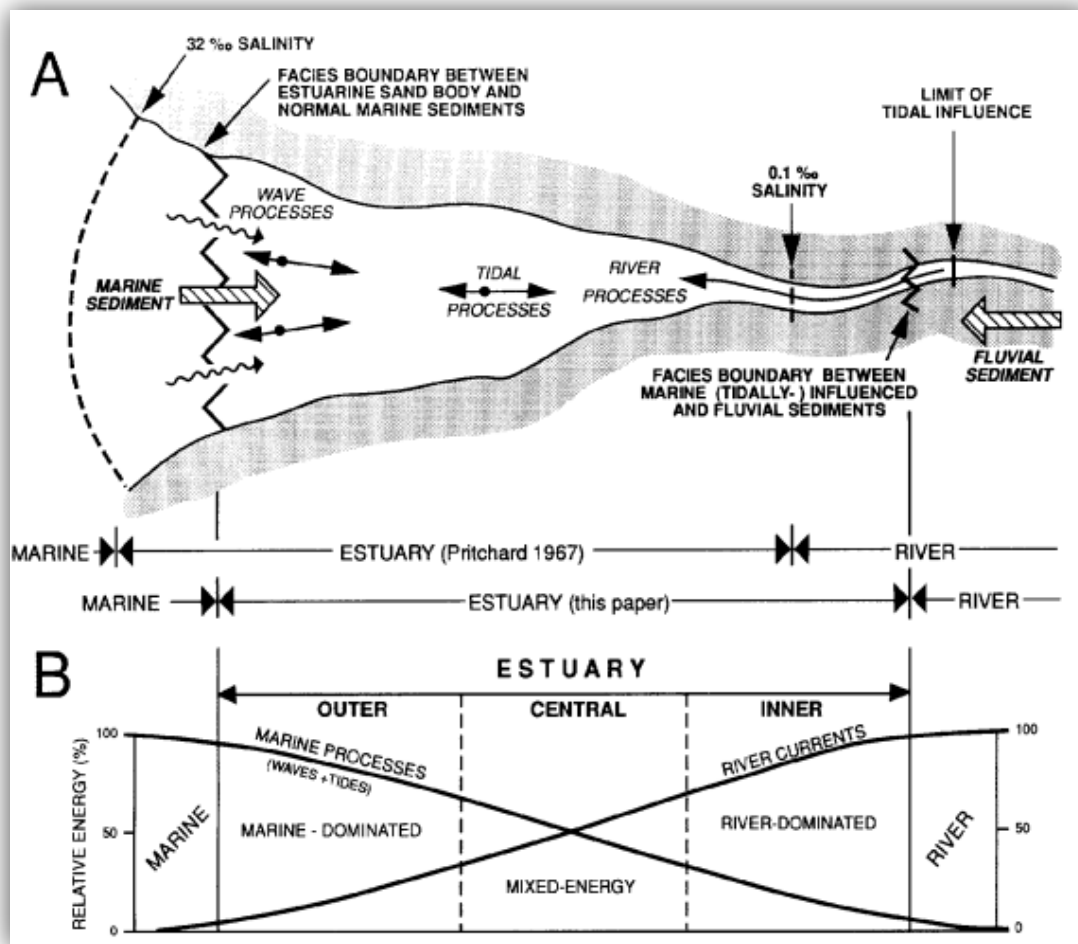


Fig. 1: Distribución esquemática de los procesos físicos dentro de un estuario, y zonación tripartita de facies. Fuente: DALRYMPLE *et al.*, (1992).

Por su parte, ARAYA-VERGARA (1981) también plantea una zonificación exclusiva para estuarios del centro-sur de Chile, también llamados *deltas en ría* o *deltas estuariales*, basándose en la morfología interna que éstos presentan.

- Zona proximal o fluvial, con meandros estuariales.
- Zona media o deltaica interior, con bancos medios y distributarios.
- Zona distal o lagunar, con laguna distal semibloqueada por barrera litoral o flecha. Según el caso, dentro de esta zona también es posible considerar, la presencia de un *delta distal atrofiado* o un *delta transmudado* (este último hace referencia a la convexidad de acreción relacionada al estuario del Maule).

Estas zonaciones deben restringirse a la extensión total del estuario, cuyos límites hacia tierra y hacia el mar pueden ser establecidos según diferentes aspectos, tal como los que se procede a presentar:

- Límite hacia tierra → El límite interno de un estuario, puede ser definido como el punto donde la salinidad cae a 0.1 ppt (Fig. 1a), o donde los iones disueltos (especialmente carbonatos) llegan a ser radicalmente diferentes de aquellos encontrados mar adentro (sodio, cloruro) (PRITCHARD 1967, en BIRD, 2008). Por otro lado, según BIRD, (2008) el límite de un estuario aguas arriba, puede ser considerado como el punto donde las oscilaciones de mareas desaparecen, o donde los sedimentos estuarinos y marinos disminuyen, dando lugar a los sedimentos fluviales.
- Límite hacia el mar → El límite externo de un estuario, puede ser tomado como el punto donde el agua salada, salinidad cercana a 35 ppt, es diluida por agua dulce de los ríos, aunque esto es altamente variable, pues en grandes estuarios y durante crecidas fluviales este límite puede estar muy lejos de la costa. El límite aguas abajo puede también ser definido por la línea litoral, o donde los sedimentos fluviales de fondo llegan a su fin (BIRD, 2008).

El esquema anterior (Fig. 1a), muestra la delimitación estuarial dada por DALRYMPLE *et al.*, (1992) cuya extensión máxima hacia el mar corresponde al límite entre facies de cuerpos de arena estuarinos y los sedimentos marinos normarles; y el alcance máximo hacia el continente corresponde al límite entre facies de sedimentos fluviales y sedimentos influenciados por las mareas.

### **1.3.3.\_Tipos de estuarios**

Existen diversos criterios para clasificar un estuario, sin embargo en este apartado, sólo serán expuestos aquellos que involucren aspectos geomorfológicos.

Una parte esencial en el estudio de estuarios, tanto para geólogos como para geomorfólogos, tiene que ver con la identificación o reconocimiento de la forma sobre la cual descansa este cuerpo de agua costero semi-confinado (EVANS & PREGO, 2003).

Lo anterior resulta de real importancia, pues el individuo geomorfológico en el cual se desarrolla el estuario, condiciona el alcance y circulación de las fuerzas que interactúan dentro de él (favoreciéndolas o limitándolas), lo que a su vez repercute en su morfología interna.

La clasificación fisiográfica de PRITCHARD (1952 en PERILLO, 1995), es una de las primeras clasificaciones de estuarios abordadas desde la geomorfología. Ésta divide a los estuarios en tres grupos: 1) valles fluviales inundados (que involucra rías y planicies costeras o *coastal plain*), 2) fiordos y 3) estuarios construidos por barras (*bar-built*). Más tarde, PRITCHARD (1960 en PERILLO, 1995) completa la clasificación incorporando un cuarto grupo asociado a estuarios formados por procesos tectónicos. Otra clasificación desde el mismo enfoque, corresponde a la propuesta por FAIRBRIDGE (1980, en PERILLO, 1995) quién elaboró una taxonomía de 7 categorías morfológicas de estuarios.

En Chile, ARAYA-VERGARA (1982) propuso una zonación morfoclimática que relaciona los inputs continentales de los ríos, con los tipos de desembocaduras halladas en el territorio nacional, identificando seis zonas:

- Zona de los deltas distales: zona de influencia climática desértica, con aportes sedimentarios estivales derivados de influencias halógenas de altura. Su representante más meridional es corresponde al delta de Chañaral (26°20').
- Zona de rías progradadas: zona de condiciones climáticas semiáridas correspondientes al Norte Chico, su progradación es paleogeográfica y fue determinada por PASKOFF (1970 en ARAYA-VERGARA, 1982). Sus ejemplares se encuentran desde el río Copiapó (27°20'), hasta el Maipo (33°47').
- Zona de *deltas en rías*: se coincide con un área de transición entre el semiárido y el subhúmedo, que abarca los estuarios entre el Rapel (34°) y el Bío-Bío (37°) (ARAYA-VERGARA 1981 y 1982), donde la energía fluvial es suficiente para calibrar canales amplios de curso inferior y aportar suficiente substancia deltaica, pero a su vez, la energía marina es suficiente para impedir el progreso de la progradación hacia el mar.
- Zona de rías: se relaciona con condiciones húmedas a muy húmedas, de la Región de los Lagos, desde el río Imperial (38°45') hasta la ría del Maullín (41°37'). Corresponde a un sector que ha sufrido una subsidencia reciente.
- Zona de los deltas de cabecera de fiordo y de glaciares: corresponden a la influencia de climas glaciales de altura en la Patagonia.

ARAYA-VERGARA (1985) notó además, que los campos dunares más importantes del país, coincidían con la zona de *deltas en ría* (Fig. 2), lo cual se condice con su zonación morfoclimática de inputs continentales y tipos de desembocadura desarrollada en 1982.



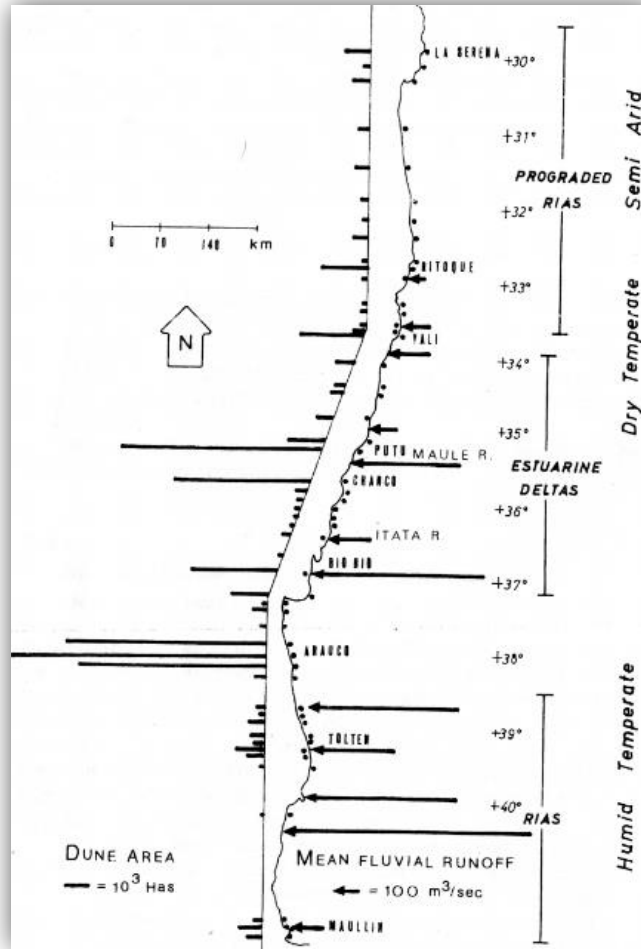


Fig. 2: Tipos de desembocadura según dominio morfoclimático en Chile central, y su relación entre caudal y existencia de campos dunares. Fuente: ARAYA-VERGARA (1985).

El concepto de *delta en ría*, acuñado por ARAYA-VERGARA (1981), resulta de gran importancia para esta investigación, pues corresponde a la primera categorización geomorfológica dada para el objeto de estudio, el estuario del río Maule.

Este concepto, fue acuñado luego que el mismo autor hallase compatible la expresión de *delta estuarial* dada por DAVIES (1977, en ARAYA-VERGARA, 1981), con los estuarios ubicados en la zona centro-sur de Chile. Con esta expresión DAVIES (1977, en ARAYA-VERGARA, 1981) catalogaba a los tipos de desembocadura que se encuentran en una fase de transición entre estuario y delta. Sin embargo, ARAYA-VERGARA (1981) adecuó el concepto de *delta estuarial* a *delta en ría*, fundamentalmente para que éste hiciera referencia a la forma del terreno que él identificó en la zona estudiada: rías.

Los individuos morfológicos o elementos de respuesta, que constituyen el *delta en ría*, son por lo general cuatro: meandros estuariales, delta interior, laguna estuarial y flecha distal. De manera especial se puede considerar un elemento adicional, con sus dos variaciones:

delta distal atrofiado (los casos de los ríos Maipo e Itata) y delta distal transmutado en convexidad de acreción (el caso del río Maule) según ARAYA-VERGARA (1981).

La condición de delta cautivo dentro de una ría, fue interpretada en estos estuarios por ARAYA-VERGARA (1985) como respuesta a la alta energía del oleaje, cuya configuración es la resultante de sus características morfológicas sistemáticas, con respecto a la orientación de la ría. De este modo, se distinguen tres tipos de delta en ría según su respuesta a la acción del *swell*:

- El delta estuarial paralelo, se caracteriza por poseer un lecho de río recto o lineal desviado por una barrera o flecha, a un curso paralelo a la costa, sin ser ésta la dirección original del río. De este modo, en la figura 3a, se puede apreciar que el margen izquierdo de dicho estuario no corresponde a la pendiente o base de una ría, sino a una flecha, cuyo desarrollo indica gran transporte de sedimentos a lo largo de la costa, explicado por un importante suministro de arena desde el sur (recordar que la deriva litoral en Chile, tiene un sentido de Sur a Norte).
- El delta estuarial transversal, corresponde al caso de rías dispuestas en ángulos rectos a la línea de costa, con un flujo fluvial significativo (Fig. 3b). Los bancos estuariales son más cortos que aquellos presentes en el estuario de disposición paralela, y ellos están acompañados por formas cuspidadas que indican interacciones de la energía del oleaje y las mareas en el régimen estuarial.
- El delta estuarial oblicuo, concierne al caso de rías con disposición oblicua a la línea de costa (Fig. 3c). Éste desarrolla brazos más largos que en el caso del estuario transversal, debido a que la energía del oleaje en el ambiente estuarino es más débil. Una flecha recurvada en la boca, constituye una respuesta a la deriva a lo largo de la costa impedida por la descarga del río.

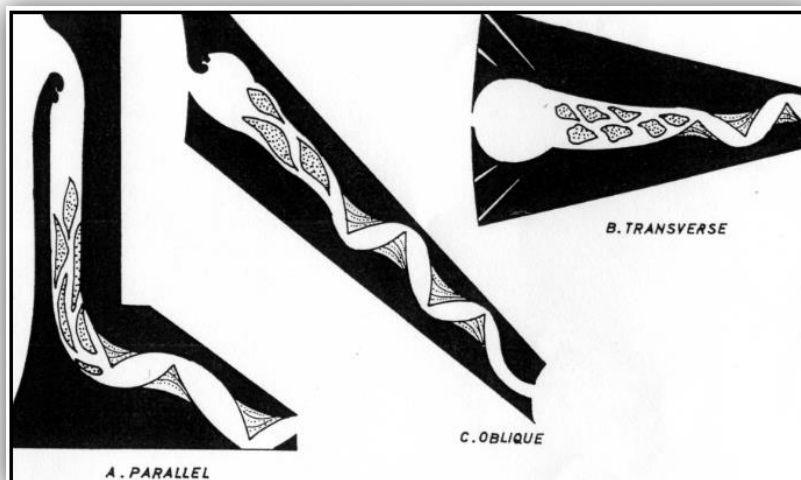


Fig. 3: Tipos de delta en ría según configuración y tipo de respuesta a la alta energía del oleaje. Fuente: ARAYA-VERGARA (1985).

Esta revisión tipológica finaliza con la presentación de dos modelos estuariales, los cuales se basan en la fuerza relativa de la energía del oleaje, las mareas y el río. El primero de ellos propuesto por DALRYMPLE *et al.*, (1992), enfocado en las facies estuarinas, y el segundo planteado por COOPER (1993), enfocado en la morfología. A continuación, se detalla parte de dichas propuestas:

La clasificación propuesta por DALRYMPLE *et al.*, (1992), relaciona la distribución de facies con la importancia relativa de la descarga del río, corrientes mareales y las olas en los estuarios, identificando dos tipos: 1) estuarios dominados por olas y 2) estuarios dominados por mareas.

- Estuarios dominados por olas → Por lo general, éstos poseen una alta energía del oleaje en su boca, provocando el desarrollo de barreras, flechas, o barras, cuya presencia protege en gran parte al estuario de la fuerza del oleaje. La influencia de las mareas es baja, sin embargo, si ésta aumenta ligeramente es capaz de mantener las entradas en el estuario. La energía de las mareas es disipada al momento de ingresar al estuario por la fricción de la entrada a éste. Por su parte, la energía fluvial, decae hacia el mar debido a la disminución del gradiente hidráulico.

El perfil de energía total en estuarios dominados por olas (Fig. 4a), debe mostrar dos máximas de energía, una en la boca del estuario causada por la energía del oleaje, y otra en la cabeza del estuario producida por las corrientes del río. Ambas están separadas por un mínimo de energía en la zona central del estuario. Esto genera una distribución de litofacies de secuencia: grano grueso – grano fino – grano grueso.

Los individuos morfológicos que pueden ser encontrados en la boca de estos estuarios, corresponden a: flechas, barreras o barras, abanicos de lavado (*washover fans*), y deltas de flujo mareal (*flood-tidal delta*). En la zona superior o proximal del estuario, suele formarse un delta de fondo o cabeza de bahía (*bay-head delta*). Este delta por lo general es dominado fluvialmente, y en lagunas amplias su morfología se asemeja a la pata de un pájaro, sin embargo, en sistemas más confinados esta morfología no es capaz de desarrollarse. Por último, la zona central del estuario, actúa como un prodelta del delta de fondo de bahía recién mencionado, pues es una zona de acumulación de grano fino.

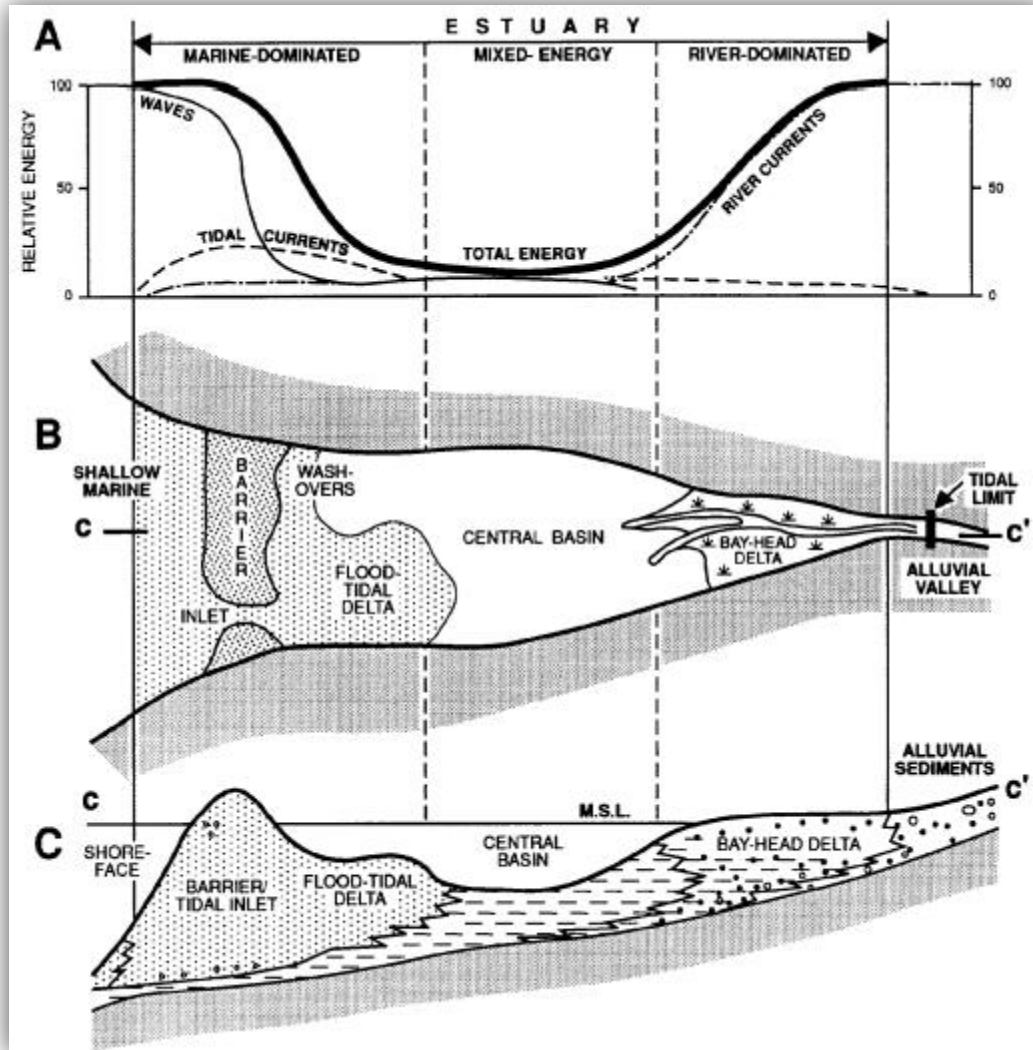


Fig. 4: Distribución de A) tipos de energía, B) componentes morfológicos vistos en planta, y C) facies sedimentarias en sección longitudinal, dentro de un idealizado estuario dominado por olas. Fuente: DALRYMPLE *et al.* (1992).

- Estuarios dominados por mareas → Al contrario de lo que se cree, estos estuarios pueden presentarse en costas con rangos de marea bajos, siempre que la acción del oleaje sea limitada y/o el prisma mareal sea grande. En estos estuarios, la energía de las mareas excede la del oleaje en la boca o zona distal, donde además, típicamente presentan barras de arena alargadas (Fig. 5), que logran disipar la energía del oleaje existente. La entrada del flujo mareal, es progresivamente comprimida debido a la geometría que caracteriza a estos estuarios (forma de embudo), y la velocidad de ésta se incrementa dentro del estuario, para luego comenzar a decrecer con la distancia, alcanzando 0 en el límite de marea de la zona proximal o cabeza del estuario. La energía fluvial también disminuye hacia el mar, como los estuarios dominados por olas.

El perfil de energía total en estuarios dominados por mareas (Fig. 5a), muestra dos máximos de energía: el máximo de energía fluvial ubicado hacia la zona proximal del estuario, y el máximo de energía mareal, que encuentra su peak desplazado aguas arriba con respecto a su extremo distal, lo cual ha provocado que el punto de balance entre energía mareal y energía fluvial también esté desplazado hacia el interior del estuario, siendo ésta la zona con menor energía (aunque no tanto como en estuarios dominados por las olas). La zona con menor energía posee arenas muy finas, y el sedimento fangoso es acumulado principalmente en las llanuras mareales o marismas a lo largo del estuario. La distribución tripartita de facies, en este caso no es tan obvia, ya que las arenas corren a lo largo del estuario por los canales de marea.

Los cuerpos arenosos de origen marino, se encuentran compuestos de dos facies fuertemente contrastadas. La más conocida, es una zona de barras mareales alargadas compuestas por arenas, que se ubican desde antes del máximo de energía mareal, y la segunda facies coincide con este máximo de energía, que consiste en una llanura arenosa de flujo de régimen superior (UFR), que muestra un patrón de canal trezado donde el estuario aún es ancho pero comienza a confinarse en un solo canal. En la zona central o zona de baja energía, el canal principal es confinado y muestra una progresión regular de sinuosidades que los autores llamaron: trecho "recto-meandrante-recto" (*straight-meandering-straight*). El primer trecho recto (distal), es dominado por mareas y el transporte neto de sedimento es hacia la cabeza del estuario, debido al fuerte flujo mareal, y presenta alternadamente bancos conectados a barras y algunas barras en medio del canal. El otro trecho recto (proximal) también contiene barras similares, pero el transporte neto de sedimento es aguas abajo, debido al dominio del río por sobre las corrientes de marea. El sector meandrante, comúnmente exhibe puntos de barras simétricas, y corresponde al punto de más baja energía del sistema.

Los deltas de fondo de bahía no están presentes en este tipo de estuarios, en su lugar el trecho recto proximal pasa directamente al cauce del río, por encima del límite de las mareas.

