



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA DE GEOGRAFÍA

INFORME FINAL DE PRÁCTICA PROFESIONAL
*“Análisis morfogénético del estuario del río Maipo
y su relación con las obras portuarias.
Caso de San Antonio”.*

Alumna: Joselyn Arriagada González.
Profesional a cargo: Profesora María Victoria Soto.
Profesor guía: José Araya Vergara.

Santiago, Octubre del 2003.

INDICE

	Página
Resumen.....	3
I. Introducción	
1. Problemática.....	4
2. Objetivos.....	5
II. Materiales y Métodos	
1. Marco Teórico y Conceptual.....	6
2. Área de estudio.....	12
3. Procedimientos.....	16
III. Resultados	
1. Tendencia evolutiva del estuario del río Maipo e impactos morfológicos de las obras portuarias.....	16
2. Situación actual del estuario y su clasificación.....	34
IV. Discusión.....	40
V. Conclusiones y Recomendaciones.....	42
VI. Referencias bibliográficas.....	43

RESUMEN

La evolución de la línea de costa y de la aparición de formas recientes en el sector de San Antonio-Llolleo (V Región) están estrechamente relacionadas, por una parte, con la construcción del Puerto de la ciudad, y por otra parte, por la dinámica del sistema constituido por el río Maipo, el cual ha sido de vital importancia dado el aporte de material sedimentario que proyecta hacia el mar.

La conjugación de estas dos características ha provocado a lo largo del siglo XX, entre otros fenómenos, el crecimiento de la playa de Llolleo por acreción de material sedimentario, la formación de una laguna litoral y la desviación de cursos de agua (caso del estero El Sauce).

Asimismo, se pudo clasificar el sistema del río Maipo en tres zonas constituyentes: zona proximal, media y distal; cada una de ellas posee características propias que han sido de vital importancia para poder insertarlo dentro de un sistema dominado por el río, más que un sistema dominado por las mareas o por el oleaje.

I. INTRODUCCIÓN

1. Problemática

Las desembocaduras fluviales son un ámbito en el cual se desarrollan fenómenos complejos; dentro de éstos, se encuentran aquellos que resultan del encuentro de las aguas continentales con las aguas marinas (COQUE, 1984). De esta forma, se hace necesario el estudio de estos fenómenos, por cuanto corresponden a zonas con un alto intercambio de masas de aguas de diferentes características.

Para el caso del sistema estuarial del río Maipo, estas consideraciones adquieren una real importancia, por cuanto la morfología actual del estuario (y de los terrenos vecinos) ha sido modelada, tanto por las características propias del río, como por una elevada inducción antrópica.

Entre las características propias del río, resalta la alta capacidad de carga que posee el Maipo, lo cual va a regular la cantidad de sedimentos vertidos hacia al mar; junto a ello, se debe considerar la deriva litoral, la cual es responsable del transporte de sedimentos hacia el norte, provocando (en este caso) la acreción de la playa de Llolleo.

En lo referente a la inducción antrópica, se hace referencia a la construcción del Puerto de San Antonio localizado al norte del río Maipo, lo cual produjo importantes transformaciones en la línea litoral (POMAR, 1963), como lo son: el origen de la laguna de Llolleo, la acreción de la playa del mismo nombre, y la desviación de cursos de agua (caso del estero San Juan).

Al respecto, POMAR (1963) señala que el molo sur del puerto fue socavado, bajando 22 metros (en 1932); ese molo, desvió la corriente litoral e hizo avanzar la playa en cerca de 600 metros. Ese mismo autor señala que durante los primeros decenios del siglo XX, la desembocadura del río Maipo se fue desplazando hacia al norte, formando hacia el lado del mar una lengua de guijarros, la que en 1937 tenía un largo de 900 mts., y en 1939, de 1960 mts., la cual se anuló con las obras de regulación de la desembocadura, como lo fue la construcción de una escollera, realizada por el Departamento de Puertos.

En cuanto al estado actual del estuario del río Maipo, ARAYA VERGARA (1981); destaca la existencia de tres zonas:

- una **zona fluvial** con meandros estuariales.
- una **zona deltaica interior** con bancos medios y distributarios.
- una **zona lagunar** con laguna distal semibloqueada por barrera litoral o flecha, una barrera o flecha exterior y, conteniendo la laguna distal, puede haber un delta distal atrofiado o bloqueado.