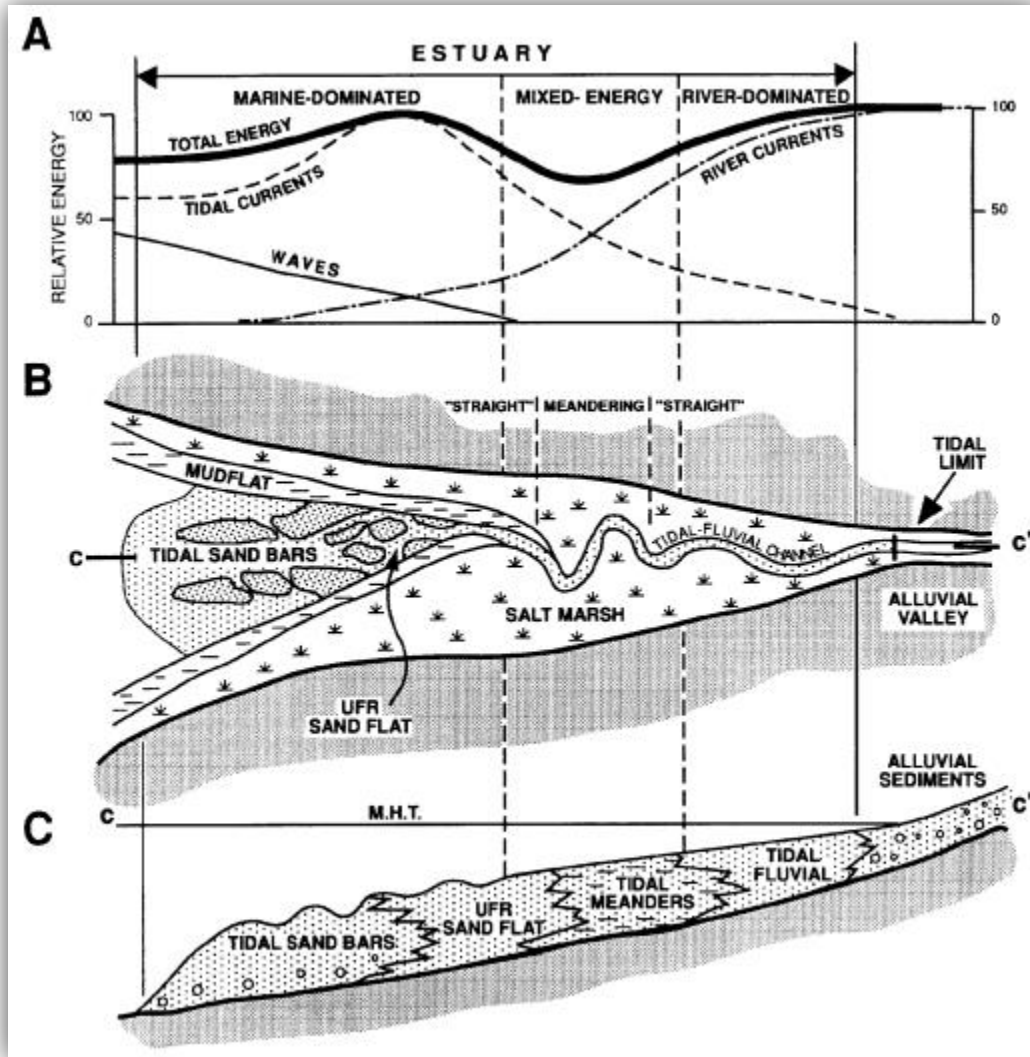


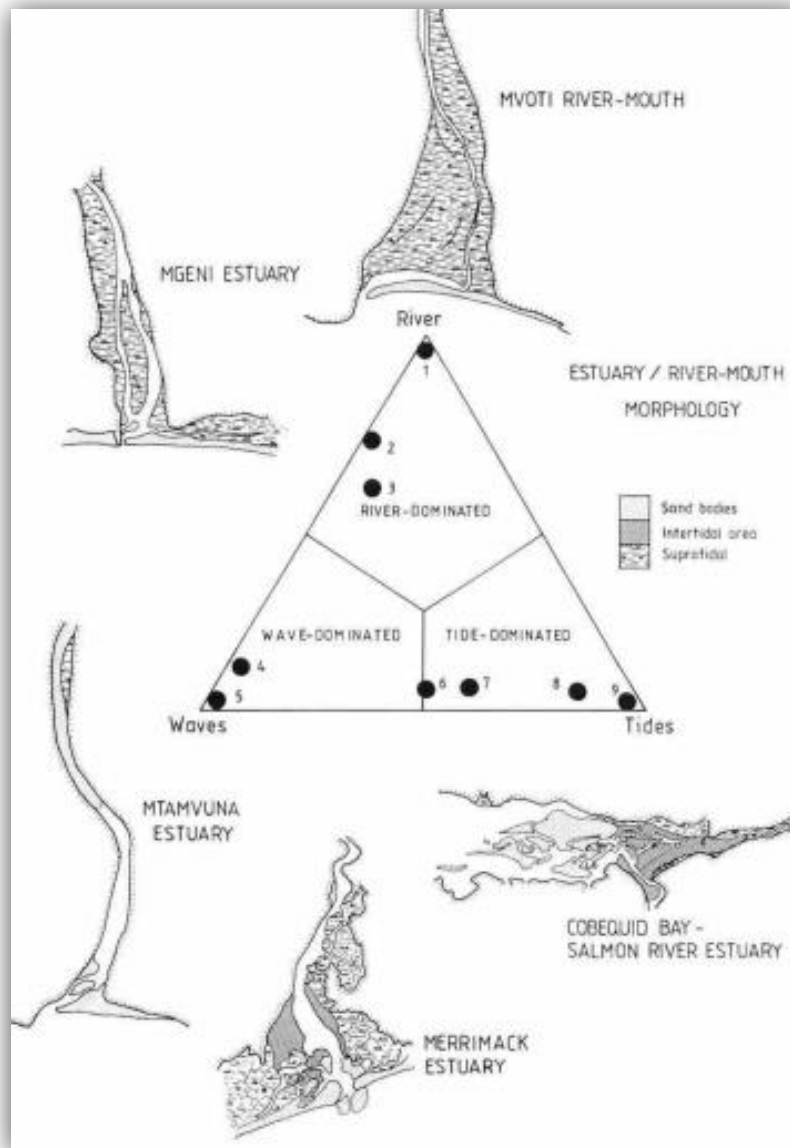
Fig. 5: Distribución de A) tipos de energía, B) componentes morfológicos vistos en planta, y C) facies sedimentarias en sección longitudinal dentro de un idealizado estuario dominado por mareas. Fuente: DALRYMPLE *et al.* (1992).

Según señalan DALRYMPLE *et al.*, (1992), la incorporación de la categoría “estuario dominado por el río” fue innecesaria, ya que la influencia relativa del río determina principalmente la tasa en la cual el estuario se llena, y no altera la morfología fundamental del sistema. No obstante COOPER (1993), reivindica la importancia del factor fluvial, al identificar y plantear esta categoría para los estuarios de la costa Este de Natal - Sudáfrica, siendo el estuario del río Mgeni un representante de este taxón.

Los estuarios dominados por el río, según señala COOPER (1993), poseen entre sus características un alto suministro de sedimento fluvial, y condiciones de litoral cercano desfavorables para su progradación costera. La progradación deltaica es impedida por la alta energía del oleaje (COOPER 1991 en COOPER, 1993), una plataforma continental

profunda y estrecha, y una corriente vigorosa que dispersa los sedimentos por la plataforma (FLEMMING, 1981 en COOPER 1993). Su denominación se debe a que son principalmente los procesos fluviales, los que limitan estrictamente la extensión de la influencia marina en ellos, y por tanto, sólo desarrollan una división de facies bipartita.

Cabe destacar, que COOPER (1993) reconoce la tipología de *deltas en ría* o *deltas estuariales* propuesta por ARAYA-VERGARA (1981) para los estuarios de Chile Central, como estuarios con características similares a los encontrados en las costas de Natal, incluyéndolos y posicionándolos dentro de su tipología de estuarios dominados por el río (Fig. 6, ubicación N°3).



**Fig. 6: Morfología estuarial como función de la importancia relativa de las olas, mareas y el río. Fuente: COOPER (1993).**

### 1.3.4. Evolución de sistemas costeros

Con la finalidad de desarrollar un marco para la clasificación de estuarios, DALRYMPLE *et al.*, (1992) analizaron la relación entre estuarios y otros sistemas costeros deposicionales, lo cual derivó en una clasificación evolutiva de sistemas costeros. El análisis consideró dos aspectos: 1) la importancia relativa de los procesos físicos que operan, y 2) los cambios ocurridos a través del tiempo en respuesta a las variaciones del nivel del mar. Sobre el primer punto, tal como numerosos autores han manifestado, los deltas y costas barrera (barrier coasts) pueden ser clasificados en base a la influencia relativa de la descarga del río, las corrientes mareales y las olas (procesos que controlan la morfología y distribución de facies). DALRYMPLE *et al.*, (1992) convinieron en que los estuarios pueden ser tratados de igual forma, pues en un estuario también interactúan dichos procesos. El segundo punto, dice relación con el aspecto evolutivo, donde el tiempo relativo es expresado según variaciones en el nivel del mar; transgresión y progradación (regresión deposicional; CURRAY 1964 en DALRYMPLE *et al.*, 1992).

De este modo, DALRYMPLE *et al.*, (1992) esquematizaron la importancia relativa de la descarga del río, las corrientes mareales y las olas, en un triángulo (Fig. 7) que ubica en el vértice superior (ápice del triángulo) a los deltas, debido a que su principal fuente de sedimentos es el río, y posiciona en los vértices inferiores del triángulo a las olas y las mareas, relacionando a éstas con las costas progradadas no deltaicas, es decir, playas llanas (*strandplains*) y planicies mareales (*tidal flats*) respectivamente, originadas por el sedimento transportado hacia la costa o playa (*on shore*) mediante procesos marinos. Los estuarios ocupan una posición intermedia dentro del esquema, debido a que ellos poseen una fuente de sedimentos mixta.

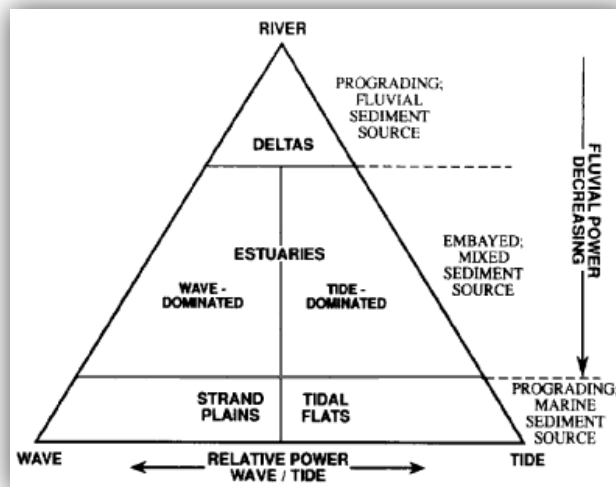


Fig. 7: Tipos de ambientes costeros, según el origen de su relleno sedimentario y la fuerza relativa dominante en ellos. Fuente: DALRYMPLE *et al.* (1992).

El esquema de la figura 7, se sustenta en la base de que un estuario es un individuo geológicamente efímero, pues si la tasa de suministro de sedimento es suficiente (en



relación al tamaño del valle), entonces los estuarios comienzan a llenarse y dejan de existir cuando la tasa de aumento del nivel del mar disminuya, transformándose de este modo en: 1) un delta, si los sedimentos son suministrados directamente por el río, o 2) en una costa recta progradante, si los sedimentos son derivados a la costa por procesos marinos como olas y mareas.

El aspecto evolutivo es representado mediante la adición de una tercera dimensión; el tiempo relativo (en términos de transgresión y progradación), transformando el primer esquema en un prisma triangular (Fig. 8). De este modo, los cambios que se producen durante la progradación, es decir, relleno del estuario y su conversión a deltas o llanos progradantes (cordones de playa o planicies mareales), deben ser representados por un movimiento hacia atrás del prisma, donde los estuarios ya no existen; mientras que cambios que estén asociados con transgresión, o sea, anegamiento de valles fluviales, son representados por un movimiento hacia la cara frontal del prisma, donde todos los valles han sido convertidos a estuarios.

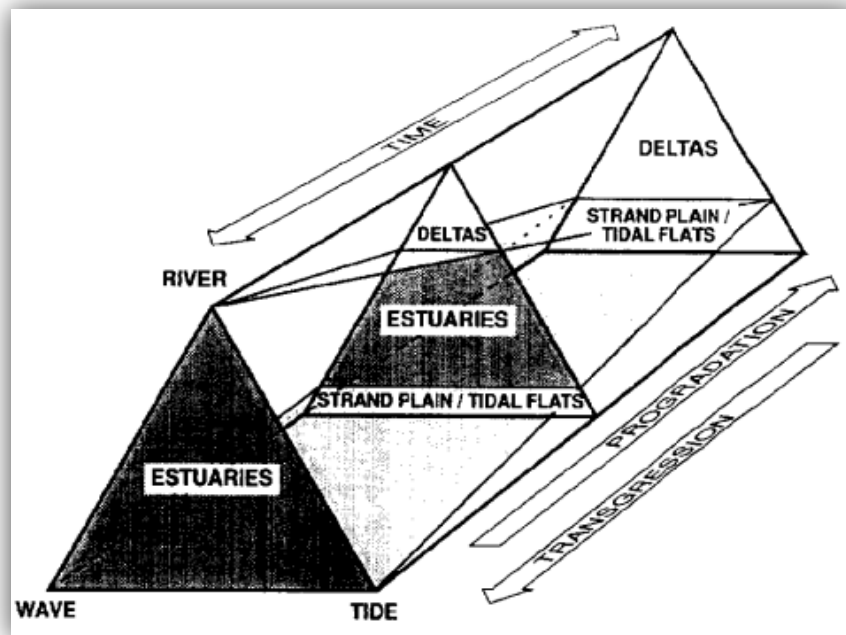


Fig. 8: Esquema evolutivo de ambientes costeros. Fuente: DALRYMPLE *et al.* (1992).

En Chile, según lo expuesto por ARAYA-VERGARA (1981), la génesis de los valles inferiores de los ríos de la zona central, está relacionada con fases regresivas del Cenozoico Superior, y las fases transgresivas más recientes corresponden a aquellas que permitieron la presencia de rías hacia el máximo transgresivo.

#### 1.4.\_Antecedentes del estuario del río Maule

Entre los antecedentes históricos recopilados por POMAR (1962) sobre el área de estudio, se señala que durante los primeros años de la conquista española, la desembocadura del río Maule ya era conocida como punto de acceso desde el mar al continente, siendo la ciudad de Constitución reconocida como puerto mayor hasta el año 1883. En aquella época, el río Maule también permitía la navegación interior, donde embarcaciones menores podían llegar hasta el puerto fluvial de Perales, ubicado a 61 km. del Océano Pacífico. Más tarde, con la construcción del ramal Talca – Banco de Arena, incluso la navegación marítima de embarcaciones medianas se extendió hasta esta última estación, situada a poco más de 6 kms de la desembocadura. No obstante, las carreras regulares de navegación por buques a vapor, finalizaron hacia 1910 debido al empeoramiento de la barra. Este hecho, según afirma el mismo autor, responde a una tendencia generalizada, experimentada por varias desembocaduras de Chile, que se atribuye en parte a la disminución del caudal de los ríos debido a su derivación a canales de regadío en la zona norte, y principalmente al aumento de carga sedimentaria, debido a la deforestación de las zonas altas y medias de las cuencas en la zona centro y sur del país. Con respecto a ello, LÉVEQUE (1876) afirma que el río Maule, también fue sensible a la disminución de su caudal debido a sangrías de regadíos.

El estudio de LÉQUEVE (1876) señala un sin número de apreciaciones fisiográficas y técnicas relacionadas a la factibilidad portuaria de la desembocadura del Maule. La importancia de su estudio para esta memoria, radica en ser el estudio técnico más antiguo (al cual se tuvo acceso), que se refiere a la existencia de las particulares formas deltaicas presentes en el estuario del Maule. En él se afirma de manera textual lo siguiente:

*“evidentemente tiende a formarse un delta (dentro de la ría), y si no fuera por el retroceso de las arenas, debido a las olas de afuera, puede asegurarse que este delta existiría. Además, la isla situada frente a la ciudad de Constitución, tiende constantemente a prolongarse, así es que este delta presentaría tres brazos.”*

No obstante, es el trabajo de ARAYA-VERGARA (1981) el estudio que aporta mayores antecedentes geomorfológicos sobre el estuario del río Maule a esta investigación, al describir y analizar sus individuos morfológicos esenciales (Fig. 9). Dicho análisis, se enfoca particularmente en el estado que estas formas presentaban en el año 1955. Además, incorpora en su estudio a la mayor forma de acumulación sedimentaria de la costa pareja de Chile: la convexidad de acreción Putú-Quivolgo, individuo morfológico asociado también al sistema de desembocadura del Maule.

Bajo este estudio, el sistema estuarial del río Maule se encuentra conformado por:

- Ría de Constitución → En sus vertientes es posible encontrar pendientes incluso del orden de los 45°, y se estima que su óptimo del relleno moderno se encuentra entre 7 y 8 m, lo que corresponde a la altura alcanzada por la terraza sobre la cual descansa la ciudad de Constitución. Este nivel puede relacionarse al nivel de Cachagua, correlacionado por PASKOFF (1970 en ARAYA-VERGARA, 1981) para

alturas entre 5 y 7m. Sin embargo, también se identifica en la terraza otro escalón a 10 m.

- Meandros estuariales → El río Maule presenta meandros unificados que prescinden de cuernos típicos, pero poseen una punta en la curvatura que separa una parte cóncava de la convexa en la orilla de resbalamiento.
- *Delta estuarial o delta en ría* → Los bancos estuariales que componen el delta interior, son bien constituidos y presentan una disposición muy simple. Éstos son alargados y pseudo-romboidales debido a la acreción entre ellos, cuyos límites se aprecian en las entrantes que sirven de canales de marea de desborde o vaciado. La altura de estos bancos alcanza los 6 m, denotando estabilidad de largo término. Con respecto a este punto, cabe mencionar que ARAYA-VERGARA (2010 en BIRD, 2010) se refiere particularmente a éstos, como los últimos bancos estuariales perecederos más meridionales de Chile central, pues ya en el estuario del río Bío-Bío estas formas se tornan más bien efímeras.

Al mismo tiempo, y mediante la comparación de cartas topográficas con fotografías aéreas, dicho autor evidenció que la Isla de Constitución, actualmente conocida como Isla Orrego, experimentó un crecimiento en su parte distal que estimó en 25 m/año entre 1935 y 1955. También registró una disminución del sector proximal del otro banco de importancia (en aquellos años el banco del Edén) de similar velocidad, sin haber acrecentado el sector distal de la misma, ante lo cual, dedujo una posible transferencia sedimentaria entre estos bancos.

Por último, señala que las orillas convexas de los lentes o bancos arenosos, exhiben una tendencia deposicional, mientras las orillas cóncavas y rectilíneas erosionales.

- Laguna estuarial → Es compacta y redondeada. Se estima que sus riberas cóncavas son producto de la acción combinada de la corriente fluvial y de las mareas.
- Flecha litoral → La flecha delimita la laguna estuarial hacia el mar, y se encuentra unida a la ribera norte. Su concavidad hacia el mar revela que su alineamiento es sobre todo por vaivén, y su extremo libre se presenta recurvado debido a la alta energía del oleaje. Posee una entrante hacia su zona proximal, que demuestra que tiende a ser cortada en momentos de alta energía fluvial.
- Convexidad de acreción → Corresponde a un sistema de cordones litorales sucesivos que convergen hacia la boca del Maule, evidenciando su fuente de abastecimiento. Su forma es convexa hacia el mar, su extensión fue estimada en 24 km de largo y 5 km de ancho en el sector de mayor convexidad tendiente al sur. Sobre esta forma se halla un sistema de barjanes coalescentes con distintos grados de evolución. Se cree que dichos cordones litorales, fueron depositados

por acreción a medida que el nivel del mar bajó desde unos 10 m de altura hasta el nivel actual.

Así mismo, el autor señala que “lo que en el supuesto de un oleaje poco energético debió haber sido un delta, fue transmutado hacia el Norte como forma de origen marino. Por tanto, se propone que esta convexidad de acreción es un delta transmutado en convexidad de acreción”

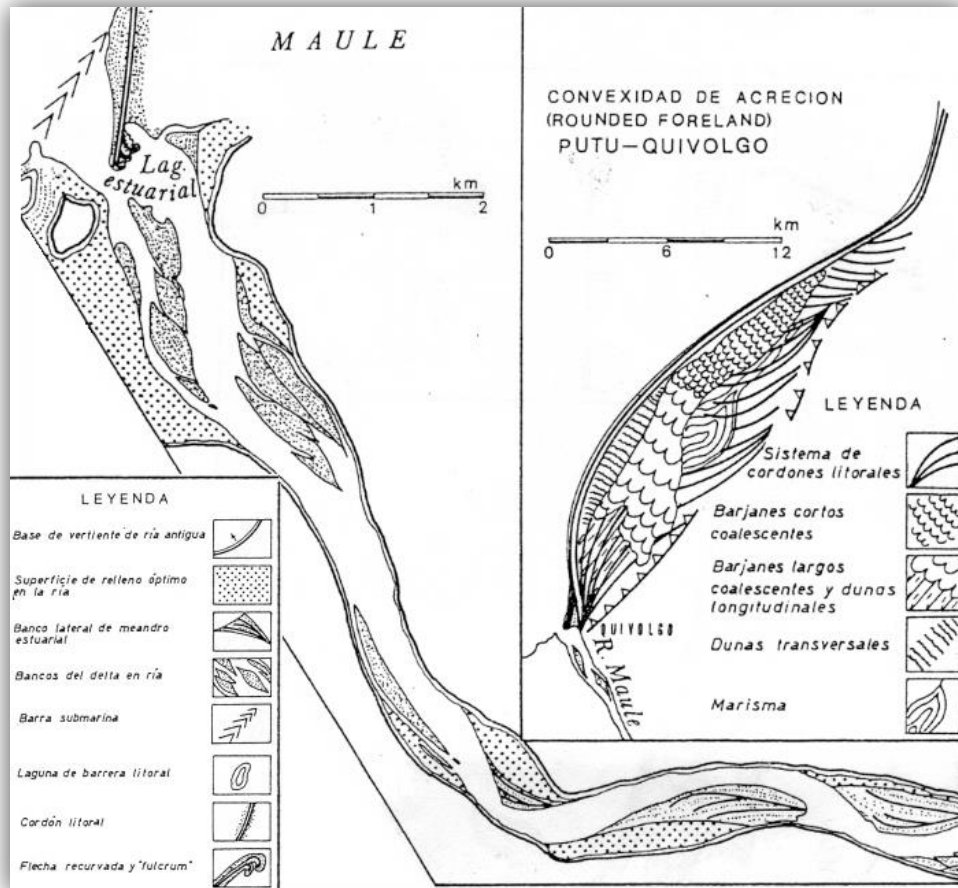


Fig. 9: Esquema morfológico del estuario del río Maule. Fuente: ARAYA-VERGARA (1981).

Por otro lado, ARAYA-VERGARA (1981) logró extraer de trabajos realizados por la Dirección de Obras Portuarias en 1960-1961, que el alcance de la marea dinámica dentro del estuario del Maule correspondía a unos 16 km, y que ésta debería alcanzar unos 12.3 km en bajamar.

Con respecto a ello, el reciente estudio de ARCE-MORÁN (2014) sobre la hidrodinámica del estuario del río Maule, reconoce que el remanso de marea se extiende efectivamente más allá de la Piedra del Lobo, ubicada a 13.5 km desde la desembocadura, lo que sustenta la información antes señalada. Sin embargo, este estudio no logra delimitar con

exactitud, el límite interior del estuario, pues el último mareógrafo instalado hacia el continente se situó a dicha distancia, en donde aún se hacía sentir la marea.

Otra medición documentada en el estudio de ARCE-MORÁN (2014), se refiere a la cuña salina existente en el estuario del río Maule, la cual posee un alcance aproximado de 6 km hacia tierra, registrando una salinidad menor a 3 en su boca (sector flecha Quivolgo), y tendiente a 0 en el sector próximo a Banco de Arena.

## **1.5.\_Objetivos**

### **1.5.1.\_Objetivo General**

Caracterizar y analizar los cambios morfológicos experimentados por la zona media y distal del estuario del río Maule, durante los años 1944-5 y 2011, dilucidando aspectos referentes a su comportamiento morfodinámico y tendencia evolutiva.

### **1.5.2.\_Objetivos Específicos**

- Reconocer el entorno geomorfológico e individuos constituyentes del estuario.
- Caracterizar la configuración morfológica histórica del estuario, previo al periodo establecido para el estudio, como antecedente al análisis morfo-secuencial.
- Analizar comparativa y secuencialmente los diversos cambios y configuraciones morfológicas experimentadas por el estuario.
- Plantear aspectos fundamentales sobre el comportamiento morfodinámico y tendencia evolutiva del estuario.

## 2.\_MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección caracteriza el contexto geográfico del área de estudio, así como también, aborda los materiales y métodos utilizados para el desarrollo de esta memoria.

### 2.1.\_Área de Estudio

El estuario del río Maule (Lat  $-35^{\circ} 19' 55''$ ; Long  $-72^{\circ} 24' 00''$ ) se emplaza en la comuna de Constitución, Región del Maule, zona centro-sur de Chile. El sector estudiado corresponde específicamente a los últimos 5 km del curso inferior del río Maule (Fig. 10), es decir, la zona media y distal del estuario.

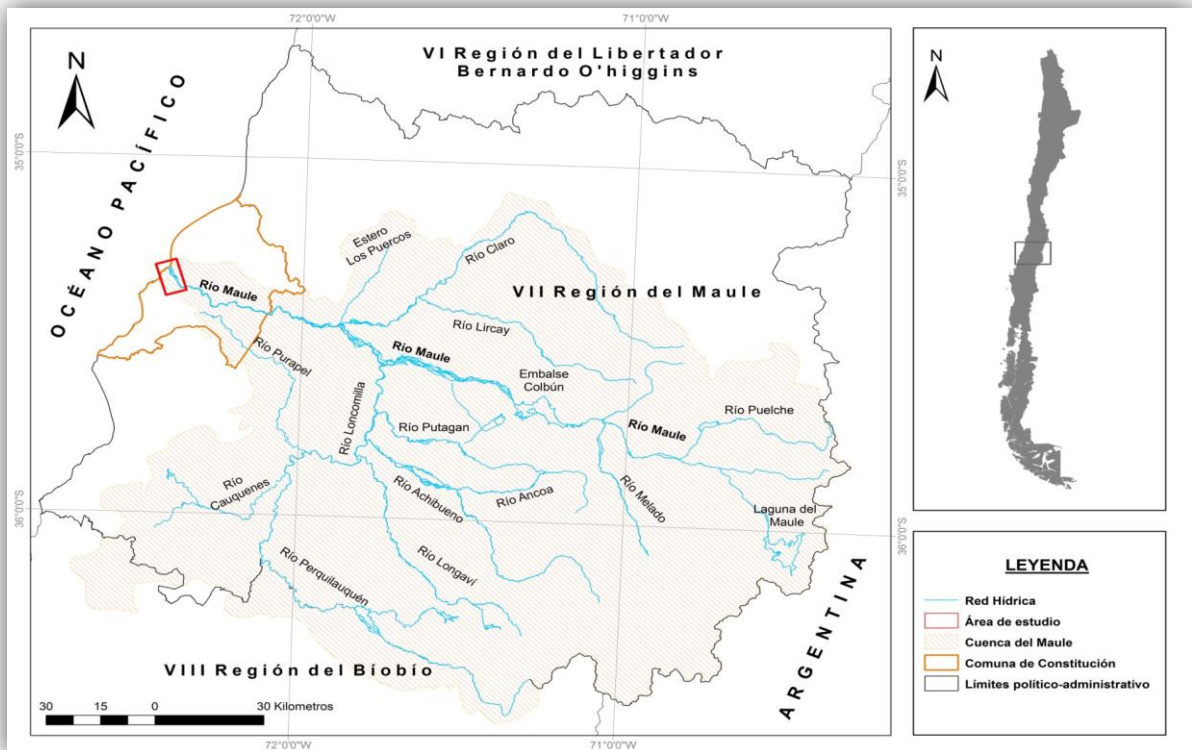


Fig. 10: Cartografía del área de estudio y su contexto inmediato. Fuente: Elaboración propia, en base a cartografía digital del Instituto Geográfico Militar – IGM.

#### 2.1.1 Cuenca del Maule

La cuenca del río Maule comprende la mayor parte de la VII Región, con una superficie de  $20.295 \text{ km}^2$ , lo cual la convierte en la cuarta cuenca más extensa a nivel nacional (CADE-IDEPE, 2004).

El río Maule nace en la Cordillera de los Andes, en el extremo norponiente de la laguna del mismo nombre, a  $2.233 \text{ m.s.n.m.}$ , y finaliza su curso en la comuna de Constitución,

donde desemboca al Océano Pacífico tras recorrer 240 km de Este a Oeste. En su trayecto, se muestra en primera instancia angosto y encajonado por las altas montañas del sector Andino, luego se exhibe más ancho pues expande su cauce para atravesar la llanura aluvial central, y posteriormente es confinado otra vez por cerros pertenecientes a la cadena costera. En sus últimos 10 kilómetros de recorrido, se ensancha en forma de estuario, alcanzando en su boca una amplitud cercana a los 900 m (NIEMEYER & CERECEDA, 1984).

El régimen del río Maule varía a lo largo de su recorrido. En la cuenca alta su régimen corresponde a nivo-pluvial, y en la cuenca baja su régimen cambia a pluvial, pues los principales tributarios de su cuenca en el sector medio (Río Claro y Loncomilla) poseen un régimen pluvial. En años húmedos, los mayores caudales se registran entre Junio y Julio y entre Noviembre y Diciembre debido a los importantes aportes pluviales y nivales, respectivamente. El período de menores caudales se presenta en el trimestre dado por los meses de Febrero, Marzo y Abril (CADE-IDEPE, 2004). El caudal medio anual estimado en la desembocadura es levemente superior a los 500 m<sup>3</sup>/s, (AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS LTDA., 2003). El gasto sólido promedio calculado durante los años 1988 a 2008 fue de 3.253.303,11 ton. (DGA, 2012b).

La cuenca del río Maule se encuentra bajo el dominio de un clima Mediterráneo, caracterizado por al menos dos meses consecutivos de déficit hídrico en verano. Su área de captación o cuenca alta, se encuentra bajo el dominio Mediterráneo pluviestacional continental (sobre 2.000 m.s.n.m), mientras el resto de la cuenca se encuentra bajo el dominio Mediterráneo pluviestacional oceánico (CADE-IDEPE, 2004). La precipitación media anual sobre la cuenca es del orden de los 1.450 mm, variando entre medias anuales de 2.500 mm en la parte alta y 700 mm en la zona costera (AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS LTDA., 2003).

### **2.1.2 Constitución**

A continuación se presenta la configuración fisiográfica del sector costero-litoral de la ciudad ribereña de Constitución y sus alrededores, pues ésta conforma el contexto más inmediato al área de estudio.

### **Geología y geomorfología**

A grandes rasgos, la composición geológica del sector costero-litoral de Constitución se encuentra conformado principalmente por rocas graníticas (stock granítico) constituyentes de la ría de Constitución, además de depósitos cuaternarios fluviales, los que se relacionan con el relleno actual de la ría, y depósitos cuaternarios marinos, correspondientes a playas actuales. El levantamiento geológico del área de estudio, es documentado de manera más extensa y específica por (GODOY, 1970) y HERVÉ (1974 en ALFARO, et al.,1998).

Dentro de la taxonomía de costas de Chile propuesta por ARAYA-VERGARA (1976), el borde costero de Constitución es considerado como la configuración morfológica más

representativa de la unidad regional de Punta Curaumilla (33° Lat. S) - Dichato (36,5° Lat. S), la cual se caracteriza por poseer alternancia de costas arenosas de extensas playas y campos dunares, con sectores acantilados de roca dura (Fig. 11).

Esta descripción geomorfológica, coincide a grandes rasgos con las características halladas por PASKOFF (en DÍAZ-NAVEAS & FRUTOS, 2010) para el mismo sector. Sin embargo, este autor incluye además las terrazas de erosión, individuos de presencia regional que en el sector llegan a alcanzar más de 400 m sobre el nivel del mar, y se extienden más de 30 km tierra adentro de manera escalonada. PASKOFF (en DÍAZ-NAVEAS & FRUTOS, 2010) asocia estas formas a un origen marino que pudo haber comenzado en el Mioceno y posteriormente haber evolucionado, en este borde costero tectónicamente emergente.

Relacionado a ello, el estudio de ARAYA-VERGARA (1971-2) hace mención de los particulares arcos y pirámides rocosas ubicados en el litoral de Constitución (Piedra de la Iglesia, Piedra Las Ventanas, Arco de los Enamorados, Los Calabocillos), los que el autor relaciona genéticamente con plataformas de abrasión debidas a un nivel del mar más alto que el actual.

La presencia de ambientes estuarinos, fue reconocida dentro de ambas clasificaciones geomorfológicas costeras, aunque de manera general.

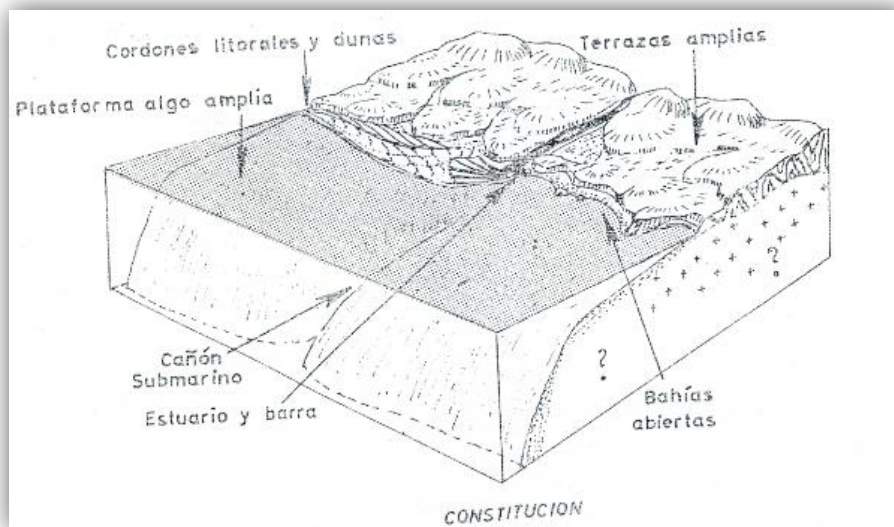


Fig. 11: Bloque representativo de los individuos geomorfológicos costeros de Constitución. Fuente: ARAYA-VERGARA (1976).



## Aspectos Oceanográficos

En cuanto a los aspectos oceanográficos del litoral del Constitución, es posible señalar que éste se sitúa en un ambiente de baja amplitud mareal (1-2 m) con régimen mixto, y dirección del viento predominante S.W. (ARAYA-VERGARA, 1982). Según estimaciones del Ing. G. MOGUILNY del Lab. Central d'Hydraulique de France (en ARAYA-VERGARA, 1971) el oleaje en Constitución comúnmente oscila entre 1 a 2.5 m de altura, con un período de 8 a 14" (Tabla 1). El ambiente de oleaje corresponde al mar de leva (*swell*), donde las olas atacan con más frecuencia una estrecha banda litoral ARAYA-VERGARA (1982).

**Tabla 1: Relación entre la altura alcanzada por las olas de Constitución en los años 1986-1987 y su frecuencia.**

FRECUENCIA	ALTURA (m)
Hasta 28%	0.5 - 1
Hasta 60%	1 - 2 a 2.5
Hasta 10%	2.5 - 4
Hasta 1-2%	Más de 4
1 día al año	Igual o superior a 6

Fuente: ARAYA-VERGARA (1971).

El litoral de Constitución se encuentra bajo dos procesos que influyen de manera directa en la morfología: el alineamiento por deriva, con su área de acción hacia el norte (derivada de la dirección predominante del *swell* del S.W.) y el alineamiento por vaivén (*swash*), producido en ambiente de *swell*, donde la línea litoral sobre la cual éste actúa es más o menos perpendicular a la dirección de propagación de las olas. En bahías protegidas, el alineamiento por vaivén es posible gracias a refracciones y difracciones ARAYA-VERGARA (1982).

## Tsunamis en Constitución

Históricamente, se conoce la ocurrencia de al menos cinco terremotos que provocaron ondas de tsunami en el puerto Constitución. Estos se registraron los años 1570, 1730, 1751, 1835 y 1906 (SHOA, 2002). El último evento extremo sumado a este historial, ocurrió el 27 de Febrero del año 2010, terremoto de magnitud 8.8 Mw con epicentro frente a la costa de Cobquecura (73,24°W; 36,29°S). Este terremoto originó ondas de tsunami que afectaron las costas comprendidas entre las regiones de Valdivia y Valparaíso. La mayor altura del tsunami se registró al norte del epicentro, en la Región del Maule (VARGAS *et al.*, 2011). Ésta fue modelada por LAGOS (2010), arrojando como resultado una altura de tsunami de 14 m para la costa de Constitución, resultado que posteriormente fue calibrado con observaciones de terreno que dieron como altura de tsunami de entre 10 y 11 m.

## 2.2.\_Procedimientos

El método investigativo empleado para este estudio, corresponde a la fotointerpretación y análisis inductivo y comparativo de fotografías aéreas e imágenes satelitales del estuario del río Maule, creando una secuencia espacio-temporal discreta de los estados morfológicos experimentados por éste. Análisis que a su vez fue nutrido por material cartográfico histórico, información levantada en terreno e información bibliográfica.

El reconocimiento de las formas esenciales del estuario del río Maule, fue realizado considerando el estudio de ARAYA-VERGARA (1981), la fotointerpretación de pares de fotografías aéreas correspondientes a los primeros vuelos aerofotogramétricos del sector mediante estereoscopio, y la campaña de terreno.

La campaña de terreno consistió principalmente, en levantar el estado actual de los individuos morfológicos constituyentes del estuario. Los implementos utilizados en esta campaña fueron: cartas topográficas, e imágenes satelitales de Google Earth 7.1.2., pertenecientes a los años 2010 y 2011, y GPS. La visita a terreno se efectuó durante los días 4 y 5 de Septiembre del 2011.

Los antecedentes morfológicos e hitos históricos del estuario del río Maule, fueron extraídos a partir del análisis de planos, cartografías y estudios del estuario entre los años 1876 y 1932 (Tabla 2). Estos antecedentes permitieron tener una visión general, sobre el estado morfológico del estuario del río Maule en aquella época.

**Tabla 2: Material cartográfico histórico utilizado:**

Nº	PLANOS Y CARTAS HISTÓRICAS	ESCALA	FUENTE	AÑO
1	Plano Puerto de Constitución, Plano General.	1:10.000	LÉVEQUE, ALFRED	1876
2	Plano Puerto de Constitución, Plano General de Sondajes.	1:10.000	LÉVEQUE, ALFRED	1876
3	Plano Puerto de Constitución, Proyecto de Puerto en la Caleta.	1:10.000	LÉVEQUE, ALFRED	1876
4	Plano Litoral de Constitución: Ampliación de la carta Inglesa Nº1286	1:100.000	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA)	1905
5	Plano Constitución	1:20.000	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA)	1926
6	Plano constitución	1:5.000	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA)	1932

Por otra parte, se fotointerpretaron nueve fotografías aéreas obtenidas desde el Instituto Geográfico Militar (IGM), el Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea (SAF) y el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) de vuelos efectuados entre los años 1944-5 – 1997; y cinco imágenes satelitales obtenidas del software Google Earth 7.1.2., correspondientes al período 2004 – 2011 (Tabla 3). Existen al menos dos ejemplares de cada estación del año, por lo que la variabilidad climática de la zona se encuentra cubierta.

Este material gráfico fue digitalizado a través del software ArcGIS 10, resultando en un total de 14 esquemas morfológicos. Para facilitar la comparación entre dichos esquemas, se estableció una escala homogénea para todos ellos de 1:28.000, y se incorporaron segmentos rectilíneos transversales al eje longitudinal del estuario, con el fin de evidenciar de mejor manera los avances o retrocesos experimentados por los individuos morfológicos constituyentes del estuario, basándose en el ejemplo presentado en el estudio de CASTRO (1987).

Se efectuó también, la medición de las dimensiones de los principales bancos estuarinos deltaicos, con el fin de demostrar de manera concreta, los cambios superficiales que ellos han experimentado a través de los años.

**Tabla 3: Fotografías aéreas e imágenes satelitales utilizadas:**

Nº	TIPO DE MATERIAL	FUENTE	FECHA CAPTURA	AÑO	TEMPORADA
1	Fotografía aérea	IGM	—	1944~1945	Primavera ~ Verano
2	Fotografía aérea	IGM	18 de Enero	1955	Verano
3	Fotografía aérea	IHN-MOP	Marzo	1965	Verano
4	Fotografía aérea	IHA-SHOA	26 de Noviembre	1974	Primavera
5	Fotografía aérea	SAF	11 de Agosto	1978(a)	Invierno
6	Fotografía aérea	IHN-MOP	—	1978(b)	—
7	Fotografía aérea	SAF	7 de Abril	1992	Otoño
8	Fotografía aérea	SAF	3 de Octubre	1994	Primavera
9	Fotografía aérea	SAF	11 de Febrero	1997	Verano
10	Imagen Satelital	Google Earth 7.1.2.	14 de Marzo	2004	Verano
11	Imagen Satelital	Google Earth 7.1.2.	28 de Abril	2007	Otoño
12	Imagen Satelital	Google Earth 7.1.2.	22 de Julio	2009	Invierno
13	Imagen Satelital	Google Earth 7.1.2.	2 de Marzo	2010	Verano
14	Imagen Satelital	Google Earth 7.1.2.	20 de Noviembre	2011	Primavera

Se incorporó dentro del análisis la dinámica del litoral cercano, mediante la clasificación de tipos de zonas de rompientes (TZR). Para ello, se adoptó la tipología propuesta por WRIGHT & SHORT (1984 en SHORT, 1987), modificada por ARAYA-VERGARA (1996) para su utilización en fotografías aéreas.

Finalmente, se consideraron datos correspondientes al caudal diario del estuario del río Maule, extraídos del sistema de estadística hidrológica en línea, perteneciente a la Dirección General de Aguas. Estos datos fueron revisados con el fin de encontrar cifras de gasto fluvial anómalo con respecto al caudal medio del río Maule, que pudiesen ser relacionados a cambios en la configuración morfológica de éste, encontrando un caso significativo en el esquema del año 1997.

### 3.\_RESULTADOS

#### 3.1.\_Reconocimiento geomorfológico del estuario del río Maule y individuos constituyentes

El estuario del río Maule se encuentra inserto en la ría de Constitución, conformada por las inclinadas laderas de la sección Occidental de la Cordillera de la Costa Maulina, cuyas cotas alcanzan con facilidad los 250 m.s.n.m. en la zona media del estuario, y los 400 m.s.n.m en su zona proximal, constituyendo un perfil transversal en forma de "V". Visto en planta, el valle posee forma de embudo, pues existe un distanciamiento progresivo entre las laderas opuestas de la ría, a medida que ellas se acercan a hacia el mar (Fig. 12).

Bajo los parámetros propuestos por ARAYA-VERGARA (1981), BIRD (2008) y las consideraciones propias de la autora, se estima que la extensión total del estuario del río Maule es de aproximadamente 17 km. Esta delimitación considera como kilómetro 0 o límite distal, el sector donde suele desarrollarse la barra submarina del Maule, que a su vez coincide con la proyección de la línea litoral de la playa frente a CELCO. La barra litoral corresponde al último individuo morfológico de origen fluvio-marino encontrado costa afuera, que puede ser identificado de manera subaérea (por rompientes en el lugar), razón por la cual dicho sector es considerado límite estuarial externo.

El límite interno del estuario, corresponde al alcance que posee la marea dinámica hacia el continente, y al reconocimiento morfológico de los bancos laterales del único curso meandrante del Maule, respecto a los fluviales. Para ello, se consideró la información aportada por ARAYA-VERGARA (1981), sobre el alcance de marea dinámica, quien afirma que ésta se extiende 16 km a partir de la desembocadura (que difiere del límite externo recién definido, en casi 1 Km).

Los individuos morfológicos reconocidos, fueron clasificados según la zonación planteada por ARAYA-VERGARA (1981) para los estuarios de Chile central. Ésta fue aplicada según el estado que los individuos presentaban en el año 2011 (Fig. 12).

La Zona Proximal se encuentra desarrollada entre el sector Banco de Arena y Maquegua, siendo la sección más extensa del estuario (10 km). En ella, existe un único canal meandrante, que posee bancos laterales cuspidados con puntas redondeadas, y algunos bancos ovalados.

La Zona Media se ubica inmediatamente aguas abajo de la zona proximal, desde el sector Banco de Arena hasta el extremo distal de Isla Orrego, ocupando una extensión de 5.6 km aproximadamente. En ella se emplaza el delta interior del Maule, compuesto principalmente por dos bancos medios: Isla Orrego e Isla del Perro, y dos bancos laterales: uno en la ribera norte, situado en El Edén y otro en la ribera sur, cercano al sector Banco de Arena. Dentro de esta zona, también es posible identificar la extensión de relleno óptimo más extensa del estuario, que

corresponde a la terraza estuarial de Constitución. Parte de ella también es encontrada en la ribera norte, al poniente del banco del Edén.

La Zona Distal corresponde a la sección más pequeña dentro del estuario, con aproximadamente 1.4 km de extensión, cuyos límites son: el extremo distal del banco medio Isla Orrego, y la barra submarina del Maule. En él, es posible encontrar con frecuencia la flecha de Quivolgo y la barra del Maule, aunque estas formas son altamente dinámicas, y su presencia es más bien estacional. Eventualmente, se desarrollan también en esta zona otras flechas litorales prendidas a la ribera sur del sector de la desembocadura.

Se debe tener en cuenta, que tanto las cartografías, como los esquemas próximos a analizar en el siguiente apartado mostrarán una leve variación con respecto a la delimitación de las zonas media y distal (secciones a estudiar), e incluso presentar la incorporación de otros sus individuos morfológicos, lo cual se debe al carácter temporoespacial adoptado por esta investigación.

Por tanto, se acuerda lo siguiente:

- El límite entre la zona media y distal siempre estará definido por el extremo distal del banco medio más próximo a la desembocadura.
- El límite de la zona distal (o límite extremo del estuario) estará determinado por la ubicación que las barras litorales posean en cada estado. Cabe mencionar, que este límite sólo se desconocerá, cuando la barra litoral, habitualmente dispuesta de modo perpendicular u oblicua a la desembocadura, adopte una orientación cuasi-longitudinal a ella, la cual evoca una crecida del río.



Fig. 12: Zonificación del estuario del río Maule. Fuente: Elaboración propia, en base a tipos de zonificación propuestos por ARAYA-VERGARA (1981), BIRD (2008) y consideraciones propias.

### **3.2.\_Antecedentes morfológicos e históricos del estuario del río Maule (1876-1934)**

Las cartografías y planos históricos próximos a analizar, corresponden la zona media y distal del estuario del Maule. Ellos serán analizados con la finalidad de rescatar aspectos morfológicos importantes que complementen y nutran el análisis morfo-evolutivo posterior.

Los tres siguientes planos (Fig. 13, 14 y 15), forman parte del estudio de factibilidad portuaria llevado a cabo por LÉVEQUE (1876), por lo cual se debe tener en cuenta, que algunas de las obras portuarias graficadas en ellos solo quedaron en fase de proyecto.

#### **Plano general Puerto de Constitución (1876)**

El plano general del Puerto de Constitución (Fig. 13), muestra la configuración morfológica del estuario del río Maule en el año 1876. En él, el delta interior se encuentra compuesto por dos bancos medios y un banco de condición indeterminada. Este último puede corresponder tanto a un banco medio, como a uno lateral, pues en el plano no se logra apreciar la totalidad de su superficie.

Frente a la ciudad de Constitución, se encuentra el banco medio llamado “La Isla”, actualmente conocida como Isla Orrego. Este banco presenta una forma elíptica con extremos lanceolados, y una pronunciada entrante dispuesta en sentido opuesto a la corriente fluvial, ubicada en su extremo distal. Ostenta una longitud total de más de 1 km. Su borde interno (definido desde ahora como borde del banco orientado hacia el canal principal del río), posee una tendencia rectilínea, mientras que su borde externo (desde ahora entendido como borde del banco orientado hacia el canal secundario del río o más cercano a la ribera) se muestra convexo, encajando con la concavidad que dispone la ribera Sur en aquel tramo.

El banco de condición indeterminada, se ubica muy próximo a la ribera norte. Éste posee una forma oblonga estimada en aproximadamente 1 km de longitud, por lo cual su presencia también es significativa al interior del estuario.

Existe además, un banco medio de menor dimensión ubicado próximo a la desembocadura del estero Quivolgo. Su longitud es cercana a los 300 m y posee una forma alargada y estrecha, lo que evoca a un individuo de corto término. Su disposición, al contrario de los bancos medios recién descritos, es oblicua respecto al lecho del río y perpendicular a la desembocadura del estero de Quivolgo.

Este plano también permite observar el estado morfológico de la zona distal del estuario. En ella, la playa y flecha de Quivolgo comparten una línea litoral continua y rectilínea. El sentido de crecimiento de la flecha es N-S y su punta se encuentra recurvada hacia el interior del estuario, probablemente debido al oleaje. La orilla interna de la flecha (orilla orientada hacia el río), cuenta con una entrante pronunciada, característica que se repetirá también en otros esquemas. La playa en el sector del Arenal muestra una línea litoral continua cóncava hacia el mar.



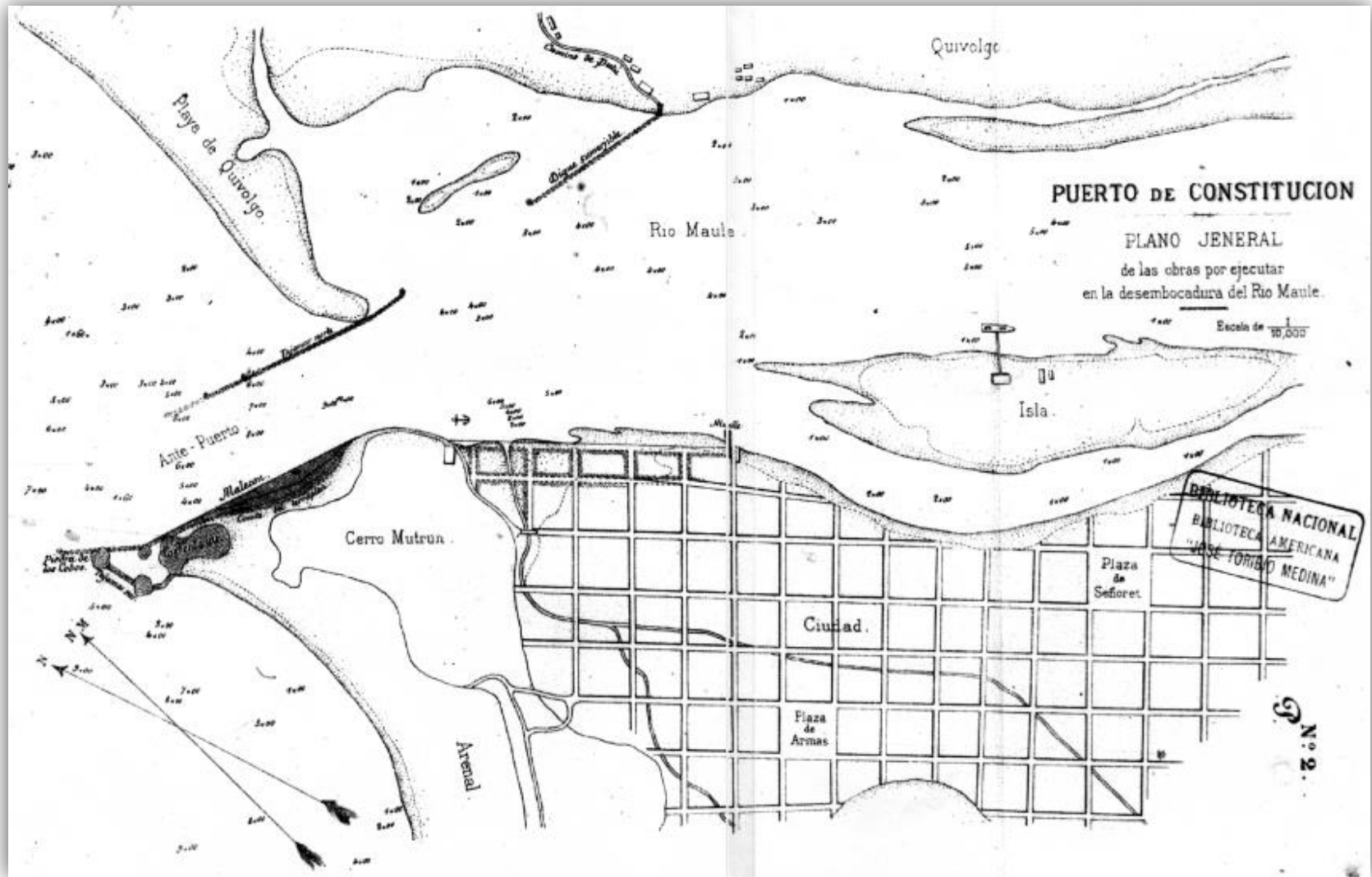


Fig. 13: Plano histórico de la desembocadura del río Maule y las obras por ejecutar. Fuente: LÉVEQUE (1876).

### **Plano de sondaje (1876)**

Este plano presenta la misma configuración morfológica antes descrita, no obstante su importancia reside en las isóbatas del litoral cercano de Constitución y la zona media-distal del estuario del río Maule, que éste exhibe, las cuales han sido medidas en bajamar (Fig. 14). El relieve subacuático del lecho estuarial, evidencia que el brazo principal del Maule tiene como profundidad máxima -4 a -5 m en su zona media, y poco más de -9 m en su desembocadura, frente al Co. Mutrún. El canal secundario, ubicado entre Isla Orrego y la ciudad de Constitución, presenta un relieve subacuático inclinado que se profundiza progresivamente hasta llegar a la boca del río. Por último, en el litoral cercano es posible dilucidar la presencia de la barra litoral dispuesta perpendicularmente a la dirección del lecho del río, alcanzando una somera profundidad de -1,6 m.

### **Plano proyecto Puerto en Caleta (1876)**

Este plano demuestra que el sector del Arenal, ubicado inmediatamente al sur de la desembocadura del Maule, posee una paulatina pero sostenida progradación en su línea litoral (Fig. 15). En él se compara la posición de línea litoral que esta playa tenía en el año 1844, respecto a su posición en el año 1876, registrando cerca de 100 m de playa progradada en su ancho máximo en el transcurso de 32 años, lo cual denota una tasa de acreción promedio de más de 3 m por año, en condiciones naturales.

### **Plano del litoral de Constitución (1905)**

Este plano no posee el nivel de detalle gráfico, ni el tipo de información enseñada por los planos recientemente analizados, sin embargo, su importancia radica en presentar al delta interior del Maule constituido por dos bancos medios de importantes dimensiones. El banco medio cercano a la ribera sur, ubicado frente a la ciudad de Constitución puede ser reconocido como Isla Orrego, mientras que el banco próximo a la ribera norte puede asociarse al banco de condición indeterminada identificado en el primer y segundo plano de 1876 (Fig. 13 y 14). Lo último asociado a dos aspectos: el primero de ellos es que éste posee semejante ubicación, y el segundo se debe a su dimensión, pues en el plano de 1876 dicho banco presentaba una longitud de aproximadamente 1 km, lo cual puede ser interpretado como un banco de estabilidad largo término. Dichas inferencias se esclarecerán en el esquema de superposición de planos referente a los años 1876, 1891 y 1905 (Fig. 17).