Junto a esto, es posible encontrar (junto a la boca del Maipo) una unidad triangular de más o menos 1 km de largo por 2 de ancho, compuesta de arena y algunos cantos rodados ; está delimitada por un continuo cordón litoral. Esta forma corresponde a un delta bloqueado (ARAYA VERGARA, 1981).

2. Objetivos generales y específicos

◆ Objetivo General:

Analizar morfogenéticamente el sistema estuarial del Maipo, de modo de poder vislumbrar el impacto de sus cambios en las obras costeras y hábitat costeros.

◆ Objetivos Específicos:

- Determinar la tendencia evolutiva del estuario del río Maipo, así como también su clasificación a través de los cambios experimentados en la línea litoral.
- Conocer el impacto de las obras portuarias en la morfología vecina al estuario.
- Elaborar la cartografía respectiva, indicando la evolución de la morfología del estuario.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Marco Teórico y conceptual.

Las desembocaduras fluviales comprenden complejas combinaciones que son resultado de la actividad de mecanismos morfogenéticos diversos, desarrollada en el contacto de las aguas marinas y fluviales; de ello se derivan, según las condiciones ofrecidas a su evolución, estuarios o deltas (COQUE, 1984).

Estos fenómenos deben ser estudiados como parte de un sistema, por lo que se hace necesario definirlos geomorfológicamente. Los tradicionales estudios europeos y norteamericanos sobre deltas y estuarios no permiten llegar a la realidad de la mayor parte de las desembocaduras con esquemas evolutivos y taxonómicos claros. Tal es el caso de las desembocaduras en las costas de Chile Central, que no pueden estudiarse si no se enriquece y modifica algunos moldes de la Geomorfología Litoral como disciplina (ARAYA VERGARA, 1981).

El origen general de los sistemas estuariales dice relación con los trabajos de PASKOFF (1970) aplicados al Norte Chico, en donde señala que a partir del Cuaternario Antiguo los valles deben haber sido calibrados en función de un nivel marino más bajo que en Cuaternario Medio; así, las transgresiones siguientes provocaron invasiones formando primeramente **rías**. En el caso de Chile Central, en donde la elaboración de los valles inferiores está relacionada con las fases transgresivas del Cenozoico Superior, las más recientes permitieron la presencia de rías hacia el máximo transgresivo (ARAYA VERGARA, 1981); a su vez, se convirtieron en estuarios.

Existen variadas clasificaciones de **estuario**; es así como se señala que se trata de una desembocadura fluvial con depresiones colmatadas por acumulaciones sedimentarias que enmarcan un canal (COQUE, 1984); también se puede entender como la parte final de un organismo fluvial, donde se hacen sentir las mareas y las corrientes (GUILCHER, 1957). De la misma manera, su modelado depende de las corrientes de marea que empujan hacia arriba el flujo de los cursos de agua. Por otra parte, OTTMANN (1967) señala que los estuarios son siempre zonas de acumulación de sedimentos, por lo general finos.

De acuerdo a trabajos realizados por PRITCHARD y CASPERS en 1967 ARAYA VERGARA (1970) señala que *estuario* es un término hidrológico y no geomorfológico; asimismo, (PRITCHARD, 1967 en ARAYA VERGARA, 1970) contempla una definición de *estuario* aceptada por los especialistas: lo define como un cuerpo de aguas costero que tiene una conexión libre con el mar abierto y desde el cual el agua de mar es mensurablemente diluida con agua dulce,

derivada del drenaje continental: Por su parte, CASPERS (1967, en ARAYA VERGARA, 1970) enfatiza la importancia del factor marea para la clasificación de estuario, por lo que deben excluirse aquellas desembocaduras de mares sin marea.

Debido a que la expresión *delta estuarial* (entendido como acumulación de bancos que crecen desde el interior de la ría hacia el mar) se aplica a un delta desarrollado dentro de un estuario, se hace necesario buscar la forma del terreno sobre la cual se desarrolló el estuario, y entonces se persigue un concepto geomorfológico. Así, ARAYA VERGARA (1981) concluye en que esta forma en su expresión más típica comúnmente es una ría; por lo tanto, propone llamar **deltas en ría** a los deltas interiores formados en valles anegados por el mar.