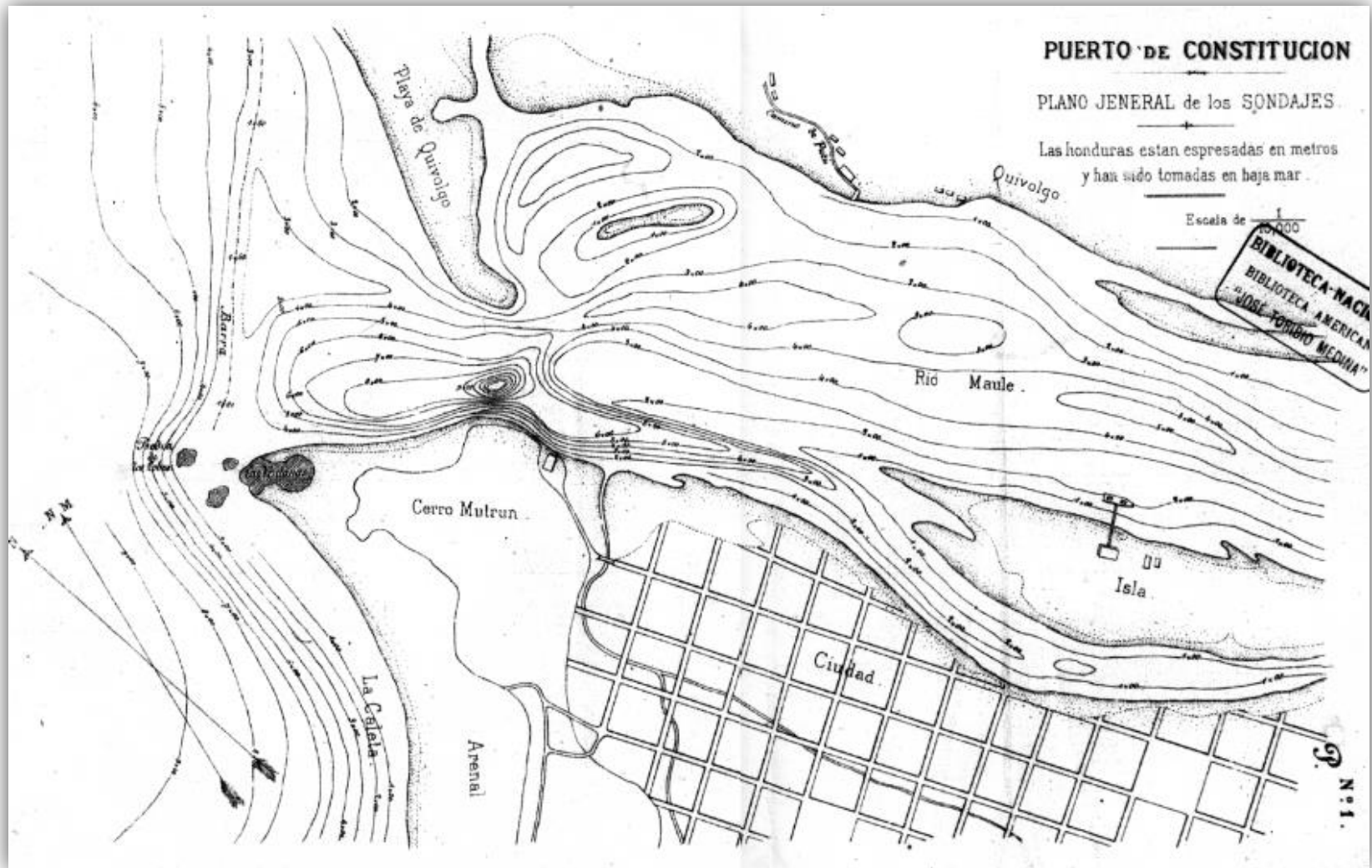


Fig. 14: Plano histórico del sondaje realizado en la desembocadura del río Maule. Fuente: LÉVEQUE (1876).

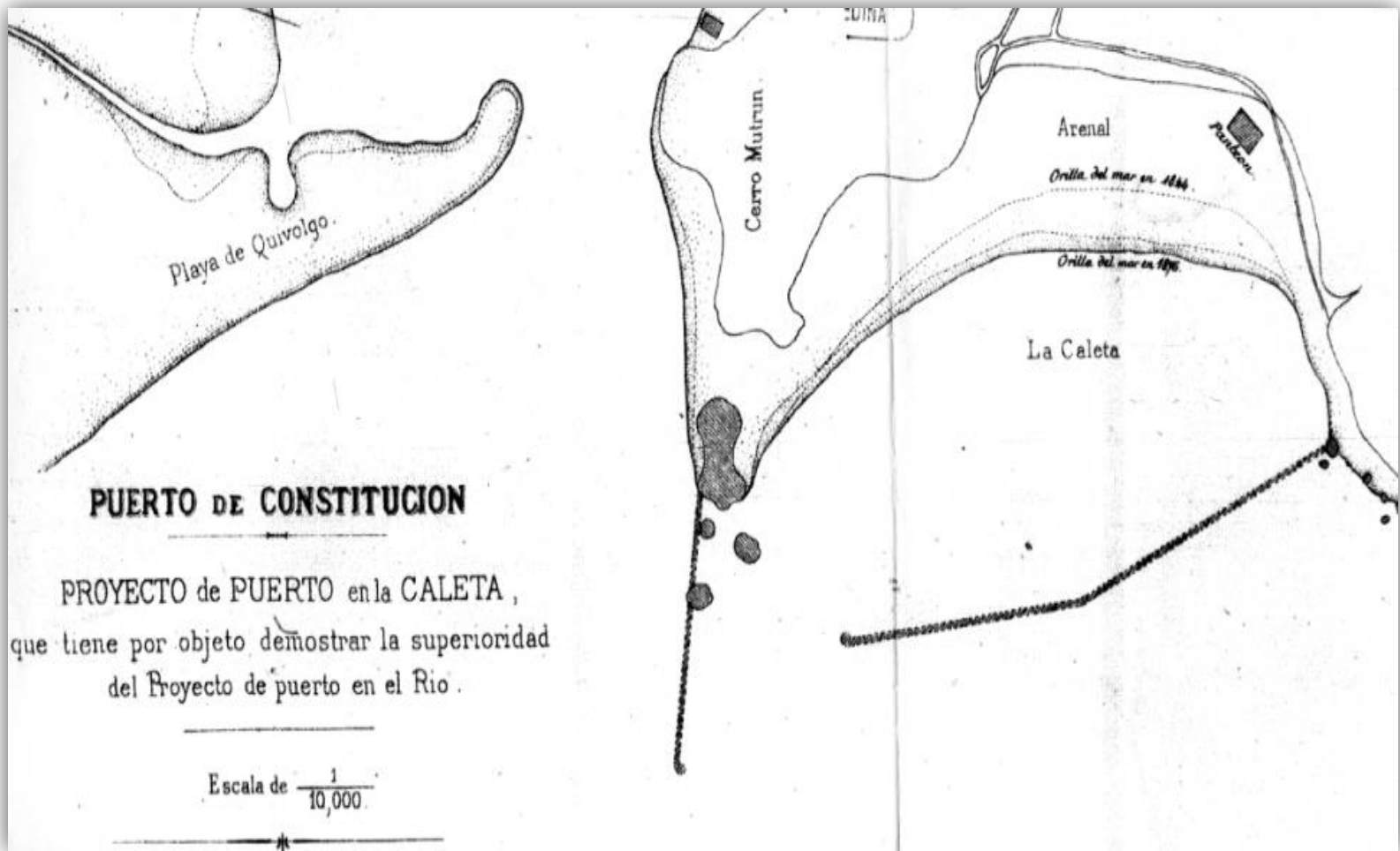


Fig. 15: Plano histórico del proyecto del puerto marítimo de Constitución en el sector de La Caleta. Fuente: LÉVEQUE (1876).

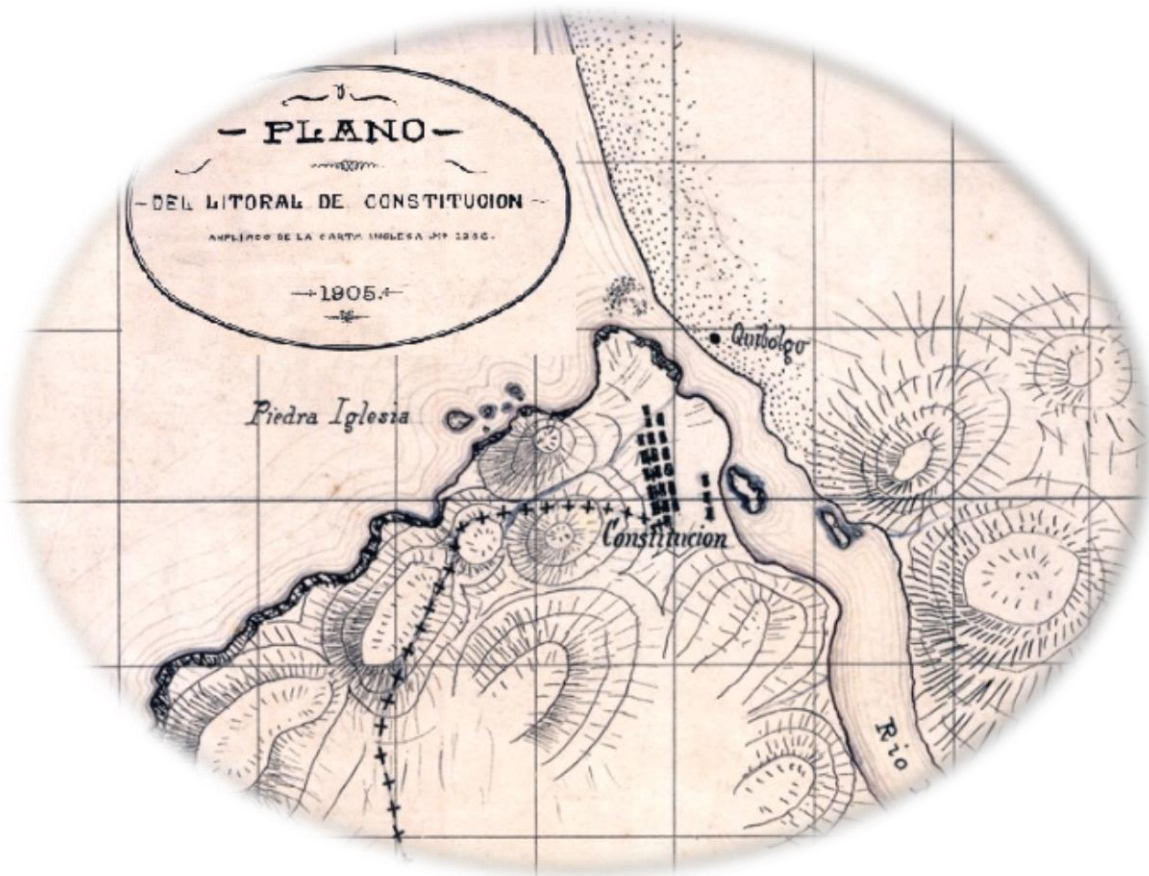


Fig. 16: Recorte de plano histórico del litoral de Constitución. Fuente: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada – SHOA (1905).

### Superposición de planos históricos (1876, 1891 y 1905)

Este esquema corresponde a una superposición de planos correspondientes a la zona media-distal del estuario del Maule, que pone de manifiesto los cambios ocurridos en el delta interior y el sector de la flecha de Quivolgo, entre fines del siglo XIX y comienzos del XX (Fig. 17). Este esquema resulta de real importancia para comprender la evolución morfológica principalmente del banco del Edén, el cual se asocia al banco de condición indeterminada registrado en el plano de 1876 (Fig. 13).

Si bien, la representación es algo confusa, a grandes rasgos, es posible reconocer un indudable proceso de acreción de la playa de Quivolgo hacia el mar y por tanto, también la reubicación de la flecha litoral algo más distal. Además, tanto Isla Orrego como el banco medio del Edén, han aumentado su tamaño, aunque con tendencias de crecimiento contradictorias, pues mientras el extremo distal de La Isla se ha dirigido preferencialmente hacia la desembocadura, el extremo distal del banco medio del Edén ha retrocedido para aumentar su superficie hacia aguas arriba con respecto a su posición en 1876.

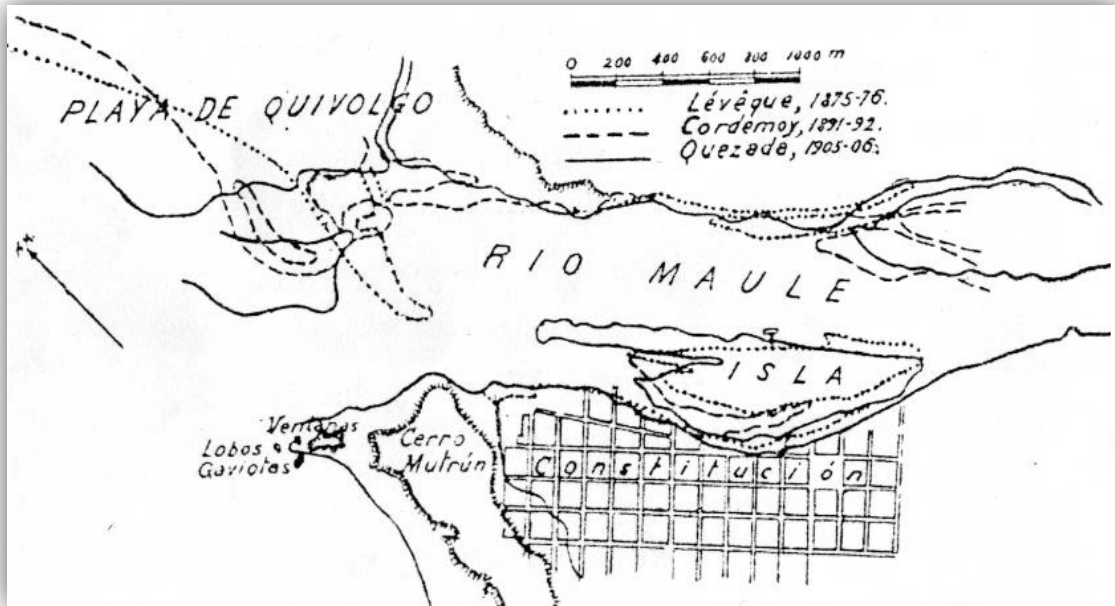


Fig. 17: Superposición de planos históricos que representan los cambios ocurridos en la desembocadura del río Maule. Fuente: POMAR (1962).

#### Cartografía Puerto de Constitución (1926)

Esta cartografía muestra el estado morfológico del estuario del Maule en 1926. En ella, se puede distinguir con mayor detalle, la autonomía del banco medio del Edén con respecto a la ribera norte, como también se puede apreciar una disminución en su tamaño con respecto al año 1905 (Fig. 17). Por otro lado, Isla Orrego también parece haber sufrido una disminución de su superficie con respecto a la figura anterior. Esta reducción de superficie, aparentemente experimentada por ambos bancos, parece un tanto extraña dentro de esta secuencia morfo-evolutiva, pues las formas presentadas por estos bancos en al año 1944-5, coincide en gran medida con el esquema de superposición de planos históricos de la figura 17. No obstante, cabe destacar que esta cartografía ha representado su superficie vegetada, lo cual puede ser interpretado como signo de estabilidad de este banco.

Dentro del estuario del Maule, las líneas de relieve subacuático parecen mostrar un escalón o nivel de terraza a -2 m de profundidad, principalmente apreciable a lo largo de la ribera norte, y alrededor de Isla Orrego en la ribera sur. Esto denota a su vez, el trayecto del canal distributivo principal del *delta estuarial*, lo cual se condice con el esquema de la figura 14.

Finalmente, cabe señalar que la flecha de Quivolgo, ha adoptado una forma semejante al esquema de la figura 13, aunque sin entrante.

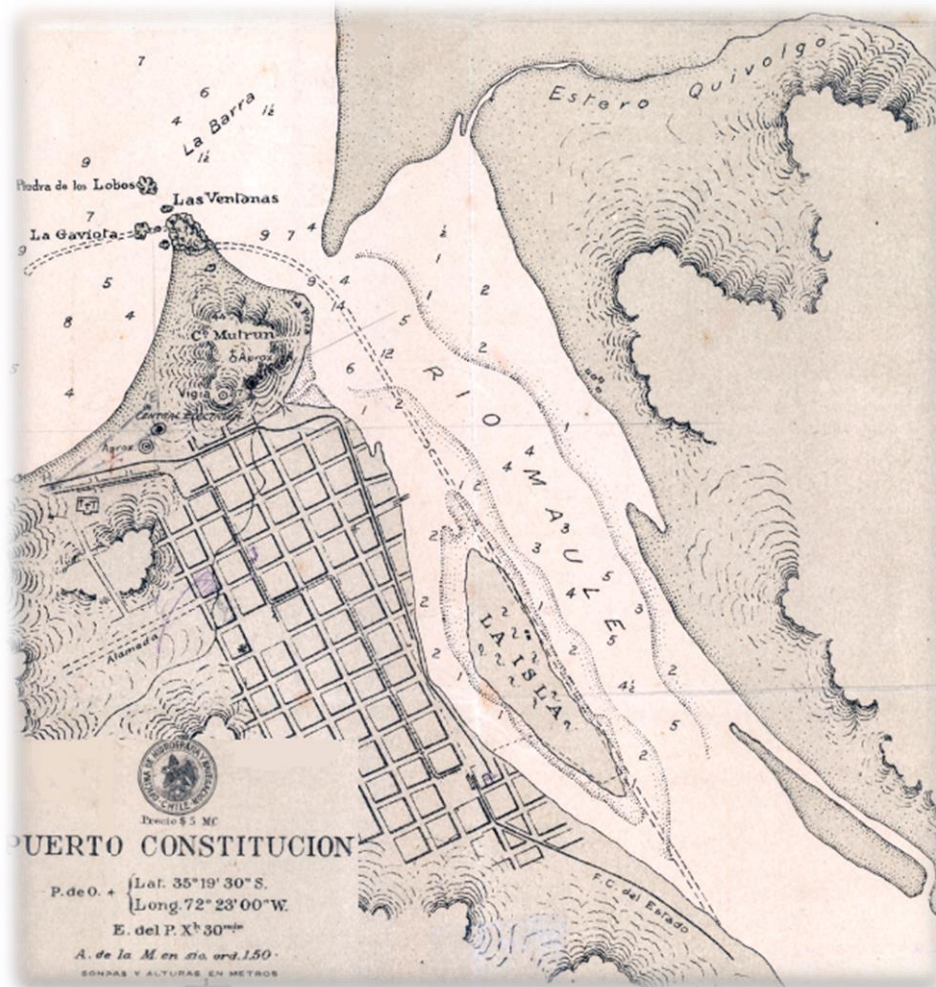


Fig. 18: Cartografía del puerto de Constitución. Fuente: Oficina de Hidrografía y Navegación de Chile (1926).

### Plano Puerto de Constitución (1932)

Este plano presenta el severo embancamiento que ha experimentado el puerto marítimo de Constitución, luego de la construcción de molos (Fig. 19). El esquema de la figura 20, muestra secuencialmente el proceso de progradación experimentado, según registros de los años 1912, 1928, 1931, 1932 y 1934.

Sin embargo, también es importante destacar aspectos morfológicos del estuario. La flecha de Quivolgo, presenta un tamaño más reducido que el exhibido en el esquema de la figura anterior, sin embargo, mantiene similar disposición. La desembocadura del estero Quivolgo, muestra una robusta flecha prendida a su ribera poniente, que desvía la boca del estero hacia el Este (situación que volverá a ser vista en los próximos esquemas morfológicos). Finalmente, un nuevo banco medio conformado por ripio, e identificado en condiciones de baja marea, toma lugar frente a la desembocadura del estero El Carbón. Este hecho se relacionará posteriormente con el proceso de crecimiento distal de Isla Orrego.

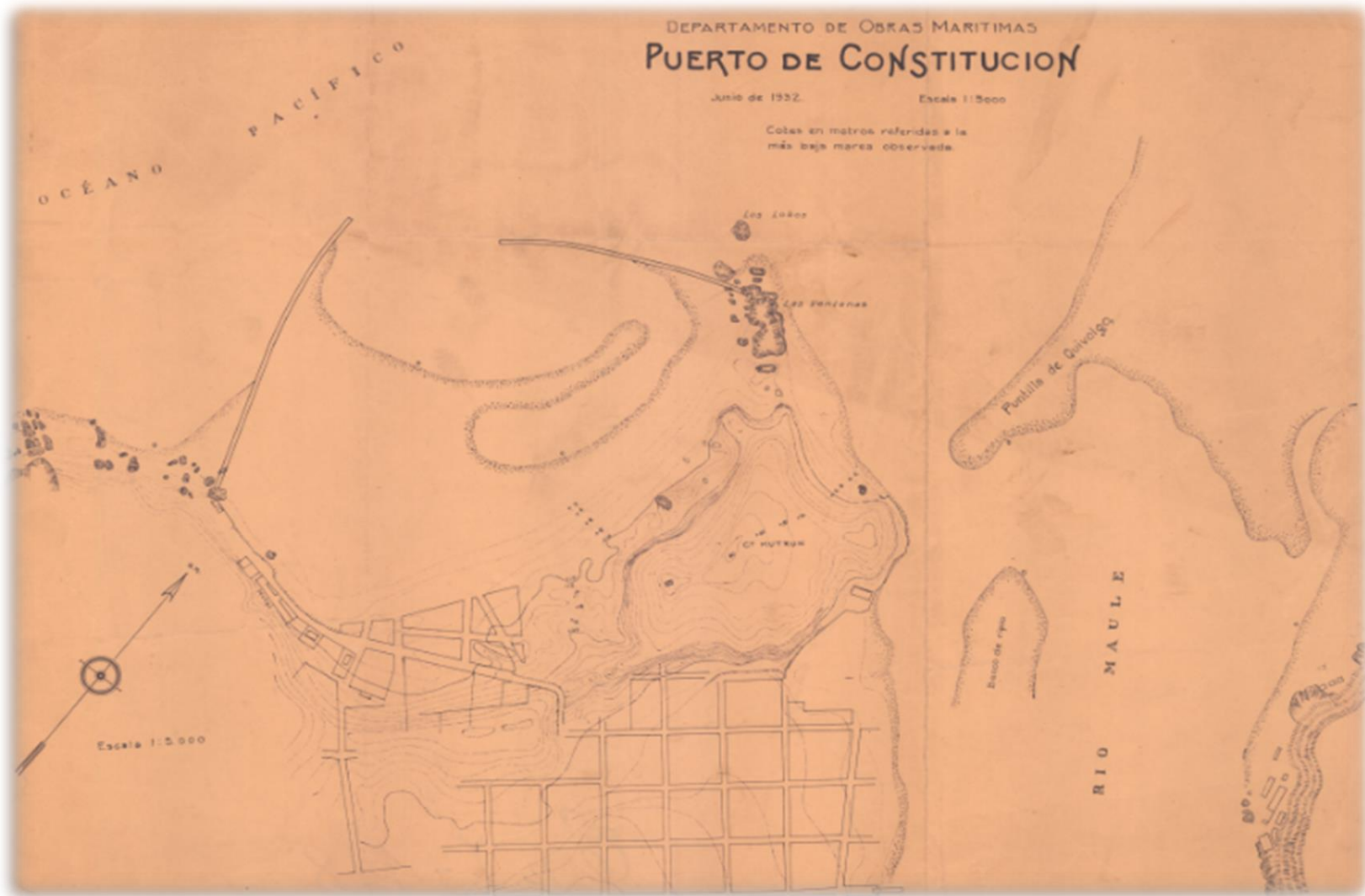


Fig. 19: Plano del embancamiento del puerto marítimo de Constitución. Fuente: Departamento de Obras Marítimas (1932).



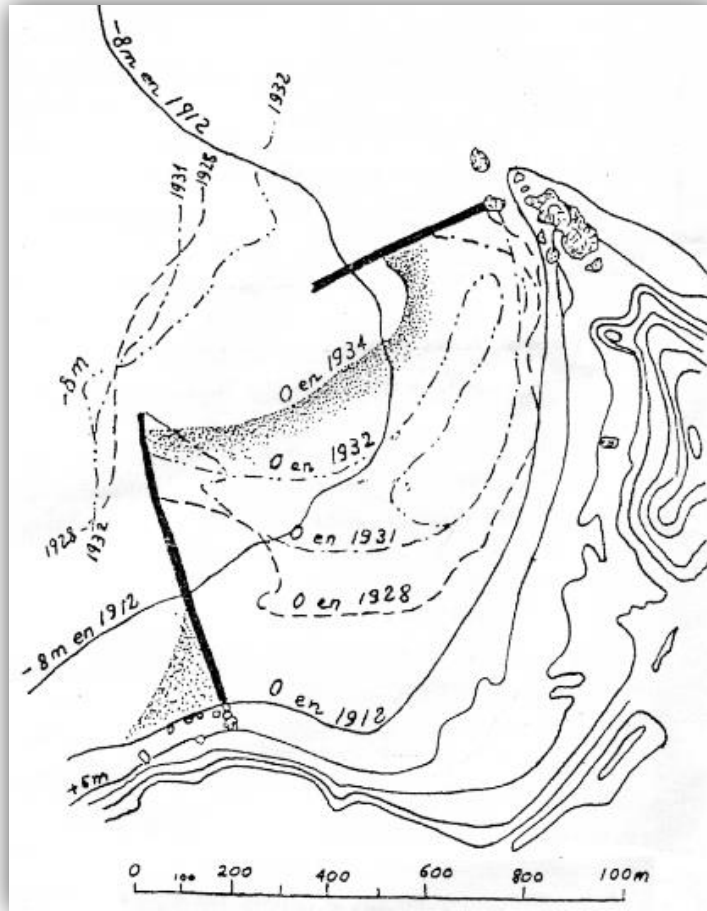


Fig. 20: Plano que grafica la progradación secuencial experimentada en el sector La Caleta, puerto marítimo de Constitución. Fuente: POMAR (1962).

### **3.3.\_Análisis comparativo de los estados morfológicos del Maule (1944-5 al 2011)**

El presente apartado, esquematiza y caracteriza catorce estados morfológicos (derivados de fotografías aéreas e imágenes satelitales) de las zonas media y distal del estuario del río Maule, entre los años 1945 y 2011, con el propósito de revelar los principales cambios morfológicos experimentados en él. Esta caracterización, considerará fundamentalmente a los individuos morfológicos más dinámicos presentes en las zonas media y distal del estuario, éstos son: individuos morfológicos del delta interior del Maule, flechas litorales y barra submarina. Además, este análisis incorpora el tipo de zona de rompiente del litoral cercano frente a la playa de Quivolgo, para cada estado morfológico presentado.

Cabe señalar, que cada esquema morfológico contará con segmentos guías que facilitarán el análisis comparativo secuencial. Los segmentos A y B dan cuenta de la longitud que llegó a alcanzar Isla Orrego en el año 1955 (máxima longitud alcanzada), y los segmentos C y D, representan la extensión que Isla del Perro tuvo en sus inicios, hecho asociado en este estudio al año 1974, por lo que cualquier cambio que estos individuos morfológicos experimenten, será evidenciado con claridad.

#### **3.3.1.\_Estado morfológico años: 1944, 1955 y 1965**

##### **Zona Media:**

##### **Isla Orrego**

El esquema morfológico del año 1944-5, muestra a Isla Orrego resguardada en el sector cóncavo de la ribera sur del río Maule, frente a la Ciudad de Constitución. Esta ubicación, parece ser la misma posición y forma que ella presentó en los registros cartográficos histórico del periodo 1876-1926. En el estado morfológico del año 1944-5, Isla Orrego se muestra con forma romboidal, extremos lanceolados, y presencia de entrantes o incisiones en ambos extremos (Fig. 21). Su borde externo (entendido desde ahora, como el borde del banco deltaico que colinda con el canal secundario del río Maule), se muestra convexo y continuo, sólo interrumpido por las dos entrantes ya señaladas, y su borde interno (entendido desde ahora, como el borde del banco deltaico que colinda con el canal principal del río Maule), se exhibe continuo y rectilíneo. A la fecha, Isla Orrego se encontraba provista de vegetación de tipo arbórea y arbustiva en su sector centro-proximal.

Al poniente de Isla Orrego, aún dentro del esquema de 1944-5, es posible reconocer la presencia de tres bancos medios deltaicos de forma irregular. Uno de ellos, posicionado frente a la desembocadura del estero El Carbón, evoca la existencia de un banco deltaico compuesto por ripio, avistado en bajamar en el registro cartográfico histórico del año 1932. Esto habla de la recurrente o estable presencia de dichos bancos en el sector, al menos durante este periodo (1932 a 1944-5).

La configuración morfológica del año 1955, muestra un importante incremento en la superficie de las formas estuariales encontradas, principalmente por Isla Orrego, midiendo

casi 2 km de longitud (mayor longitud registrada dentro de la secuencia morfológica estudiada, ver tabla 7). Esto comprueba la tendencia a la progradación, inferida y anunciada por el análisis de los registros cartográficos históricos. El crecimiento del extremo distal de Isla Orrego, aparentemente se realizó mediante la yuxtaposición de los bancos deltaicos de forma irregular, antes mencionados, lo que significó que ésta doblara su longitud y prácticamente también su tamaño. Las entrantes que Isla Orrego luce en su borde externo, parecen ser cicatrices de este proceso. Su borde interno sigue siendo rectilíneo y se puede percibir además, que su extremo proximal se encuentra asfixiado por una profunda entrante. Por otro lado, se infiere que el crecimiento de su extremo distal, ha alcanzado su punto máximo de avance hacia el mar, es decir, ésta no podría crecer más allá de este límite sin ser afectada por la erosión de las olas que ingresan hasta este punto por refracción (ver segmento A en Fig. 21).

El esquema del año 1965, prácticamente mantiene la fiel representación que Isla Orrego exhibía en el año 1955, pues en él se conserva su forma, disposición e incluso las entrantes ya descritas, con excepción de la entrante más proximal que terminó por ceder, dando origen, por medio de un proceso de desmembramiento, a otro banco medio.

#### **Banco medio del Edén**

El esquema morfológico del año 1944-5, muestra un banco medio de gran dimensión muy próximo a la ribera norte del río, separado de ella sólo por un estrecho canal, el que podría reconocerse como canal de marea, sin embargo, la reducida amplitud mareal en esta zona, reduce dicha posibilidad (Fig. 21). Este banco deltaico, será conocido desde ahora en adelante como banco medio del Edén, pues se encuentra muy cercano al sector de dicho nombre. El banco medio del Edén, muestra sus bordes internos y externos irregulares, debido a las entrantes que posee, y exhibe una incipiente vegetación arbustiva y/o herbácea hacia su borde interno.

En 1955, este banco ha cambiado su forma robusta a una más alargada, aumentando levemente su superficie, y luciendo dos grandes y profundas incisiones cercanas a sus extremos proximal y medio-distal respectivamente, dispuestas en sentido contrario una con la otra. Estas incisiones son indicio de una fase de fragmentación del banco, como se verá en los próximos esquemas. Por otro lado, el canal que aún independiza a este banco de la ribera norte, se ha tornado mucho más estrecho aguas arriba.

El esquema morfológico de 1965, no presenta cambios aparentes, ya que este banco ha mantenido a grandes rasgos su forma, superficie y disposición, con respecto al año 1955.

#### **Zona Distal:**

##### **Flecha litoral**

La configuración morfológica de 1944-5, muestra en su zona distal, una flecha litoral que nace desde la playa de Quivolgo y tiende a proyectarse hacia el Co. Mutrún (Fig. 21), con

un sentido de crecimiento opuesto a la trayectoria de la deriva continental en las costas chilenas. Su cuerpo es más bien estrecho y corto. Su punta se encuentra recurvada hacia el interior del estuario, hecho asociado por muchos autores a la refracción del oleaje, lo cual habla de la fuerza y alcance que aún tienen las olas en el sector de la desembocadura.

El estado morfológico de 1955, muestra a la flecha de Quivolgo mucho más robusta que el esquema anterior, y con una particular forma pseudo-triangular, que evoca a un abanico de lavado. En relación a ello, cabe señalar que, la orilla de la flecha que da cara al río, cuenta con una entrante muy pronunciada en dirección hacia el mar. Esta forma también ha sido vista en el registro cartográfico histórico de 1876, y aunque su causa se desconoce, es posible asociar esta forma como relicto de flecha de Quivolgo, que no alcanzó a ser afectada por el abanico de lavado.

El esquema de 1965, también presenta dentro de su configuración morfológica la flecha de Quivolgo, sin embargo, su aspecto es aún más imponente que en los esquemas anteriores, pues además de haber estado afecto a un abanico de lavado, esta parece presentar una reactivación de su crecimiento, hecho avalado en la punta que sobresale al abanico de lavado. El desarrollo alcanzado por la flecha de Quivolgo en este año, denota un clima benévolo de condiciones ambientales más bien estables.

Cabe recordar, que las flechas litorales son entes morfológicos desarrollados durante condiciones climáticas favorables, y que por tanto, la presencia de éstas en los esquemas morfológicos recién vistos, se relaciona directamente al hecho de que ellos fueron basados en fotografías aéreas tomadas en temporada estival. También se debe dejar en claro que, si bien los tres esquemas presentados parecen representar el crecimiento secuencial de la flecha de Quivolgo de 1944-5 en adelante, esto no es más que una coincidencia, pues se debe recordar que existe una diferencia de 10 años entre cada estado morfológico analizado, y por tanto, al menos 10 épocas invernales para destruirlas.

### **Barra submarina**

El esquema de 1944-5, presenta una barra submarina de tipo mixta, es decir, que en ella se pueden identificar dos atributos morfológicos que la describen; su discontinuidad y su segmentación lateral. Esta barra submarina, no posee una presencia continua en su extensión total, y sus extremos son secuencias de dos a tres pequeñas barras que se disponen de manera oblicua a la desembocadura (Fig. 21). La secuencia de barras del extremo norte, parecen incorporarse a la zona de rompiente de la playa de Quivolgo (Fig. 22).

La configuración morfológica de 1955, no exhibe rompientes que denoten la presencia de la barra submarina convencional frente a la desembocadura del Maule. Sin embargo, si se identificaron significativas rompientes frente a la playa de Quivolgo, las que al encontrarse anómalamente distantes de la línea litoral, extinguieron la posibilidad de ser reconocidas como parte de la zona de rompientes de la playa, siendo interpretadas más bien como

una barra simple y discontinua, de disposición longitudinal que ha sido desplazada hacia el sector norte de la desembocadura.

Por otro lado, el esquema de 1965 muestra una línea de rompientes que cruza la desembocadura de lado a lado, siendo interpretada como una barra submarina simple y continua.

### **Desembocadura estero Quivolgo**

La configuración morfológica de 1944-5 muestra que la desembocadura del estero Quivolgo posee una libre descarga hacia el río Maule, en sentido norte a sur. En 1955, la ribera oriente de su desembocadura ha tomado forma semejante a la de una flecha, causando el desvío del desagüe de su cauce hacia el poniente, hecho que en el año 1965 se agudiza.

En los tres esquemas, se identificó además, la presencia de una pequeña laguna litoral ubicada al poniente de la desembocadura de Quivolgo, la que puede ser asociada al relicto de un meandro abandonado por dicho estero. Esta situación parece muy plausible, ya que en los próximos esquemas ocurre una situación similar.

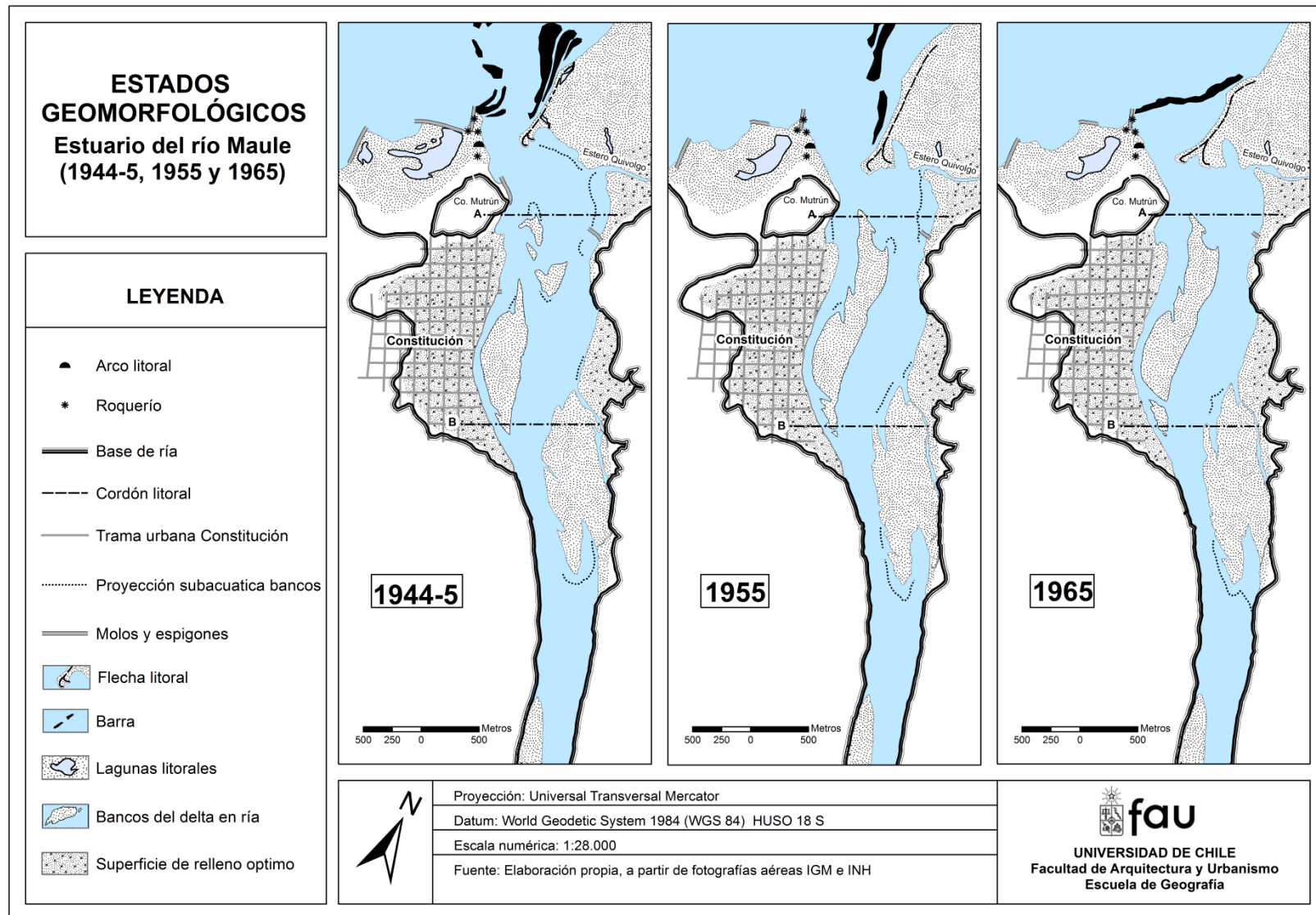


Fig. 21: Estados morfológicos del estuario del río Maule en los años 1944, 1955 y 1965. Fuente: Elaboración propia, mediante fotointerpretación.

## Litoral cercano y playas aledañas al estuario

Luego de la completa colmatación del sector del Arenal en 1934, debido a la instalación de molos para la construcción del puerto marítimo de Constitución, no ha habido cambios morfológicos importantes en el sector sur de la desembocadura hasta 1944-5, año en que se evidencia que la colmatación de este sector, había originado una laguna litoral de gran tamaño, ubicada frente al Co. Mutrún (Fig. 21). En el esquema de 1955, la laguna muestra una superficie más reducida, manteniendo su espejo de agua de similar dimensión en el esquema de 1965. Más tarde, la laguna pasa a formar parte de la celulosa CELCO.

El tipo de zona de rompiente reconocido para la playa de Quivolgo en el año 1944-5, corresponde a playa intermedia de barra y surco longitudinal. Para el año 1955, ésta parece ser principalmente reflectiva, y para el año 1965 ésta corresponde a barra y playa rítmica (Fig. 22).

En los tres esquemas, la línea litoral del sector de Quivolgo más próxima a la desembocadura del Maule, se muestra cóncava hacia el mar. Este hecho, puede estar asociado a la refracción del oleaje en los *headlands* del sector sur de la desembocadura, que redireccionan el ataque de los trenes de olas hacia este sector de manera más directa.

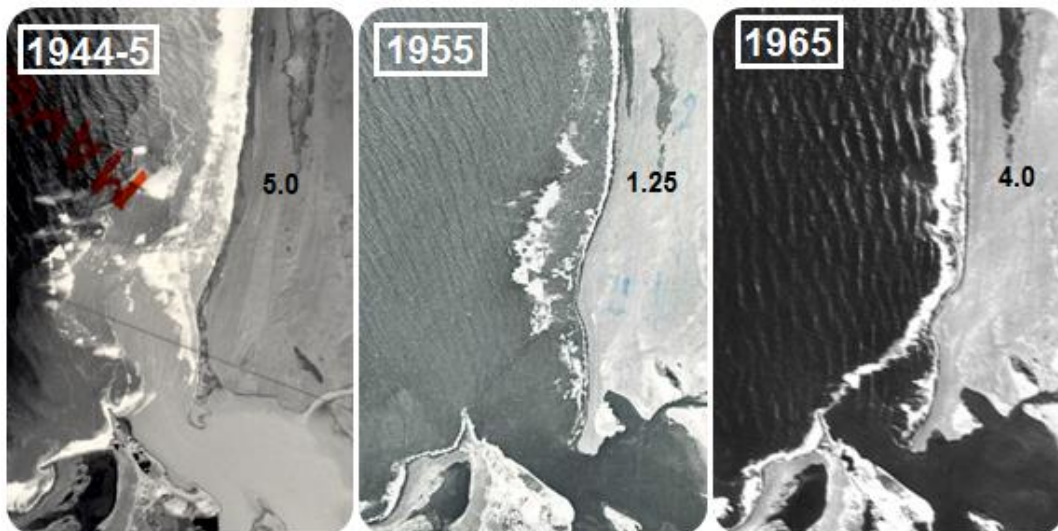


Fig. 22: Clasificación de tipos de zona de rompiente (TZR) frente a la playa de Quivolgo, según estados morfológicos de los años 1944, 1955 y 1965. Fuente: Elaboración propia, en base a la clasificación de TZR propuesta por ARAYA-VERGARA (1996).

### 3.3.2. Estado morfológico de los años: 1974, 1978(a) y 1978(b)

#### Zona Media:

##### Isla Orrego

La configuración morfológica de 1974, muestra una notable reducción en la superficie, longitud y forma de Isla Orrego, con respecto al esquema morfológico antecedente (Fig. 23). Este hecho, denota una importante erosión, que también ha afectado a otros individuos morfológicos constituyentes del *delta estuarial* del Maule. Uno de los procesos erosivos bajo los cuales Isla Orrego ha demostrado estar afectada, al menos desde 1965, corresponde al desmembramiento de su extremo proximal. Precisamente, aguas arriba del extremo proximal de la Isla, se identifican al menos dos bancos medios que parecen haber derivado de ella.

El escenario morfológico del esquema de 1978(a), muestra que Isla Orrego ha mantenido prácticamente la misma apariencia que lucía en el esquema 1974. Sin embargo, su forma parece ser algo más robusta, y su longitud un poco menor a la antes vista. Aguas arriba de su extremo proximal, se registran tres bancos medios, los que probablemente derivaron de ella.

En 1978(b), Isla Orrego parece haber aumentado levemente su superficie con respecto al estado morfológico anterior, y la seguidilla de pequeños bancos medios, cercanos a su extremo proximal, siguen manteniendo su existencia.

En síntesis, los tres esquemas recién revisados, evidenciaron un ligero retroceso del extremo distal de Isla Orrego, y una significativa pérdida superficial de su extremo proximal, en comparación a los esquemas de 1955 y 1965 (ver segmentos A y B, Fig. 21).

##### Banco medio del Edén

Uno de los individuos morfológicos más afectados por la erosión experimentada en el *delta estuarial* del Maule, fue el banco medio del Edén, el cual sufrió un importante desmembramiento de su extremo proximal-lateral, tal como se evidencia en el esquema de 1974 (Fig. 23). Las profundas entrantes vistas en esquemas anteriores, terminaron por ceder, y dieron cabida a un nuevo integrante del delta interior, desde ahora conocido como: Isla del Perro. Tras el desmembramiento, el banco medio del Edén adoptó una nueva forma, cóncava hacia el río en su sector proximal, y convexa hacia el río en su sector distal. En este último sector, han proliferado algunas entrantes, que han sido coronadas por lagunillas.

El esquema de 1978(a) revela que, a grandes rasgos que, la forma presentada por el banco del Edén en el esquema de 1974 se ha conservado, aunque las entrantes antes vistas parecen haber sido rellenadas, y su sector proximal ha abierto más su concavidad. Por otro lado, un hecho relevante en este esquema se relaciona con que, este banco cambió su condición de banco medio a banco lateral, debido a un relleno antrópico realizado en el sector medio del canal que lo independizaba, relleno que terminó por unir



la ribera norte del Maule con el banco del Edén. De todos modos, éste ya evocaba el comportamiento de un banco lateral, debido a su estrecha cercanía con la ribera.

En 1978(b), el banco lateral del Edén nuevamente ha sufrido una pérdida de superficie, que se advierte principalmente en su sector medio-proximal, el que ha reducido su convexidad, y ha aumentado el número de entrantes en él. Un hecho particular que cabe destacar, es que el banco presenta pequeñas lagunillas cercanas a su borde interno distal (borde frente al canal principal del río), tal como se registró en 1974, además de una lagunilla interna alargada, posicionada en el centro del banco.

### **Isla del Perro**

El nuevo integrante del delta interior del Maule, ha derivado del sector proximal del banco del Edén, y su primer registro en este estudio corresponde al año 1974 (Fig. 23). La Isla del Perro, como este banco es conocido, se compone por dos bancos medios de forma irregular que parecen estar unidos entre sí. Se encuentran ubicados aguas arriba del banco del Edén, y su independencia ha constituido un nuevo canal secundario dentro del *delta estuarial* del Maule.

En el año 1978(a), el banco mayor de la Isla del Perro ha reducido su superficie y su banco menor ha desaparecido, al menos como forma subaérea (ver segmentos C y D, Fig. 23). El esquema del año 1978(b) denota un leve aumento en la superficie del banco mayor de Isla del Perro.

### **Zona Distal:**

#### **Flecha litoral**

La configuración morfológica de 1974, presenta una incipiente o embrionaria flecha de Quivolgo, que muestra un escaso desarrollo longitudinal, un cuerpo estrecho y cercenado, con punta recurvada hacia el interior del estuario (Fig. 23). El esquema de 1978(a) muestra otro tipo de flecha de Quivolgo embrionaria o relicto de una flecha abatida, que aunque bastante escueta, es más robusta que la presentada en 1974. A diferencia de todos los esquemas anteriormente analizados, la configuración morfológica de 1978(b) prescinde totalmente de la flecha de Quivolgo.

Se debe mencionar que, el escaso desarrollo de las flechas en estos esquemas, se explica porque las fotografías aéreas empleadas, fueron tomadas en invierno y primavera, estaciones en las que se presentan crecidas del río por lluvias o deshielos. Además, se debe considerar que en invierno las condiciones del mar son desfavorables también, e influyen negativamente en el desarrollo de este individuo morfológico.

#### **Barra submarina**

Las rompientes frente a la desembocadura, dentro del esquema de 1974, exhiben una configuración morfológica de barra de tipo convergente, lateralmente segmentada (Fig. 23). Esta configuración se compone de un set de al menos 4 barras consecutivas, dispuestas de manera oblicua frente a la desembocadura, y la convergencia de una barra

aislada (proyectada desde la incipiente flecha de Quivolgo), con el complejo de barras recién mencionado.

El esquema de 1978(a), revela la presencia de una barra de tipo recurvada compleja y discontinua. Las rompientes recurvadas observadas, corresponden a un set de barras que tienen como punto de convergencia el *headland* sur de la desembocadura, y divergen hacia el mar (Fig. 24). Además, existen barras aisladas ubicadas frente a la desembocadura y cercanas a la playa de Quivolgo.

La configuración de 1978(b), también presenta una barra de tipo recurvada compleja y discontinua, aunque acompañada por un set de barras lateralmente segmentadas ubicadas frente a la desembocadura.

Se debe señalar que, la morfología presentada por la barras submarinas de los esquemas de 1978(a) y 1978(b), parecen estar asociadas a eventos de crecida del río Maule.

#### **Desembocadura estero Quivolgo**

La desembocadura del estero Quivolgo, como se muestra en el esquema de 1974 (Fig. 23), posee una descarga un tanto postergada, debido al desarrollo de una extensa flecha que ha generado el desvío de su caudal varios metros hacia el oriente. La proyección de crecimiento de esta flecha, es opuesta al sentido de la corriente fluvial del Maule, por lo que se infiere que su generación ha ido en respuesta al oleaje, que ha podido ingresar al estuario debido al escaso desarrollo de la flecha de Quivolgo, hecho que se repite para el esquema de 1978(a). El esquema de 1978(b) muestra nuevamente obstruida la desembocadura del estero Quivolgo, pero ahora por el desarrollo de dos flechas de menor desarrollo, dispuestas en sentido contrario unas con otras. No se infieren causas para este cambio de configuración.

Por otro lado, en los tres esquemas, es posible identificar un meandro abandonado ubicado al poniente de la desembocadura actual. Éste parece ser la antigua desembocadura. Esta inferencia deriva del hecho de que en esquemas anteriores la desembocadura del estuario era acompañada por un lagunilla litoral posicionada al oeste de ella, y ahora la lagunilla está situada junto al meandro abandonado.

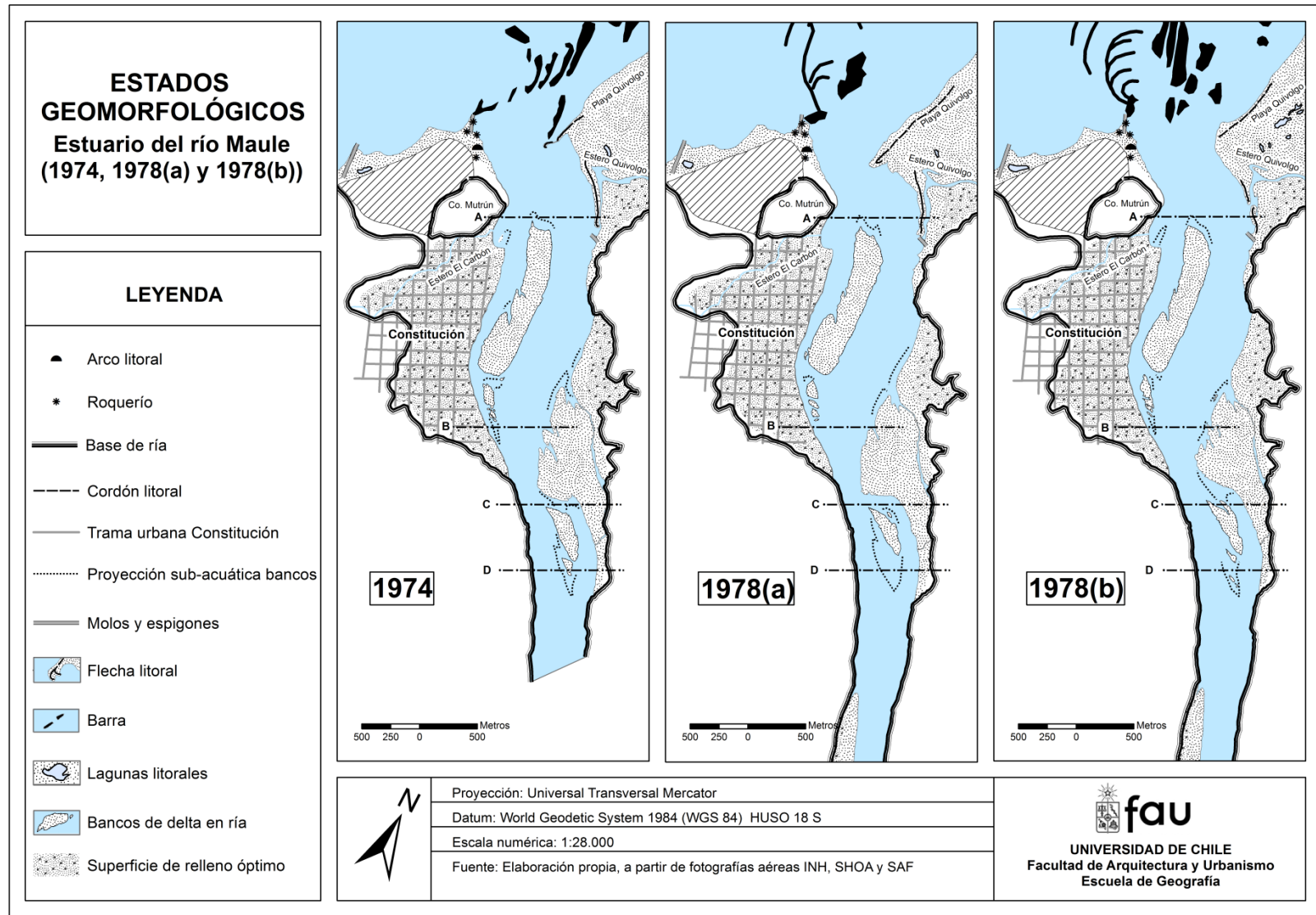


Fig. 23: Estados morfológicos del estuario del río Maule en los años 1974, 1978(a), 1978(b). Fuente: Elaboración propia, mediante fotointerpretación.

## Litoral cercano y playas aledañas al estuario

Tras la incorporación de la laguna litoral del Arenal a la celulosa CELCO, no ha habido notorios cambios en el sector sur de la desembocadura del río Maule, excepto por la existencia de una pequeña laguna cercana al molo sur (registrada en el esquema de 1944-1945), volvió a surgir, presentándose en los tres esquemas recientemente revisados (Fig. 23).

En el sector norte de la desembocadura (esquema de 1978(b)), se identificaron varias lagunillas litorales que parecen ser esporádicas, pues en ningún esquema se habían visto.

El tipo de zona de rompiente reconocido para la playa de Quivolgo en el año 1974, corresponde a una playa principalmente de barra y surco longitudinal. Para los siguientes esquemas esta fue reconocida como barra y playa rítmica (Fig. 24).