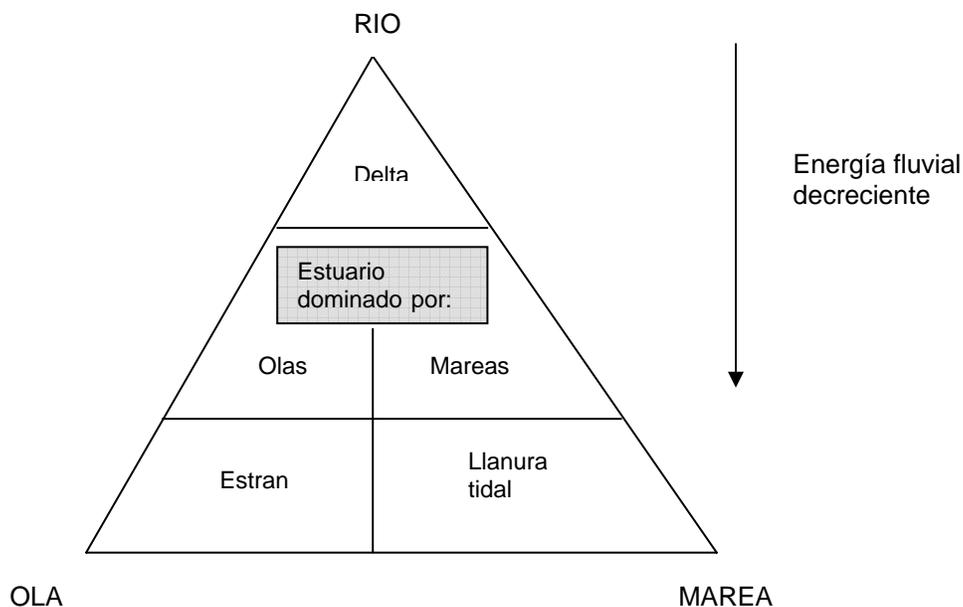
Al respecto, GEORGE (1991) define a estas formas como *deltas de fondo de estuario*, relacionados con el encenegamientos que pueden darse lateralmente, creando cenegales o pantanos de estuario.

Cabe destacar que DAVIES (1977, en ARAYA VERGARA 1981) ubica al **delta estuarial** como parte de un continuum de tipos de desembocadura y que constituye la fase de transición entre el estuario y el delta propiamente tales (entendiendo como **delta** a una forma típicamente marina y distal).

Componentes de un estuario

Desde el punto de vista de la masa sedimentaria, DALRYMPLE *et al.* (1992), definió *estuario* como “la parte ubicada hacia el mar de un valle inundado, que recibe sedimentos de origen tanto fluvial como marino y está sometida a la acción de las olas, las mareas y los ríos. Dicha definición implica que un estuario es un sistema cuyo desarrollo depende de la morfología de la costa (valle) y de un contexto eustático transgresivo (ver Fig. 1).

Fig. 1: Elementos que condicionan un estuario.