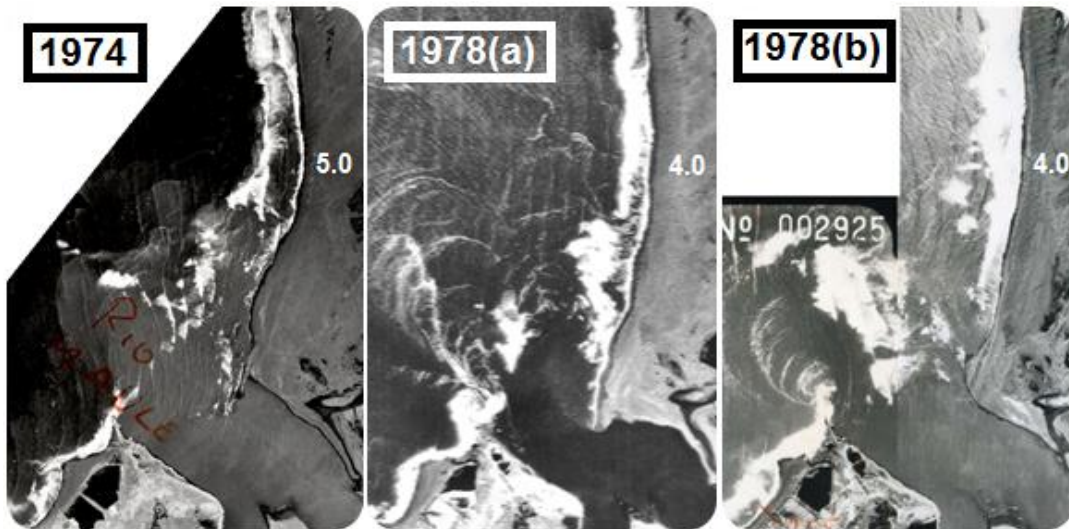


Fig. 24: Clasificación de tipos de zona de rompiente (TZR) frente a la playa de Quivolgo, según estados morfológicos de los años 1974, 1978(a) y 1978(b). Fuente: Elaboración propia, en base a la clasificación de TZR propuesta por ARAYA-VERGARA (1996).

### 3.3.3.\_Estado morfológico de los años: 1992, 1994 y 1997

Los esquemas de 1992, 1994 y 1997 (Fig. 25) denotan una severa erosión, respecto al último set de esquemas morfológicos analizados. Sin embargo, se ha inferido que esta erosión debe haber sido paulatina en el tiempo, y que la gran disminución de superficies de los principales bancos deltaicos, se debe fundamentalmente a que existe una ventana de tiempo de más de una década sin registro fotográfico (años 80').

## **Zona Media:**

### **Isla Orrego**

El esquema de 1992 revela que, la longitud y superficie de Isla Orrego se ha visto claramente reducida en relación al esquema de 1978(b). La mayor pérdida de superficie parece haber sido focalizada en su extremo proximal, tal y como se ha dado en esquemas anteriores (Fig. 25). Inmediatamente aguas arriba de Isla Orrego, se identifica un pequeño banco medio que parece ser relicto de desprendimientos anteriores sufridos por ésta.

La configuración morfológica de 1994, exhibe a este banco de similar forma y disposición que en el esquema anterior, aunque algo más robusto, lo cual no sólo se evidencia en su ancho, sino también en el leve crecimiento de su extremo distal. Un pequeño desmembramiento es advertido en su extremo proximal, hecho que ya ha venido sucediendo desde al menos 1965. El banco medio ubicado inmediatamente aguas arriba de Isla Orrego, parece haber sido reconstituido, aumentando considerablemente su presencia y su superficie con respecto al esquema anterior.

En el esquema de 1997, Isla Orrego parece haber disminuido levemente su superficie con respecto al esquema de 1994, y su extremo distal ha retrocedido ligeramente. El banco medio posicionado inmediatamente al oriente de Isla Orrego, ha reducido notablemente su superficie respecto al esquema de 1994.

Además cabe destacar, la instalación de un espigón en el extremo proximal de la isla, que sigue una trayectoria semi-curvada hacia el oriente, cuyo objetivo es resguardar la ciudad de Constitución ante fuertes crecidas, encausando el caudal del Maule hacia el brazo principal. El espigón puede ser interpretado como la solución artificial a la función que antiguamente cumplía Isla Orrego con su imponente presencia y longitud en los años 1944-5, 1955 y 1965 (Fig. 21), así como también, la detención a la erosión por desmembramiento a la que esta isla ha estado afecta en su extremo proximal desde 1965.

### **Banco del Edén**

La configuración morfológica del esquema de 1992, muestra el segundo cambio más importante experimentado por el banco del Edén en este estudio, luego del desprendimiento de su extremo proximal en 1973. Este cambio, al igual que el anterior, corresponde a una severa reducción de su superficie (Fig. 25), aunque en esta ocasión de su extremo medio-distal, hecho probablemente causado durante la década de los 80' (ventana de tiempo de la cual no se consiguieron registros fotográficos).

La forma adoptada por el banco del Edén, tras sufrir dicha pérdida de superficie, se mantendrá prácticamente igual en los siguientes esquemas.

Como ya se adelantó, en el esquema de 1994 este banco mantuvo su forma con respecto al esquema anterior, no obstante, se aprecia un leve aumento de su superficie en su extremo distal. En 1997, el banco del Edén conserva su forma.

Un aspecto importante visto en los tres esquemas, corresponde a la instalación de estructuras de tipo muelle construidas para facilitar el cruce entre Quivolgo y Constitución.

### **Isla del Perro**

En 1992, la Isla del Perro se encuentra conformada por tres bancos, notablemente estrechos y alargados con respecto a los esquemas anteriores (Fig. 25). En 1994, la Isla del Perro corresponde sólo a un banco deltaico de gran longitud y superficie. Desde el punto de vista hidráulico, y debido a su gran extensión, esta isla actúa como un molo natural que separa el cauce del Maule en dos canales. El esquema de 1997, muestra que el banco medio Isla del Perro, se ha disociado en dos bancos medios, mostrando una morfología muy semejante a la enseñada en el esquema anterior, aunque con una superficie más reducida.

### **Otros bancos**

Por otro lado, existe un banco deltaico que no había figurado en los esquemas anteriores. Se trata de un pequeño banco medio, ubicado al poniente del banco del Edén, en el esquema de 1994 (Fig. 25).

## **Zona Distal:**

### **Flecha litoral**

El esquema de 1992, exhibe un individuo morfológico distal nunca antes presenciado en los esquemas revisados. Éste corresponde a una flecha litoral de crecimiento de Sur a Norte (a favor de la deriva continental), cuya posición es muy resguardada respecto al *headland* de la ribera sur, hecho por el cual se referirá a ella como flecha interior sur (Fig. 25). Ésta se origina al pie del Co Mutrún, su disposición es más bien oblicua, y su proyección de crecimiento parece apuntar hacia Isla Orrego. Además este esquema, también muestra en su configuración morfológica la flecha de Quivolgo, la cual luce alargada y estrecha, con su punta recurvada hacia el interior del estuario, lo que indica el alcance de los trenes de ola.

La situación morfológica de 1994, muestra a la flecha interior sur con un nivel de crecimiento superior al visto en el esquema anterior, mostrándose muy robusta en el sector desde el cual se encuentra prendida a la ribera. Se infiere que las condiciones que generaron a la flecha litoral en 1992, se han repetido para 1994 (Tabla 4). Sin embargo, la flecha de Quivolgo se encuentra ausente.

El esquema de 1997 exhibe, en la boca del Maule, una configuración morfológica acorazada, que presenta en un mismo esquema: la flecha litoral de Quivolgo, la flecha interior sur y una nueva flecha litoral, ubicada en el *headland* de la ribera sur, la cual se denominará desde ahora como flecha exterior sur. La presencia y desarrollo de las dos primeras flechas, ha sido suficiente para reducir considerablemente el ancho de la boca del Maule.

La flecha interior sur ha alcanzado un nivel de desarrollo mucho mayor en comparación a los últimos dos esquemas. A grandes rasgos, mantiene la forma del esquema anterior, aunque su punta se ha desviado del rumbo antes trazado, ahora proyectada hacia la playa de Quivolgo. El re-direccionamiento de ésta, podría asociarse a una condición de estabilidad.

La flecha exterior sur, ineludiblemente debe su origen a la corriente de deriva, en conjunto a condiciones fluvio-marinas asociadas al buen tiempo (Tabla 4).

Por otro lado, también se une a dicha configuración acorazada, la presencia de la flecha de Quivolgo. Ésta parece estar en una etapa de crecimiento, pues no posee un gran desarrollo longitudinal y su cuerpo es más bien delgado.

### **Barra submarina**

En 1992, las rompientes cercanas al *headland* sur de la desembocadura del Maule, denotan la existencia de una barra simple curvada hacia el mar, acompañada por la presencia de barras aisladas (Fig. 25 y 26).

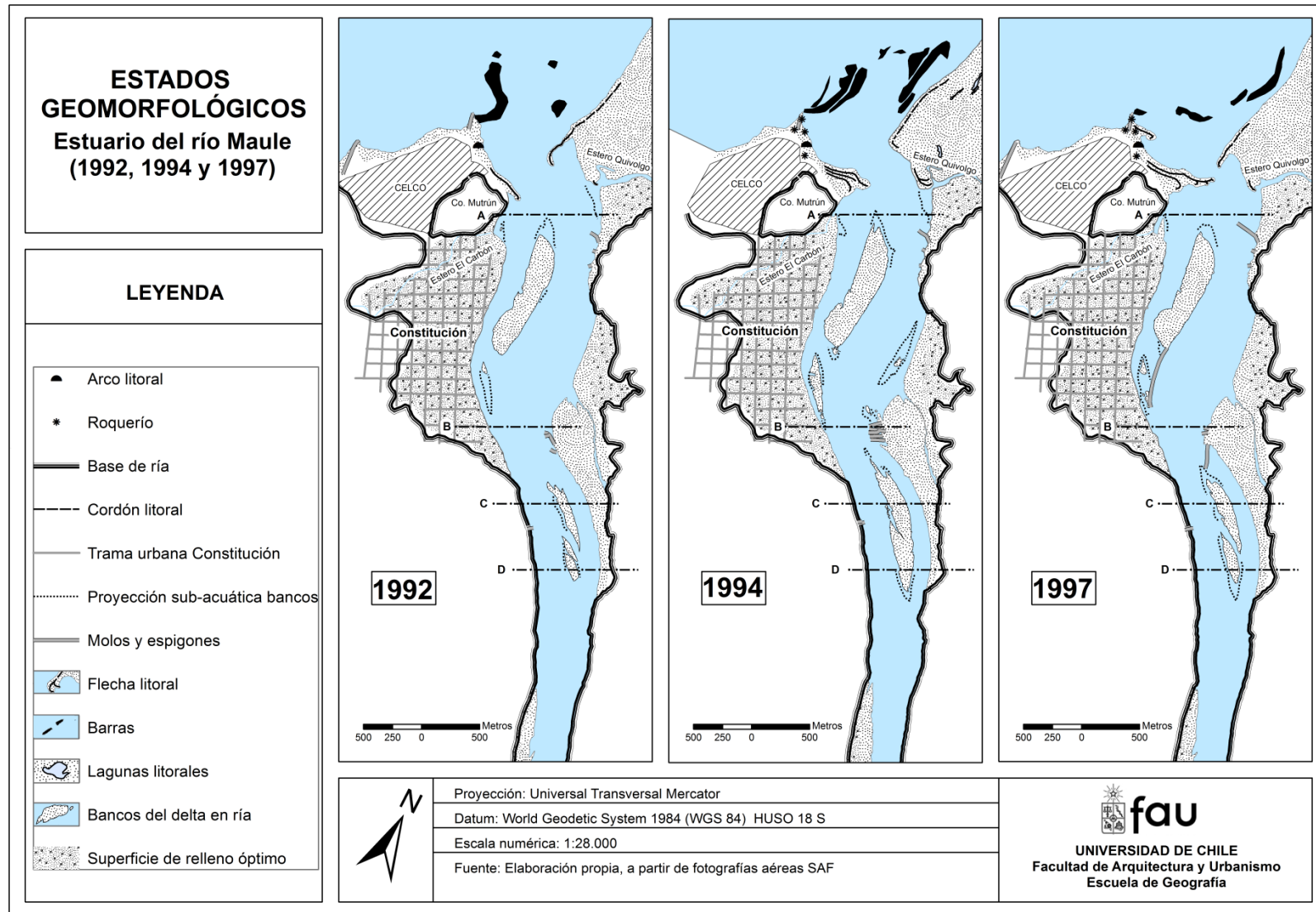
En el esquema de 1994, las rompientes en la desembocadura muestran la clara existencia de una barra discontinua segmentada lateralmente.

En 1997, las rompientes perpendiculares a la desembocadura describen la presencia de una barra simple discontinua.

### **Desembocadura estero Quivolgo**

En el esquema de 1992, el estero Quivolgo ha alineado su desembocadura con su lecho principal, posicionándose ligeramente al poniente de su antigua ubicación en el esquema de 1978(b). En los esquemas de 1994 y 1997, la desembocadura del estero Quivolgo se ha mantenido en el mismo lugar. Además en ellos, se ha presenciado una pequeña flecha adosada a la ribera poniente del estero.

El meandro abandonado correspondiente a una antigua desembocadura, aún permanece identificable en los esquemas de 1992 y 1994.



**Fig. 25: Estados morfológicos del estuario del río Maule, en los años 1992, 1994 y 1997. Fuente: Elaboración propia, mediante fotointerpretación.**



Tabla 4: Caudal del río Maule registrado en la estación fluviométrica de Forel, coincidente con la fecha de captura de las fotografías e imágenes base de los esquemas morfológicos de los años 1992, 1994 y 1997.

FECHA FOTOGRAFÍA AÉREA O IMAGEN SATELITAL	ESTACIÓN DEL AÑO	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)		
		Caudal promedio día	Caudal promedio mes anterior	Caudal promedio año anterior
7 de Abril 1992	Otoño	224	274	390
3 de Octubre 1994	Primavera	479	417	462
11 de Febrero 1997	Verano	67	70	246

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos extraídos del sistema de estadística hidrológica en línea, perteneciente a la Dirección General de Aguas, (DGA 2012(a)).

### Litoral cercano y playas aledañas al estuario

El tipo de zona de rompiente reconocido para la playa de Quivolgo en el año 1992, corresponde a playa reflectiva. Para el año 1994, se identificaron rompientes del tipo barra y playa rítmica en el mismo sector, al igual que para el año 1997 (Fig. 26).

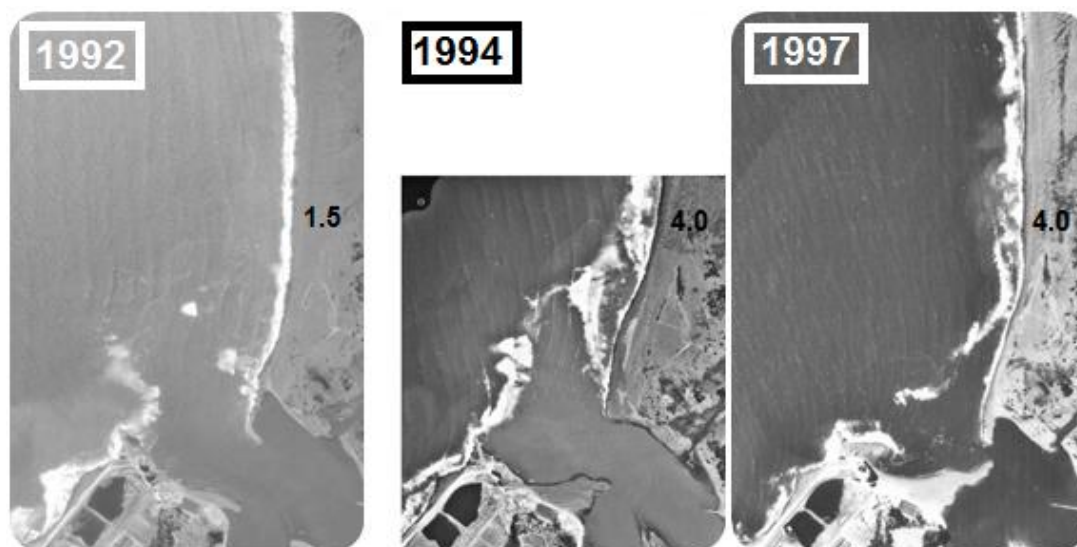


Fig. 26: Clasificación de tipos de zona de rompiente (TZR) frente a la playa de Quivolgo, según estados morfológicos de los años 1992, 1994 y 1997. Fuente: Elaboración propia, en base a la clasificación de TZR propuesta por ARAYA-VERGARA (1996).

### 3.3.4. Estado morfológico año 1999

Si bien la figura 27, no pudo ser simplificada en un esquema morfológico debido a que ésta corresponde a una fotografía de plano oblicuo, se pudo obtener de igual modo algunas características de su configuración morfológica.

Con respecto a su zona media, es posible señalar que el delta en ría parece haber experimentado un proceso de acreción, debido a la presencia de bancos medios vistos sólo de manera esporádica en esquemas anteriores, los que han sido relacionados con dichos períodos. Los bancos medios a los cuales se está aludiendo corresponden a: el banco ubicado al oriente del extremo proximal de Isla Orrego, y al banco (quizás intermareal por el color de sus arenas) que se posiciona inmediatamente al poniente del banco del Edén (Fig. 27).



**Fig. 27: Vista oblicua del estado morfológico del estuario del río Maule en el año 1999. Fuente: Instituto Hidráulico Nacional, IHN (2003).**

A diferencia de los esquemas de 1992, 1994 y 1997, la configuración morfológica de la zona distal del año 1999 se muestra desprovista de flechas litorales adosadas a la ribera sur. Sin embargo, desde la ribera norte la flecha de Quivolgo si se ha hecho presente. También es posible identificar una barra simple discontinua fragmentada lateralmente, y hacia el extremo norte, una zona de rompiente de tipo disipativa.

### **3.3.5.\_Estado morfológico de los años: 2004 y 2007**

#### **Zona Media:**

##### **Isla Orrego**

En el esquema del año 2004, Isla Orrego parece haber conservado su forma y superficie con respecto al esquema de 1997. Sin embargo, su extremo proximal luce algo irregular, y su entrante frente a la ciudad de Constitución, se muestra más pronunciada. No se registra un retroceso del extremo proximal como ha ocurrido en esquemas anteriores, debido a la protección que ejerce el molo proximal de Isla Orrego. Por otro lado, su extremo distal se ha prolongado levemente, exhibiendo dos puntas hacia el mar (Fig. 28).

El banco medio posicionado inmediatamente aguas arriba de Isla Orrego, es alargado y estrecho, y se ubica en el mismo lugar donde la isla ha sufrido desmembramientos, por lo que al igual que en esquemas anteriores parece ser un relicto de ésta.

En el año 2007, Isla Orrego básicamente posee el mismo aspecto que en el esquema del año 2004. Al oriente de ésta, es posible distinguir un halo sedimentario que esboza una silueta alargada y estrecha, el que podría ser asociado al banco visto en dicha ubicación en el esquema anterior, ahora posiblemente sumergido.

##### **Banco del Edén**

Los esquemas del 2004 y 2007, no exhiben cambios significativos del banco del Edén, en comparación con su estado en el año 1992 (Fig. 28). Aunque, cabe señalar que su borde distal ha retrocedido levemente debido al despojo de las estructuras de muelles antes instaladas allí.

##### **Isla del Perro**

La configuración morfológica del año 2004, muestra que los bancos medios que conforman la Isla del Perro esta vez se presentan unidos en un solo banco, tal como en el esquema de 1994 (Fig. 28). Su superficie parece ser menor a la enseñada en el esquema de 1994, pero más robusta que la exhibida en el año 1997.

El esquema del 2007, muestra que el banco medio de la Isla del Perro nuevamente vuelve a dividirse en dos, tal como se observó en el esquema de 1997, sin embargo su superficie se asemeja a la del año 2004. El banco de mayor dimensión, parece haber experimentado un ligero crecimiento en su extremo distal (Fig. 28).

#### **Zona Distal:**

##### **Flecha litoral**

El esquema del año 2004, muestra en su configuración morfológica distal, la flecha externa del *headland* sur de la desembocadura, observada también en el esquema de 1997. No obstante en este caso, su proyección presenta un recurvamiento abierto hacia el mar que sigue la orientación de las rompientes de la barra submarina, lo que puede ser

interpretado como un trecho de barra emergida. La flecha de Quivolgo también constituye este esquema, presentando esta vez una apariencia muy robusta. Cabe señalar que entre la desembocadura del estero Quivolgo y la flecha de Quivolgo, existe también una forma sedimentaria prominente, similar a una flecha (Fig. 28).

El esquema del 2007, no cuenta con la presencia de flechas litorales en su configuración morfológica, condición posiblemente asociada al contexto estacional (Tabla 5).

#### **Barra submarina**

El esquema del año 2004, muestra rompientes que describen una barra del tipo discontinua, segmentada lateralmente. El extremo sur de la barra, deriva de la flecha externa antes mencionada, y su trayectoria es paralela a la línea litoral de Quivolgo (Fig. 28 y 29).

En el 2007, es posible observar la existencia de una barra simple discontinua derivada del extremo norte de la desembocadura, dispuesta de manera oblicua a la playa de Quivolgo.

#### **Desembocadura estero Quivolgo**

En el 2004, la desembocadura del estero Quivolgo, se encuentra posicionada en el mismo lugar que en los esquemas de los años 90', sin embargo, ésta se muestra un tanto sofocada por la presencia de una escueta flecha prendida a su ribera poniente, semejante a la situación observada en los esquemas de 1994 y 1997.

En el esquema de 2007, la desembocadura del estero Quivolgo se muestra más abierta que la exhibida en el esquema anterior, no obstante la presencia de la flecha poniente se ha mantenido, aunque ha reducido su longitud.

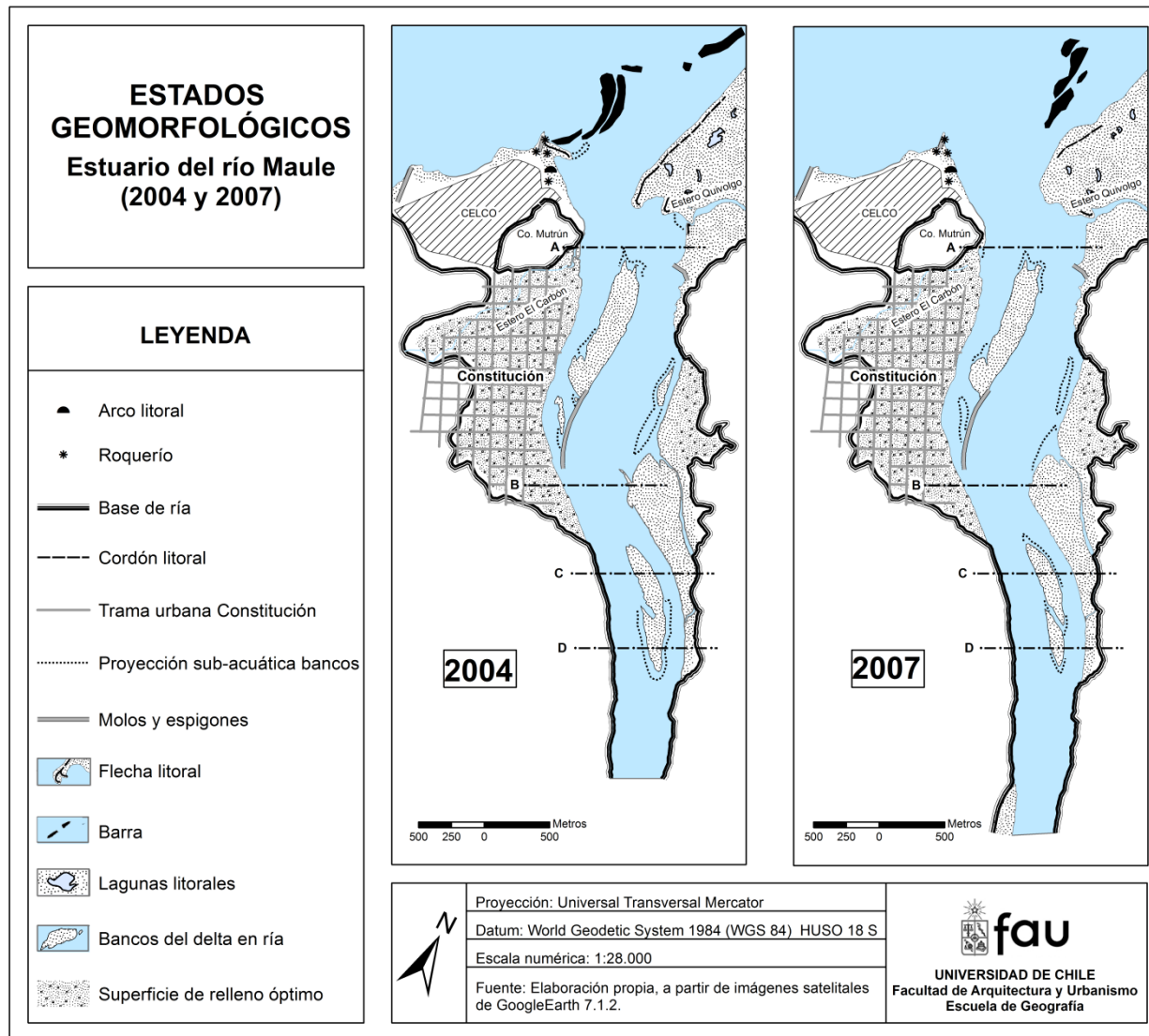


Fig. 28: Estados morfológicos del estuario del río Maule en los años 2004 y 2007. Fuente: Elaboración propia, mediante fotointerpretación.

Tabla 5: Caudal del río Maule registrado en la estación fluviométrica de Forel, coincidente con la fecha de captura de las fotografías e imágenes base de los esquemas morfológicos de los años 2004 y 2007.

FECHA FOTOGRAFÍA AÉREA O IMAGEN SATELITAL	ESTACIÓN DEL AÑO	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)		
		Caudal promedio día	Caudal promedio mes anterior	Caudal promedio año anterior
14 de Marzo 2004	Verano	158	164	339
28 de Abril 2007	Otoño	461	421	785

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos extraídos del sistema de estadística hidrológica en línea, perteneciente a la Dirección General de Agua, (DGA, 2012(a)).

### Litoral cercano y playas aledañas al estuario

El tipo de zona de rompiente reconocido para la playa de Quivolgo en el año 2004, corresponde a playa intermedia de barra y surco longitudinal, y para el año 2007, se identificaron rompientes del tipo barra y playa rítmica (Fig. 29).



Fig. 29: Clasificación de tipos de zona de rompiente (TZR) frente a la playa de Quivolgo, según estados morfológicos de los años 2004 y 2007. Fuente: elaboración propia, en base a la clasificación de TZR propuesta por ARAYA-VERGARA (1996).

### 3.3.6.\_Estado morfológico de los años: 2009, 2010 y 2011

La importancia de los siguientes esquemas radica en presentar las configuraciones morfológicas antes y después del tsunami ocurrido el 27 de Febrero del 2010. El esquema correspondiente al año 2010, muestra el alcance que tuvo el tsunami dentro del estuario, zonas ribereñas y litorales, basado en la fotointerpretación de daños (casas y vegetación abatida).

## **Zona Media:**

### **Isla Orrego**

La configuración morfológica del 2009, presenta a Isla Orrego con un aspecto muy similar al esquema anterior, aunque su extremo distal ha sufrido un retroceso. El banco, o bancos medios, ubicados en esquemas anteriores al oriente del extremo proximal de Isla Orrego no figuran dentro del presente esquema morfológico, ni si quiera como halo sedimentario, hecho que también se aplica al año 2010 (Fig. 30).

El esquema del año 2010, representa la configuración morfológica del estuario del río Maule a tres días de ocurrido el tsunami. En él, Isla Orrego parece conservar, a grandes rasgos, su dimensión y forma con respecto al esquema del año 2009, soportando el embate de las olas tsunámicas sin sufrir grandes cambios. Dentro de las consecuencias advertidas se halla una leve erosión en sus bordes (acentuada en sus extremos proximal y distal que llevó a disminuir su longitud, ver tabla 7), un aumento en el pronunciamiento de la entrante posicionada en el borde frente a la ciudad de Constitución, y la inundación parcial de su extremo distal por lagunillas. Cabe señalar que, no se descarta que Isla Orrego haya sufrido también erosión con respecto a su altura topográfica.

Por otro lado, el espigón de Isla Orrego resistió de buena manera el tsunami, aunque en el sector cercano a la isla parte de él resultó abatido.

En el esquema del 2011, Isla Orrego ha ganado superficie con respecto a su aspecto en el esquema anterior, mostrándose más robusta, conservando siempre su forma. El banco medio recurrentemente ubicado aguas arriba de Isla Orrego, se hace presente aunque con una dimensión mucho más pequeña a la exhibida en esquemas anteriores.

### **Banco del Edén**

Los esquemas de los años 2009, 2010 y 2011, presentan al banco del Edén en similares condiciones que en el año 2007. No obstante, en el esquema del año 2010 éste se presenta un tanto más retraído en su extremo distal, y cuenta con una lagunilla interior probablemente dejada por paso del tsunami (Fig. 30).

### **Isla del Perro**

Las configuraciones morfológicas de los años 2009, 2010 y 2011, exhiben a los bancos que conforman la Isla del Perro prácticamente iguales unos con otros con respecto a su forma y superficie. Los esquemas de los años 2009 y 2010, son semejantes entre sí pues en ambos casos se advierten dos bancos constituyentes, sin embargo, el canal que los separa parece ser más ancho en el caso del año 2010. El esquema del año 2011, estos bancos constituyentes se unen dando lugar a un solo banco deltaico (Fig. 30).

## **Zona Distal:**

### **Flecha litoral**

El esquema morfológico del año 2009, exhibe una robusta flecha de Quivolgo, de escaso desarrollo longitudinal. En el año 2010 esta forma no existe, y en su lugar el mar ha ganado terreno. El retroceso sufrido por la línea litoral en este sector ha sido mucho más severo que el representado en esquemas anteriores asociados a fotografías de temporada invernal (donde tanto las condiciones fluviales como litorales son adversas).

Por el contrario, y a más de un año y medio del evento tsunámico, la flecha de Quivolgo muestra una imponente presencia, exhibiendo una superficie mayor a cualquier esquema morfológico antecedido. Este aumento de superficie se infiere que, responde a la reacomodación de la gran cantidad de material sedimentario que queda disponible frente a la costa luego de un tsunami. El límite interior de la flecha (borde hacia el interior del estuario) se muestra muy irregular y bastante accidentado, lo que evoca la presencia de abanicos de lavado (Fig. 30).

### **Barra submarina**

La configuración morfológica del año 2009, presenta rompientes del tipo de barras aisladas, dispuestas de manera oblicua frente a la playa de Quivolgo. El esquema del 2010, muestra una barra simple discontinua proyectada hacia el norte. Las rompientes presentes en el esquema del año 2011 representan a una barra del tipo simple discontinua, dispuesta perpendicularmente frente a la desembocadura (Fig. 30).

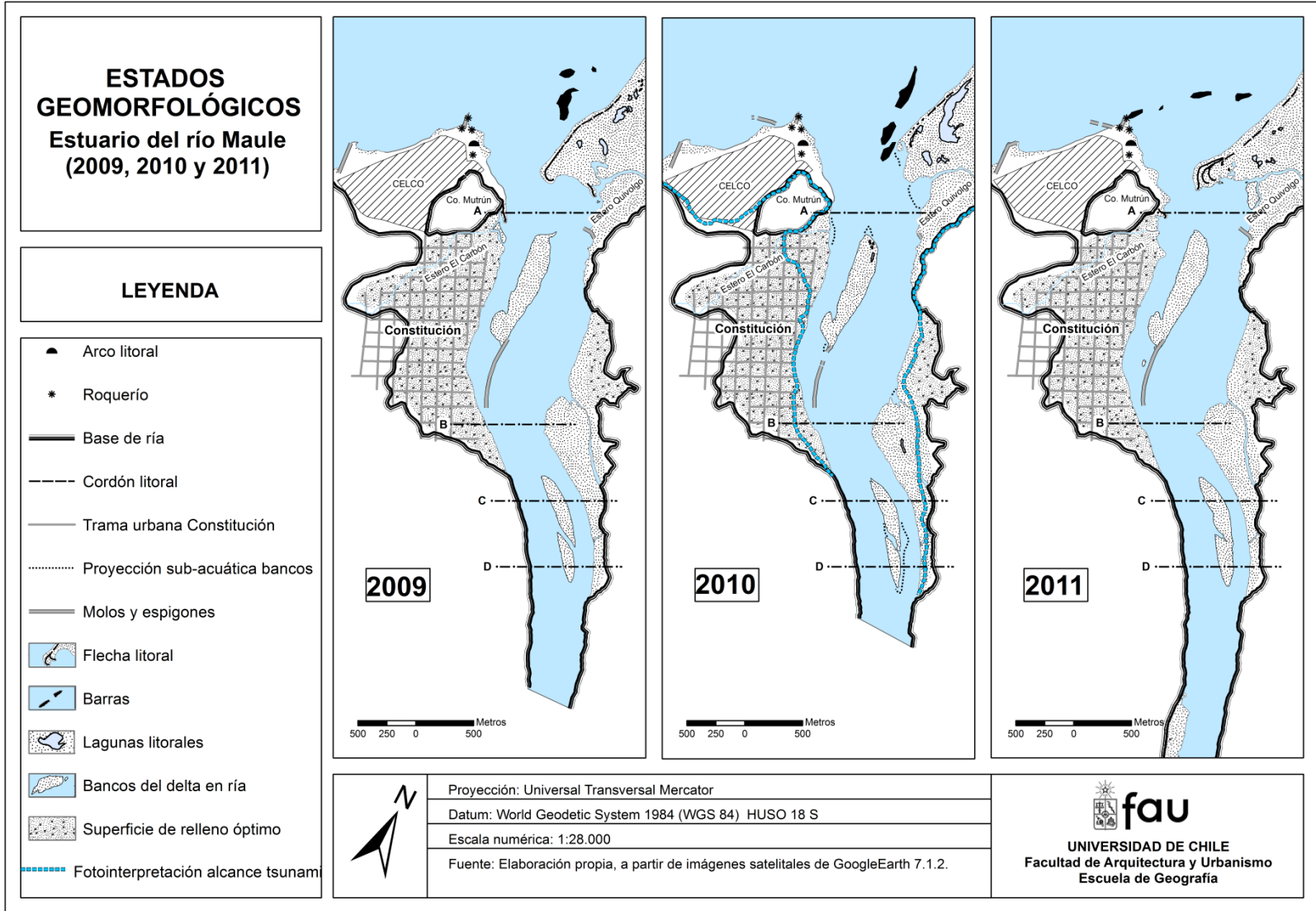
### **Desembocadura estero Quivolgo**

El estado morfológico de la desembocadura del estero Quivolgo del año 2009, se asemeja a la configuración vista en el esquema de 1978 (b), donde la descarga del estero se ve postergada debido a la presencia de una flecha adosada a su ribera poniente.

En el año 2010, la desembocadura del estero Quivolgo se presenta más ancha de lo vista en esquemas anteriores, y totalmente desprovista de cualquier obstáculo sedimentario.

El esquema del año 2011, muestra la descarga del caudal del estero Quivolgo un tanto obstruida, debido a la existencia de un banco medio ubicado inmediatamente al frente a su desembocadura, lo cual ha generado que su caudal principal se divida en dos canales para desaguar.





**Fig. 30: Estados morfológicos del estuario del río Maule en los años 2009, 2010 y 2011. Fuente: Elaboración propia, mediante fotointerpretación.**

**Tabla 6: Caudal del río Maule registrado en la estación fluviométrica de Forel, coincidente con la fecha de captura de las fotografías e imágenes base de los esquemas morfológicos de los años 2009, 2010 y 2011.**

FECHA FOTOGRAFÍA AÉREA O IMAGEN SATELITAL	ESTACIÓN DEL AÑO	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)		
		Caudal promedio día	Caudal promedio mes anterior	Caudal promedio año anterior
22 de Julio 2009	Invierno	506	836	454
2 de Marzo 2010	Verano	203	105	405
20 de Noviembre	Primavera	383	390	396

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos extraídos del sistema de estadística hidrológica en línea, perteneciente a la Dirección General de Aguas (DGA, 2012(a)).

### **Litoral cercano y playas aledañas al estuario**

El esquema morfológico del año 2009, presenta lagunillas dispersas sobre la playa de Quivolgo, algunas de ellas se asocian con las antes vistas en el esquema de 2007. La zona de rompiente de la playa de Quivolgo responde principalmente al tipo reflectivo, cambiando hacia el norte al tipo barra y playa rítmica.

La configuración morfológica del año 2010, presenta a la playa de Quivolgo socavada, con lagunas de grandes dimensiones dejadas tras el paso del tsunami. El tipo de zona de rompiente en este caso corresponde a reflectivo.

El esquema del 2011, muestra un escenario morfológico recuperado en la zona norte de la desembocadura, con un gran desarrollo de la flecha litoral de Quivolgo, sin embargo aún se distingue la presencia de lagunas pero de menor dimensión con respecto al 2010. El tipo de zona de rompiente en el sector de la flecha corresponde a reflectivo, cambiando paulatinamente a barra y playa rítmica.



**Fig. 31: Clasificación de tipos de zona de rompiente (TZR) frente a la playa de Quivolgo, según estados morfológicos de los años 2009, 2010 y 2011. Fuente: Elaboración propia, en base a clasificación de TZR propuesta por ARAYA-VERGARA (1996).**

Tabla 7: Variabilidad en las dimensiones de los individuos morfológicos deltaicos del estuario del Maule, entre los años 1944 y 2011.

PRINCIPALES BANCOS DELTAICOS		DIMENSIONES	1944-5	1955	1965	1974	1978(a)	1978(b)	1992	1994	1997	2004	2007	2009	2010	2011
Isla Orrego		Longitud	1334	1904	1634	1369	1311	1292	1083	1102	1043	1092	1110	1088	1020	1082
		Ancho	364	318	321	290	283	269	212	239	250	212	198	198	196	217
Banco del Edén		Longitud	1590	1721	1734	1384	1351	1339	1312	1339	1324	1314	1304	1288	1280	1237
		Ancho	524	520	521	534	544	513	345	372	441	412	398	393	387	413
Isla del Perro (*)	Un banco medio	Longitud	-	-	-	-	483	555	-	1188	-	986	-	-	-	970
		Ancho	-	-	-	-	129	150	-	171	-	156	-	-	-	147
	Compuesta por dos bancos medios	Longitud	-	-	-	530	-	-	645	-	707	-	674	669	667	-
		Ancho	-	-	-	140	-	-	74	-	126	-	127	119	120	-
		Longitud	-	-	-	170	-	-	399	-	449	-	445	447	448	-
		Ancho	-	-	-	67	-	-	70	-	94	-	113	96	101	-

(\*) Dada su variación morfológica, la Isla del Perro puede presentar uno o dos bancos medios.

Fuente: Elaboración propia, en base a mediciones de los esquemas morfológicos empleando escalímetro.

### 3.3.7. Estado morfológico actual

El estuario del Maule, se encuentra emplazado en una bahía abierta, con orientación Noroeste hacia el Océano Pacífico (Fig. 32). En el sector sur de la desembocadura, se encuentran acantilados duros activos y durmientes, y hacia el sector norte de éste se hallan depósitos fluvio-marinos y eólicos, además de paleoacantilados.



**Fig. 32: Vista panorámica de la bahía de Constitución. Desembocadura del río Maule, 8 meses después del terremoto tsunamigénico del 27 de Febrero del 2010. Fuente: Archivo fotográfico de NELSON MORAGA, 16 de Octubre 2010.**

La bahía de Constitución, en este caso, no corresponde a una forma meramente marina, sino fluvio-marina, pues gran parte de su configuración y desarrollo se debe a la irrupción e incisión del río Maule que disecta fuertemente el basamento costero (Fig 33).



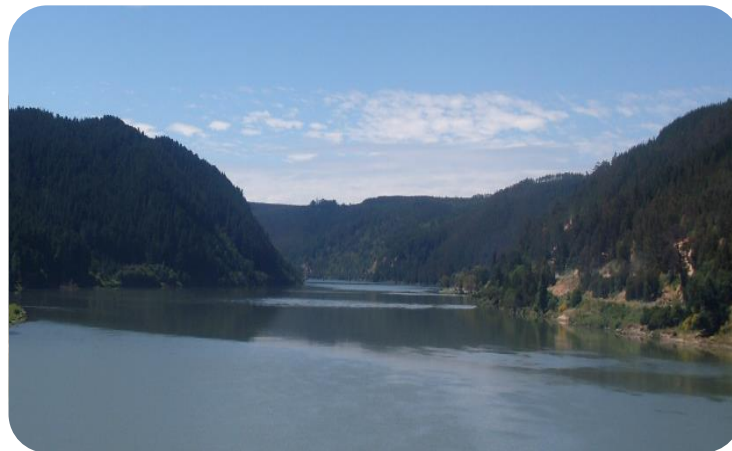
**Fig. 33: Estuario del río Maule, visto de poniente a oriente, a días de ocurrido el evento tsunamico. Fuente: Archivo fotográfico de GUSTAVO LATORRE, 03 de Marzo 2010.**

Como individuo geomorfológico esencial y soporte del impetuoso río Maule y sistema estuarial asociado, se ha identificado un valle fluvial inferior fuertemente incidido (Fig. 34), siendo evidente la diferencia de altura entre la parte superior de la ladera (210 msnm aprox.) y el nivel base del río. Probablemente la altura de la ladera se mantendría cercana al exutorio, sin embargo, esto posiblemente no sucede producto de la falla normal señalada por Godoy (1970) que causa el hundimiento del bloque granítico próximo a la bahía (pues ésta posee vergencia oeste).



**Fig. 34: Zona media del estuario del río Maule. Fotografía tomada desde el cerro Mutrún, con vista hacia el oriente. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011).**

Llama la atención la ausencia de extensas terrazas fluviales en la zona proximal del estuario del Maule, la caja del río coincide muchas veces con la base de la ladera del valle, evidenciando una profunda disección que por consecuencia impide que ellas se desarrollen (Fig. 35).



**Fig. 35: Vista de la ría de Constitución desde el límite de la zona media hacia el interior. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011).**

También se pudo constatar la influencia marina sobre ésta, debido a los cambios de nivel que presentaba el río a diario, los que fueron asociados a las mareas (pleamar y bajamar), visiblemente detectados a más de 3 km del mar.

En la zona media del estuario, fue posible distinguir bancos medios y laterales. Los bancos laterales poseen una forma alargada, con sus bordes suavemente convexos hacia el río, y presentan vegetación arbórea y arbustiva (Fig. 36).



**Fig. 36: Vista poniente (izquierda) y vista oriente (derecha) del banco lateral de El Edén, ribera norte del estuario. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011).**

Los bancos medios se ubican un tanto excéntricos con respecto al ancho del cauce, prefiriendo uno de los lados de la ribera (Fig 37). En sus márgenes algunos dan lugar a estrechas playas intermareales.



**Fig. 37: Vista del extremo distal de Isla Orrego, y por tanto, límite entre la zona media y distal del estuario (izquierda). Fotografía de la Isla del Perro cercenada, zona media del estuario (derecha). Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011).**

En la zona distal, muy cerca de la boca del Maule, fue posible presenciar considerables lentes sedimentarios adosados a la ribera sur, constituidos mayormente por arenas frescas, totalmente desprovistos de vegetación (Fig. 38). Ellos poseen una forma redondeada convexa al río. Se cree que esta acumulación sedimentaria pueda estar relacionada a una eventual flecha interior o exterior sur.



**Fig. 38: Bases de flechas o flechas embrionarias de la ribera sur del estuario, zona distal. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011).**

La flecha litoral de Quivolgo se dispone de norte a sur, es decir, totalmente inversa al sentido de la deriva, proyectándose hacia el cerro Mutrún (Fig. 39). Está constituida por arenas, además de rodados bien seleccionados y redondeados, los que principalmente se concentran en su punta, ocupando un nivel más elevado que las arenas. Sin embargo, este orden se invierte en el sector medio de la flecha, donde las arenas han comenzado a avanzar hacia el oriente por sobre los rodados. Cabe mencionar que la flecha posee una suave pendiente que cae hacia el este, lo cual evidencia el mecanismo del proceso recién mencionado.

De frente al mar, la flecha presenta un margen continuo y uniforme, un tanto cóncava en su sector medio y un tanto convexa en su cabeza, pero el margen interior (de frente al estuario) es bastante irregular forma que evoca al menos dos abanicos de lavado.



**Fig. 39: Flecha de Quivolgo vista desde el cerro Mutrún (izquierda). Componentes de la flecha de Quivolgo y perspectiva de su topografía. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011).**

La última forma estuarial se encuentra a unos metros de la boca del Maule, se trata de la barra submarina (Fig. 40). Este individuo morfológico submarino proyectado a partir de la “Piedra de los Lobos”, fue percibido de manera indirecta por la rompiente que se forma cada vez que un tren de olas pasa por el sector. Se cree que ésta tenga una proyección hacia la playa de Quivolgo, sin embargo no se percibe rompiente alguna que coincida con



la proyección de la barra, pero si se observó un ambiente algo disturbado próximo a la playa de Quivolgo sin orientación aparente, que puede tratarse de bancos de arenas.



**Fig. 40: Vista de la barra submarina del Maule, límite de la zona distal del estuario. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011).**

El centro cívico e histórico de la ciudad de Constitución se localiza sobre la planicie ribereña sur del estuario del río Maule, la cual se ha considerado por su baja altura y suave pendiente hacia el norte como terraza estuarial (Fig. 41). La terraza estuarial se dispone a lo largo del río Maule desde los pies del cerro Centinela hasta las faldas del Cerro Mutrún, en la ribera sur.



**Fig. 41: Terraza estuarina de Constitución, vista desde el cerro Mutrún. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011).**

La playa de Quivolgo posee un lineamiento prácticamente norte-sur, es larga y rectilínea. Se encuentra compuesta tanto por arenas, como por rodados esféricos y aplanados constituyentes principales de la ante y postplaya inmediata, lo cual deja en evidencia la fuerte energía del oleaje en este sector (Fig. 42 y 43). Los rodados más grandes encontrados en esta playa oscilan entre los 6 a 13 cm. en su diagonal mayor o diámetro (según corresponda), la mayoría de éstos presentan un color grisáceo, sin embargo, la litología de éstos no se corresponde con la de rocas pertenecientes al basamento costero. Por otro lado, se presenció un estrán concatenado por un set de beach cups o medias lunas compuestos de rodados (Fig. 42).



**Fig. 42: Beach cups y estrán de rodados de la playa de Quivolgo. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011).**



**Fig. 43: Vista de post-playa de rodados, playa de Quivolgo. Fuente: Archivo fotográfico del autor (2011).**

### 3.4.\_ Reconstitución evolutiva del estuario del Maule

#### 3.4.1. Principales cambios morfológicos y tendencia evolutiva

A continuación, se presenta un esquema que resume los cambios morfológicos más importantes experimentados en el transcurso de los años 1944-5 a 2011 (Fig. 44), asociados a procesos generales de erosión y acreción.

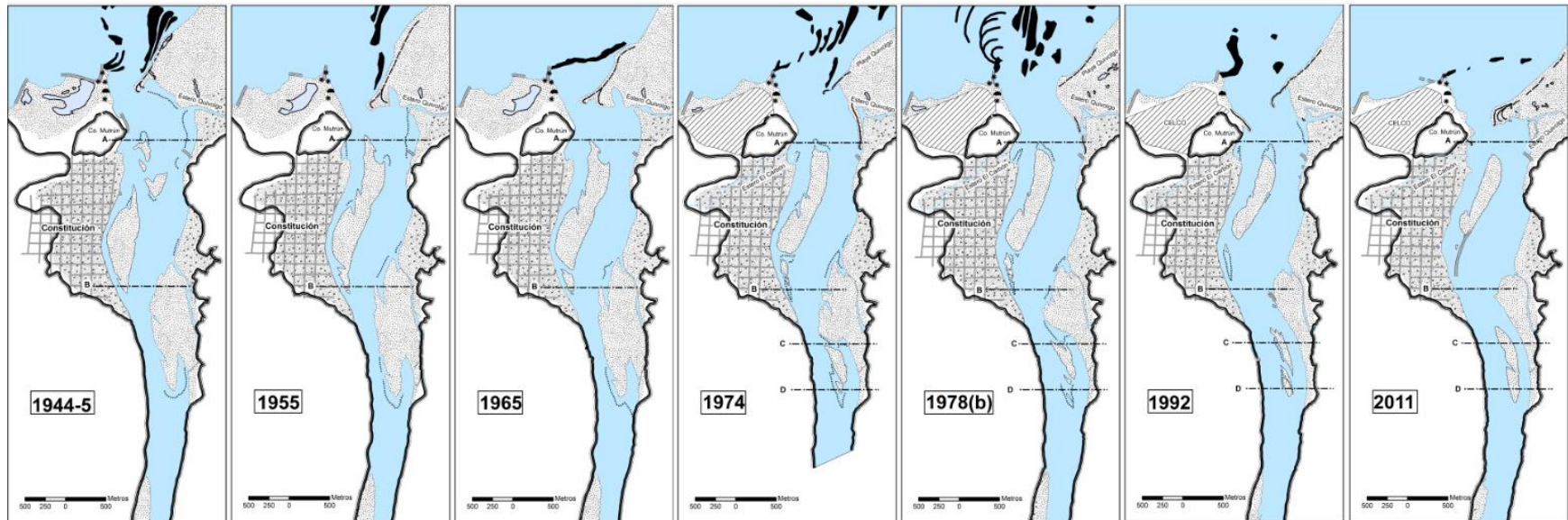


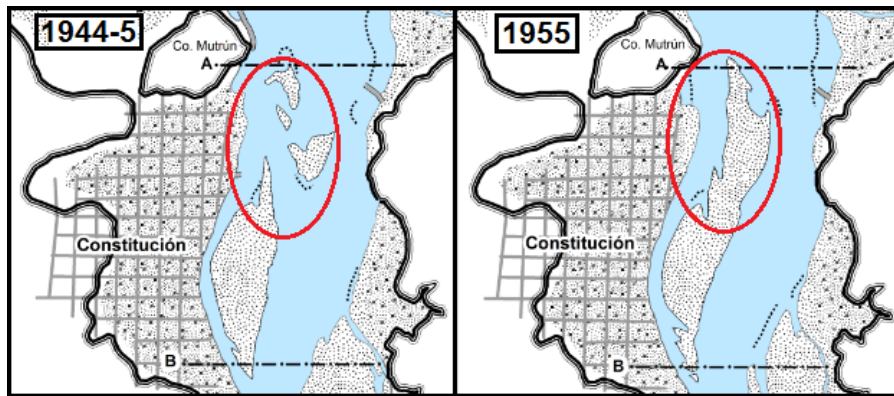
Fig. 44: Cambios morfológicos más representativos de la evolución del estuario del Maule. Fuente: Elaboración propia.

### ***Acreción distal de Isla Orrego por yuxtaposición de bancos***

Cambios del esquema morfológico de 1944-5 con respecto al de 1955:

Los tres bancos medios que colindaban con la zona distal, vistos en el esquema de 1944-5, se interpretan como bancos embrionarios o inductores de la acreción experimentada por Isla Orrego en su extremo distal, tal como lo exhibe el esquema de 1955 (Fig. 45). Se descarta la idea de que éstos fueran relictos de una Isla Orrego abatida y desmembrada durante o previo a 1944-5, pues cartografías históricas muestran a Isla Orrego similar en dimensión y forma al esquema de 1944-5. Además, la forma adoptada por esta isla en el esquema de 1955 se mantiene al pasar los años.

La acreción aquí descrita se logra hipotéticamente mediante la fagocitosis de un banco mayor, Isla Orrego, hacia bancos menores aledaños, lo cual puede ser evidenciado en las suturas o entrantes que muestra Isla Orrego luego del acoplado de bancos en el esquema de 1955.



**Fig. 45: Secuencia de acreción por yuxtaposición de bancos. Fuente: Elaboración propia.**

Las causas de dicha acreción no son claras, sin embargo, se consideran como posibilidades el aumento sostenido de carga sedimentaria en años anteriores y/o estabilidad climática.

### ***Desmembramiento proximal Isla Orrego***

Cambios del esquema morfológico de 1955 con respecto al de 1965:

El segundo cambio dice relación con el desmembramiento que comienza a afectar al extremo proximal de Isla Orrego desde 1965 en adelante (quizás antes pero este es el registro más antiguo que se tiene de este proceso). Cabe señalar entonces, que aquellos desmembramientos ocurridos en el mismo lugar (reincidencias) denotan un foco evidentemente activo dentro del estuario (Fig. 46).

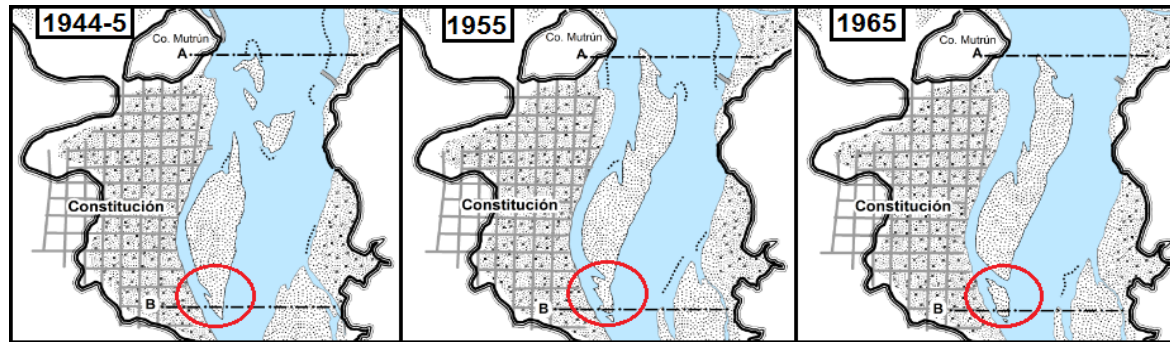


Fig. 46: Secuencia de erosión por desmembramiento. Fuente: Elaboración propia.

### ***Acomodamiento o ajuste morfodinámico***

Cambios del esquema morfológico entre 1973 y 1992:

El penúltimo cambio corresponde al reacomodamiento por erosión que comienza a experimentar el banco del Edén, luego de sufrir el importante desmembramiento de su extremo proximal (Fig. 47). Se infiere que al perder parte de su superficie, éste quedó en desequilibrio frente a las fuerzas del estuario, por lo que para volver a estar en armonía hidrodinámica, debía sufrir otra transformación la cual resultó en una importante erosión a través de los años como lo muestra la imagen 47.

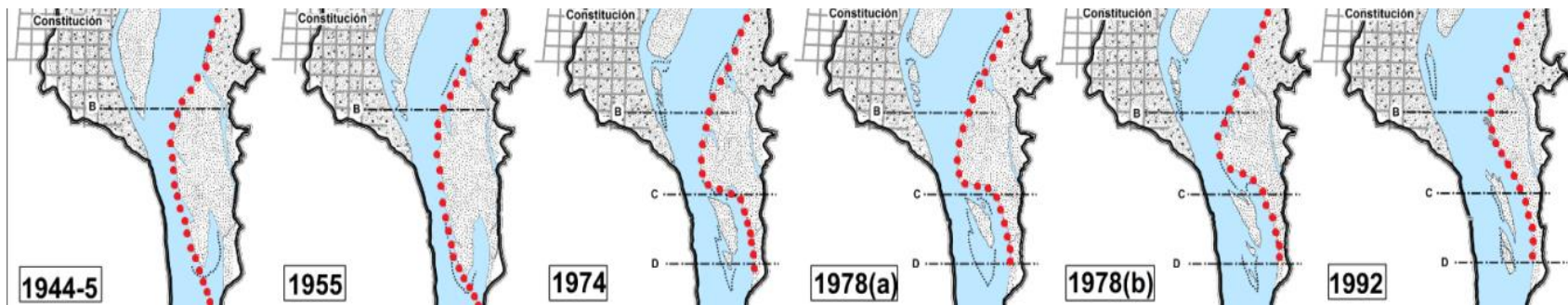


Fig. 47: Secuencia de tendencia y ajuste morfodinámico en la zona media del estuario. Fuente: Elaboración propia.

## ***Erosión mantenida***

Cambios morfológicos entre 1965 y 2011:

Considerando los cambios morfológicos más trascendentales de la secuencia estudiada, se ha inferido que la tendencia evolutiva del estuario del río Maule es a la erosión. Esto se evidencia en la alteración de formas y reducción de superficies que los principales bancos deltaicos han experimentado durante los últimos 46 años del estudio. A continuación, se presentan los cambios morfológicos con tendencia erosiva registrados en:

### **Isla Orrego**

- En 1965 → Primer desmembramiento en su extremo proximal. Desde 1965 a 1994 Isla Orrego siguió disminuyendo su superficie mediante dicho proceso, perdiendo cerca de 700 m de longitud en su extremo distal con respecto a su situación el año 1955.
- En 1974 → El extremo distal de Isla Orrego se retrae, situación que no mejora con el pasar de los años, sin volver a alcanzar su posición del año 1955.

### **Banco del Edén**

- En 1974 → Primer y único desmembramiento en su extremo proximal-lateral.
- En 1978(a) → Primer registro del re-acomodamiento o ajuste morfodinámico experimentado por el banco del Edén, el cual fue provocado por el desmembramiento del año 1974. Este proceso genera una nueva reducción superficial desarrollada entre los años 1978(a) y 1992.

### **Línea litoral Quivolgo**

- En 1965 → Primer retroceso de la línea litoral del sector de Quivolgo con respecto a su posición en el año 1944-5. Esta situación es progresiva, sin embargo existen algunos esquemas morfológicos donde este escenario parece revertirse (años 1978(b), 1992 y 1997) mostrando acreción en ella, aunque en ningún caso logra superar la ubicación de esta línea en el año 1944-5.

Si bien, los procesos erosivos recién mencionados parecen haber operado de manera efectiva sólo hasta el año 1994, se ha podido percibir, que de manera mucho más sutil y paulatina, éstos han seguido en funcionamiento hasta el año 2011. Prueba de ello es cómo Isla Orrego durante este periodo ha mostrado cambios leves en su superficie, mostrándose más estrecha y con su entrante (del extremo proximal) más pronunciada; así también el extremo distal del banco del Edén se ha exhibido levemente retraído; y la línea litoral de Quivolgo ha mantenido su retroceso. El retroceso de la línea litoral de Quivolgo se ha interpretado como una disminución importante del suministro sedimentario, el cual al no llegar al estuario y litoral cercano, los procesos erosivos se hacen sentir. Por otro lado, la Isla del Perro también fue afectada por la erosión hasta el año 1992, pero el año 1994 ésta experimentó una acreción, luego ésta se ha mantenido de similar superficie los años posteriores.

Cabe añadir que el único avance efectivo que Isla Orrego experimentó hacia el mar es el de la acreción de su extremo distal exhibida en el esquema morfológico de 1955, y con el cual se piensa que alcanzó el límite máximo para no ser erosionada por procesos marinos. Ante la imposibilidad de avanzar hacia el mar y frente a la tendencia al desmembramiento de su extremo proximal, Isla Orrego sólo estaba destinada a ser erosionada al punto de desaparecer. No obstante, gracias al espigón ubicado en su sector proximal dicha sentencia se ha disipado.

#### 4.\_DISCUSIÓN

Los resultados arrojados por este estudio, se condicen en gran parte con la investigación de ARAYA-VERGARA (1981, 1982) para las desembocaduras el centro-sur de Chile. Así también planteamientos teóricos como: el modelo morfológico estuarial de COOPER (1993), y el esquema evolutivo de sistemas costeros de DALRYMPLE *et al.*, (1992) fueron fundamentales para comprender de mejor manera este individuo costero. A continuación, se discuten aspectos importantes que relacionan estas propuestas teóricas-conceptuales, con la realidad del caso de estudio.

#### TIPO DE ESTUARIO

La presente investigación, revisó dos modelos morfológicos estuariales basados en la acción relativa del oleaje, las mareas y la dinámica fluvial.

El modelo propuesto por DALRYMPLE *et al.*, (1992), identifica dos tipos de estuarios según facies sedimentarias, estos son: estuarios dominados por olas y estuarios dominados por mareas. En estricto rigor, ninguno de ellos representa totalmente la realidad del caso de estudio, sin embargo, el modelo que más se acercaría a su configuración morfológica, es el estuario dominado por olas, de acuerdo a las siguientes características:

El estuario de río Maule, posee dos de los principales atributos de dicho modelo estuarial: estar inserto en un ambiente de alta energía del oleaje, y presentar individuos morfológicos como flechas, barras y abanicos de lavado (*washover fans*). Sin embargo, existen características de este modelo que no compatibilizan con la realidad del estuario en cuestión, como lo son: albergar un delta de fondo de bahía en su zona proximal; desarrollar en la zona media, un prodelta que antecede al delta de fondo de bahía; y presentar un delta de flujo mareal en su zona distal.

Tal como se señaló, el estuario del Maule no es un fiel representante de los estuarios dominados por olas en Chile, a diferencia del delta estuarial del río Itata, que de forma preliminar, sí parece serlo según esquemas morfológicos vistos en ARAYA-VERGARA (1981) y CASTRO (1987).

Por otro lado, no se realizó un análisis comparativo entre el caso de estudio y el tipo de estuario dominado por mareas, pues los aspectos divergentes entre ellos son evidentes. Tampoco se analizó desde la perspectiva de un estuario dominado por el río, pues esta categoría no existe dentro del esquema planteado por DALRYMPLE *et al.*, (1992), debido a que dichos autores consideran que el río determina principalmente la tasa en la cual el estuario se llena. En este sentido el río Maule es un indiscutible proveedor de sedimentos, sin embargo no se debe dejar de lado que también es un importante agente modelador del ambiente estuarino, más aún si su competencia es alta.



De esta manera, se puede establecer que el caso de estudio, no se condice cabalmente con el modelo morfológico estuarial planteado por DALRYMPLE *et al.*, (1992).

Por su parte, el modelo morfológico estuarial de COOPER (1993), resalta la importancia del factor fluvial tras el estudio de los estuarios de la costa Este de Natal – Sudáfrica. Cabe destacar, que COOPER (1993) cita la tipología de *deltas en ría* o *deltas estuariales* propuesta por ARAYA-VERGARA (1981) para los estuarios de Chile Central, y los reconoce como estuarios dominados por el río.

Entre las principales características de los estuarios dominados por el río, se puede encontrar gran coincidencia con las halladas en el estuario del río Maule, ellas son:

Primero, poseer un alto suministro de sedimento fluvial; el río Maule en su desembocadura presenta un caudal promedio de 500 m<sup>3</sup>/s y una gran carga sedimentaria.

Segundo, presentar una plataforma continental desfavorable para la progradación deltaica; la plataforma continental en el sector de Constitución es estrecha (50 km), y profunda.

Tercero, estar sometido a un ambiente de alta energía del oleaje, prácticamente presente a lo largo de todo el país.

Cuarto, contar con una corriente vigorosa que disperse los sedimentos por la plataforma; en las costas chilenas ésta se ve representada principalmente por la deriva continental, que dispersa los sedimentos de Sur a Norte.

Por último, que los procesos fluviales sean los que restringen la extensión de la influencia marina dentro de ellos; en el estuario del Maule, la marea dinámica y principalmente la cuña salina, están en función de las condiciones fluviales imperantes, según mediciones en ARCE-MORÁN (2014).

De este modo, se ha determinado que el estuario del río Maule es probablemente un estuario dominado por el río, debido a que éste cumple todos los parámetros planteados por COOPER (1993). Sin embargo, este autor no entregó mayores antecedentes sobre la configuración morfológica interna de este tipo de estuario, más que la representación esquemática del caso del estuario de Mgeni en Sudáfrica, que si bien se asemeja a la configuración morfológica del Maule, éstos poseen una importante diferencia: los bancos deltaicos de Mgeni son estacionales, en cambio los del delta interior del Maule han resultado ser perennes. Frente a esto, fue de fundamental apoyo la propuesta esquemática aportada por ARAYA-VERGARA (1981) para los *deltas en ría* del centro-sur de Chile, estableciendo un análisis con mayor profundidad.

## EVOLUCIÓN Y TENDENCIA

El análisis comparativo secuencial realizado entre los diferentes estados morfológicos del estuario del Maule, dan luces sobre su evolución y tendencia morfológica. Éstas serán discutidas bajo los planteamientos teóricos de DAVIES (1977, en ARAYA-VERGARA, 1981), ARAYA-VERGARA, 1981 y DALRYMPLE *et al.*, (1992).

Dichos autores, comparten como premisa que los estuarios son individuos costeros de existencia efímera o transitoria, es decir que ellos pueden modificar su configuración morfológica, su disposición frente a la línea de costa, su extensión, e incluso, su dinámica y funcionamiento a través del tiempo. Esta premisa no sólo tiene sentido para el tiempo medido a escala geológica, sino también a escala humana.

DAVIES (1977, en ARAYA-VERGARA, 1981) emplea el término *continuum*, para referirse a las diversas y consecutivas fases de cambio que experimentan las desembocaduras, mediante su historia morfológica, y acuñó el concepto de *delta estuarial* (que más tarde adoptó ARAYA-VERGARA, 1981 como *delta en ría*), para ejemplificar que existen individuos morfológicos costeros, que no pueden ser reconocidos como deltas, ni tampoco como estuarios propiamente tales, por encontrarse en un estado transitorio entre ambos tipos de desembocadura.

De esta manera, y sumado a los planteamientos de ARAYA-VERGARA (1981) que ya identificaba al estuario del río Maule como *delta en ría*, se ha podido comprobar en este estudio, que esta condición transicional se ha mantenido por más de un siglo en este estuario, pues sigue existiendo un delta cautivo en la ría de Constitución. Registros cartográficos del año 1876, avalan la existencia de bancos deltaicos al interior de la desembocadura del Maule, hecho que se mantiene hasta la actualidad, por lo que se puede inferir que esta etapa transicional es de larga data.

Por su parte, DALRYMPLE *et al.*, (1992) plantean un esquema evolutivo de sistemas costeros que explica, cómo formas costeras estuariales pueden derivar a formas deltaicas o a costas progradadas no deltaicas como *strand plains* y *tidal flats*, y viceversa, tras experimentar variaciones en el nivel del mar. El esquema posee forma de prisma triangular, la primera cara de sus extremos representa a los estuarios, y la última, representa a los deltas y costas progradadas (ver Fig. 8). Entre ambas, se encuentra la mixtura de todos los individuos costeros recién mencionados, pues ésta simboliza el estado de transición entre una cara y otra.

Como se pudo apreciar, estos tres autores coinciden en que existe un tipo de desembocadura transicional, pero son DALRYMPLE *et al.*, (1992) quienes explican de modo más concreto y gráfico cómo se produce esta transformación.

El estuario del Maule entonces, corresponde a una desembocadura en transición que en el esquema evolutivo de DALRYMPLE *et al.*, (1992) se posicionaría en el medio del prisma, teniendo en cuenta que el estuario del Maule ya fue catalogado como estuario

dominado por el río. Sin embargo, dentro de esta balanza morfológica evolutiva el denominado *delta estuarial* del Maule parece estar inclinándose a estuario.

Como última reflexión se señala que, la costa de Chile puede ser considerada como un laboratorio natural que exhibe diversos tipos de desembocaduras que varían según el escenario morfoclimático en donde se emplazan. ARAYA-VERGARA (1982) realizó una clasificación de desembocaduras a nivel nacional, identificando de Norte a Sur deltas distales truncados, rías o estuarios progradados, deltas estuariales, estuarios y deltas de cabecera de fiordo. Esto permite pensar que el principal agente dinámico del *continuum* de tipos de desembocaduras no sólo son los cambios eustáticos, como plantean DALRYMPLE *et al.*, (1992), sino que también resulta significativo considerar el contexto climático local y geomorfológico del sector en el cual la desembocadura se emplaza, pues si se aplica el esquema evolutivo de DALRYMPLE *et al.*, (1992) de manera transversal a todas las desembocaduras de Chile, éste no podría dar cuenta de los diversos tipos de desembocadura que conforman la realidad nacional.

## 5.\_CONCLUSIONES

El propósito de esta investigación fue analizar los cambios morfológicos contemporáneos experimentados por la zona media y distal del estuario del río Maule, en base a esquemas espacio-temporales discretos, dilucidando aspectos referentes a su comportamiento y tendencia evolutiva. En este sentido, el estudio basó su análisis principalmente en el delta interior, integrado por Isla Orrego, Isla del Perro, banco del Edén y otros bancos de presencia esporádica. La flecha y la barra litoral, fueron consideradas fundamentalmente como complemento a este análisis, ya que su existencia es efímera en el tiempo.

Antecedentes claves para este análisis, fueron obtenidos de la caracterización histórica de la morfología del área de estudio, revelando que tanto Isla Orrego, como el banco del Edén, han formado parte del delta interior del Maule al menos desde el año 1876. Así mismo, entre fines del siglo XIX y comienzos del XX, se advirtió que la tendencia morfológica para el estuario fue a la progradación.

Justamente el análisis fotointerpretativo, determinó la continuidad de esta tendencia. Desde el año 1944-5 hasta 1955, la zona media y distal del estuario del Maule, experimentaron progradación en sus individuos morfológicos constituyentes, lo que significó un aumento en la superficie de éstos. Sin embargo, esta tendencia llega a su fin a partir del año 1965, cuando se evidencia el primer desmembramiento del extremo proximal de Isla Orrego, fenómeno que más tarde afectó al banco medio del Edén, el año 1974. Con la fragmentación de los principales bancos medios deltaicos de la zona media estuarial, y el retroceso en la línea litoral de la playa de Quivolgo en la zona distal estuarial, evidenciada también el mismo año, se da inicio a la tendencia erosiva que ha afectado al estuario del Maule hasta el año 2011.

Dentro de este período, se identificaron dos fenómenos morfológicos importantes que pudieron revertir o acelerar la tendencia erosiva declarada para este estuario. Uno de ellos, corresponde a la notable baja de caudal sufrida por el río Maule el año 1997, que originó un aumento en la superficie de las formas estuariales, tanto en la zona media como en la zona distal. Este hecho, fue interpretado sólo como una ventana o paréntesis de procesos progradantes, dentro de la tendencia morfológica erosiva imperante. El otro fenómeno, corresponde al terremoto y tsunami ocurrido en el año 2010, el cual pese a ser un evento erosivo extremo, no parece haber alterado significativamente la morfología subaérea del delta interior del Maule, ni haber acelerado de manera importante la tendencia erosiva a la que éste ha estado afecto, aunque como era de esperar, las formas distales de este estuario si fueron abatidas, pero rápidamente reconstruidas según lo observado a través de registros fotográficos de 8 meses después de ocurrido el evento.

Luego del análisis de los estados morfológicos secuenciales presentados hasta aquí, que entre otras cosas declara la tendencia erosiva para el estuario del Maule, se pueden establecer tres aspectos fundamentales asociados al comportamiento morfodinámico y tendencia evolutiva de éste.

El primero, dice relación con la presencia histórica del delta interior del estuario del Maule, que a diferencia de otros estuarios del centro-sur de Chile analizados bajo el mismo enfoque, los principales bancos deltaicos del estuario del Maule permanecieron durante todo el período estudiado. Se ha llegado a establecer que este hecho podría atribuirse a la temprana colonización de vegetación experimentada en ellos, y/o podría responder también, a procesos y condiciones ambientales distintas al último siglo. Por esta razón, los bancos deltaicos han servido además, como individuos morfológicos guía de la secuencia evolutiva de este estudio.

El segundo aspecto plantea un posible estado de maduración del *delta estuarial* del Maule dentro del *continuum* de tipos de desembocaduras, lo cual podría determinar su transformación a estuario. Esta inferencia toma como ejemplo a la Isla Orrego, individuo morfológico que logró su posición máxima de avance en 1955 sin mostrar nuevos progresos en los esquemas estudiados dentro de los últimos 60 años. La posible transformación a estuario, se basa en el hecho de que el extremo distal de Isla Orrego se ha mantenido restringido por la energía de las olas, mientras que su extremo proximal es un foco activo de erosión, procesos morfológicos que pueden ser aplicados al resto de los individuos constituyentes, poniendo en riesgo la existencia del delta interior.

El tercer aspecto, establece que el delta estuarial del Maule se ha comportado como un *by-pass* de sedimentos, más que como un sumidero de éstos. La principal razón para establecer este comportamiento surge al comparar la enorme cantidad de sedimentos dispuestos inmediatamente al norte de su exutorio, constituyendo la convexidad de acreción Putú-Quivolgo, frente a la cantidad de sedimentos que conforman el delta interior del Maule (formas subaéreas).

Como futura propuesta investigativa y continuidad de enfoque, se debe considerar estudiar la evolución del estuario del Maule desde la estratigrafía y sedimentología, con la finalidad de evidenciar y complementar los cambios morfológicos aquí planteados, y dar respuesta a las causas de dichos cambios.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

ALFARO, G., BARRA, F., y RABBIA, O., 1998. *Serpentinitas y Cromititas de La Cabaña, Cordillera de la Costa, Chile Central*. Revista Geológica de Chile, Vol. 25, N° 1, p. 29 – 44.

ARAYA VERGARA, J.F., 1996. *Sistema de interacción oleaje-playa frente a los ergs de Chanco y Arauco, Chile*. Gayana Oceanol., 4(2): 159-167.

ARAYA VERGARA, J.F., 1970. *Contribución al estudio de los procesos estuarinaes en las desembocaduras de los ríos Rapel y Maipo*. Inform. Geogr., Chile, 20: 17-38.

ARAYA VERGARA, J.F., 1971. *Determinación preliminar de las características del oleaje en Chile Central*. Mus. Nac. Hist. Nat. Not. Mens., 15 (174): 8-12.

ARAYA VERGARA, J.F., 1971-2. *Bases geomorfológicas para una división de las costas de Chile*. Inform. Geogr. Chile 21-22: 5-36

ARAYA VERGARA, J.F., 1981. *El concepto de delta en ría y su significado en la evolución litoral (ejemplo de Chile Central)*. Inform. Geogr., Chile, 28: 19-42.

ARAYA VERGARA, J.F., 1982. *Análisis de la localización y de los procesos y formas predominantes de la línea litoral de Chile*. Inform. Geogr., Chile, 29: 35-55.

ARAYA VERGARA, J.F., 1985. *Sediment supply and morphogenetic response on a high wave energy coast*. Z. Geomorphology.N.F.S.B. 57: 67-79.

ARAYA VERGARA, J.F., CASTRO C., y ANDRADE B., 1978. *Análisis de la turbidez fluvial en el mar mediante teledetección y control terrestre*. Congreso de Percepción Remota, Santiago, Ed. Instituto Geográfico Militar, Santiago.

ARAYA-VERGARA, J.F., 1976. *Reconocimiento de tipos de individuos geomorfológicos regionales en la costa de Chile*. Inform. Geogr. Chile 23: 9-30.

ARCE-MORÁN, 2014. *Caracterización en terreno y por modelación numérica de la hidrodinámica del estuario del río Maule, Chile*. Memoria para optar al título de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Mención Recursos y Medio Ambiente Hídrico Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Santiago.

ARRIAGADA, J. 2009. *Geomorfología estuarial comparada en la zona semiárida de Chile. Casos de Copiapó y Choapa*. Tesis para optar al grado de magister en geografía. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

ARRIAGADA, J., 2005. *Cambios en el sistema estuarina del Maipo y su relación con obras portuarias, Chile central*. Memoria para optar al título de geógrafo, Universidad de Chile, Santiago; 80 pp.

AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS LTDA., 2003. *Bases plan director para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Maule*. Dirección General de Aguas (DGA). Ministerio de Obras Públicas (MOP). Santiago – Chile.

BIRD, E., 2008. *Coastal Geomorphology: An introduction*. 2<sup>nd</sup> Edition. J. Wiley & Sons Ltd. 411p.

BIRD, E., 2010. *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms: Chapter 4.3 Chile*. Springer.

CADE-IDEPE, 2004. *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del río Maule*. Dirección General de Aguas (DGA). Ministerio de obras públicas (MOP) Diciembre, 2004.

CASTRO, C. P., 1987. *Influencia del río Itata en el desarrollo de líneas de costa arenosas en la parte sur de Chile Central*. Memoria para optar al título de geógrafo, Universidad de Chile, Santiago – Chile.

COOPER, J.A.G., 1993. *Sedimentation in a river-dominated estuary*. *Sedimentology*, 40, 979-1017

CORTÉZ, C., 2002. *Observaciones dinámicas y geomorfológicas en el estuario del Aconcagua, Chile Central*. Memoria para optar al título de geógrafo, Universidad de Chile, Santiago; 73 pp.

DALRYMPLE, R., ZAIMLN, B., & BOYD, R., 1992. *Estuarine facies models. Conceptual basis and stratigraphic implications*. *J. Sedim. Petrol*, 62: 1130-1146.

DGA, 2012(a). *Caudal medio diario: Río Maule en estación Forel 1992 – 2011*. Centro de información de recursos hídricos. Dirección General de Aguas (DGA). Ministerio de obras públicas (MOP). Santiago – Chile.

DGA, 2012(b). *Gasto sólido mensual: Río Maule en estación Forel 1988 – 2008*. Centro de información de recursos hídricos. Dirección General de Aguas (DGA). Ministerio de obras públicas (MOP). Santiago – Chile.

DÍAZ-NAVEAS, J. & J. FRUTOS (eds). 2010. *Geología Marina de Chile*. Comité Oceanográfico Nacional de Chile - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso - Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. 115 pp

ESCOBAR, F., et al, 1977. *Avance geológico de las hojas Rancagua – Curicó, Talca – Linares, Chanco, Concepción - Chillán*. Instituto de Investigaciones Geológicas. Santiago

EVANS, G. & PREGO, R., 2003. *Rias, estuaries and incised valleys: is a ria an estuary?*. *Marine Geology*, 196: 171-175.

FARÍAS, M.; VARGAS, G.; TASSARA, A.; CARRETIER, S.; BAIZE, S.; MELNICK, D. & BATAILLE, K., 2010. *Land-level changes produced by the 2010 Mw 8.8 Chile earthquake*. *Science*, 2010a, N° 329, p. 916.

GODOY, E., 1970. *Estudio petrológico del Granito de Constitución y su aureola metamórfica*. Tesis de pregrado, para optar a título de geólogo. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

GUILCHER, A. (1957), *Morfología litoral y submarina*. Barcelona Omega. 257 pp.

LAGOS, M., 2010. *Modelación del tsunami del 27 de Febrero de 2010, Chile*. Resultados preliminares. Proyecto FONDECYT 11090210 (2009 – 2012) “Zonificación del riesgo de tsunami en el centro-sur de Chile: uso combinado de modelación, evidencias geológicas e historia”.

LEVEQUE, A., 1876. *Estudio sobre la ría de Constitución i la barra del río Maule: memoria técnica*. 277-365 pp. Santiago.

MARTINEZ C., & CORTEZ C., 2008. *Características geomorfológicas del estuario Aconcagua, Chile Central., entre 1877 y 2001*. *Rev. Geogr. Valpso.*, 41: 14-26.

NIEMEYER, H. & CERECEDA, P., 1984. *Hidrografía*. En: Instituto Geográfico Militar (Ed), Santiago, 320 pp.

PASKOFF, R. 1970. *Geomorfología de Chile semiárido*. Trad. por J. Novoa (1993). Facultad de Humanidades, Universidad de La Serena. 321p.

PERILLO, G. 1995. *Geomorphology and sedimentology of estuaries*. Elsevier Pub. Co., Ámsterdam. 17- 46.

PINO M. & MULSOW S., 1983. *Distribución de facies granulométricas en el estuario del río Queule, IX región: Un análisis de componentes principales*. *Revista Geológica de Chile* No. 18, p. 77-85.

POMAR, J., 1963. *Cambios en los ríos y en la morfología de la costa de Chile*. *Revista Chilena de Historia y Geografía*, 130: 318-356.

ROJAS, C., 1984. *Estudio Estacional de los Sedimentos del estuario del Queule, IX Región*. *Informaciones Geográficas*, 1984, N° 31, p. 55-65.

SHOA, 2002. *Memoria explicativa carta de inundación por tsunami para el Puerto de Constitución*. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada. Octubre 2002. Valparaíso – Chile.

SHORT, A., D., 1987. *A note on the control of beach type and change, with S. E. Australian Examples*. *J. of Coastal Res.* 3 (3): 387-395.



VARGAS, G.; FARÍAS, M.; CARRETIER, S.; TASSARA, A.; BAIZE, S. and MELNICK, D. (2011). *Coastal uplift and tsunami effects associated to the 2010 Mw8.8 Maule earthquake in Central Chile*. *Andean Geology*, N° 38: 219 -238.