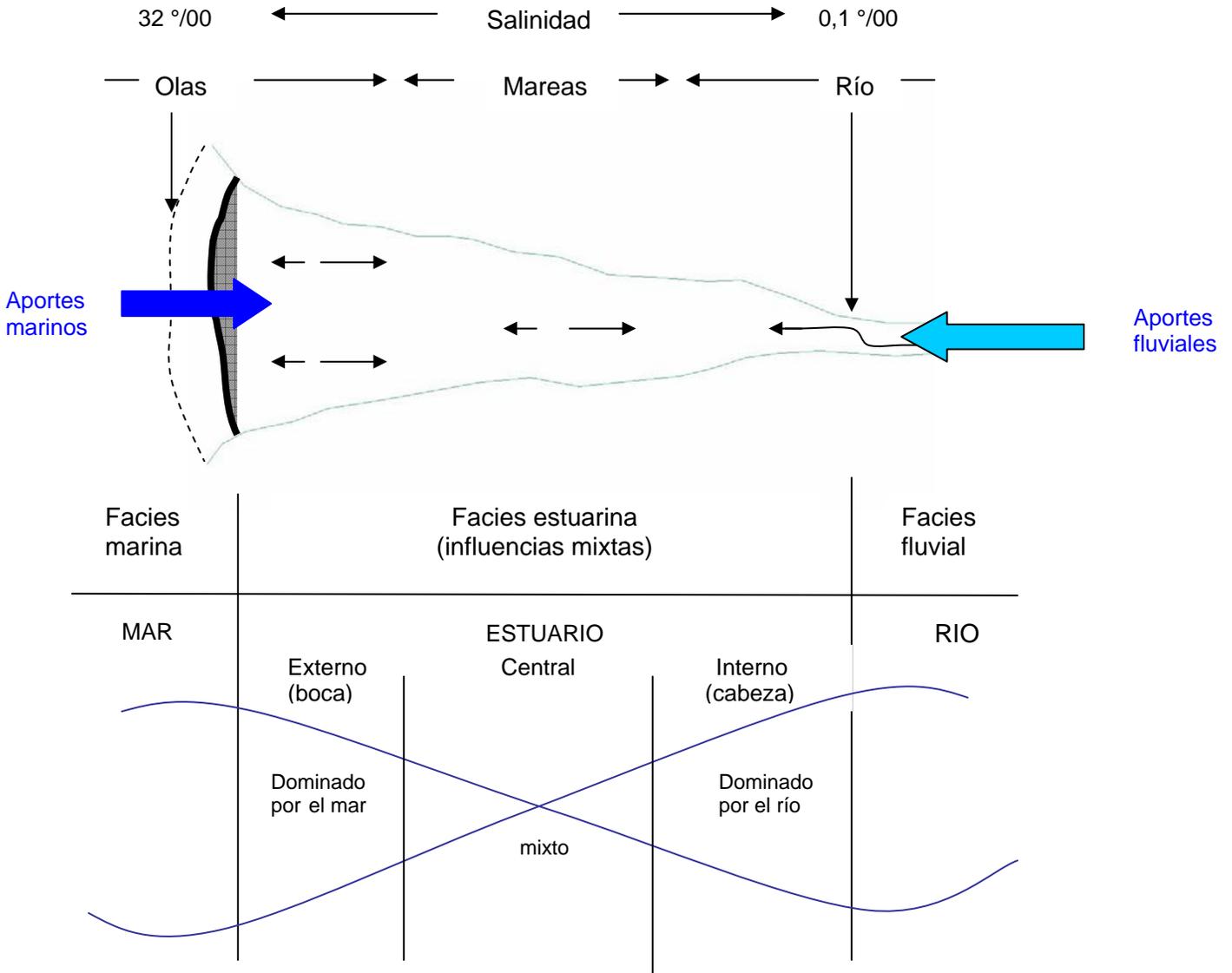


Fuente: Dalrymple *et al.* “*Estuarine facies models. Conceptual basis and stratigraphic implications*”, 1992.

Por lo tanto, los sistemas estuariales son efímeros a la escala geológica, ya que si aumentan los aportes sedimentarios, o si baja la velocidad del alza eustática, el estuario se rellena y se vuelve *delta*. Por lo tanto, los depósitos estuarinos se encuentran intercalados dentro de las cuencas deltaicas, formando sistemas fluviomarinos.

Por su ubicación, el estuario está caracterizado por salinidades variables y por la interacción de procesos fluviales y marinos. Es así como en todos los estuarios se distinguen las siguientes zonas (Fig. 2):

Fig. 2:



Fuente: Dalrymple et al. "Estuarine facies models. Conceptual basis and stratigraphic implications", 1992.

- a) Una parte externa (distal, boca) dominada por las corrientes de las olas o de las mareas, que inducen una sedimentación gruesa (arenas y gravas) y un transporte estuario adentro.
- b) Una parte central con energía mínima, porque se equilibran más o menos las influencias fluviomarinas.
- c) Una parte interna (proximal, cabeza) dominada por la energía del río, que induce una sedimentación gruesa.

Tipos de estuarios

Según DALRYMPLE *et al.* (1992) sólo existen dos tipos de estuarios: los dominados por las olas y los dominados por las mareas.

- a) Estuarios dominados por las olas: en las bocas de tales estuarios, las olas edifican barreras o cordones litorales emergidos o subacuáticos que impiden a las olas y a las corrientes entrar en el estuario. Por lo tanto, la energía detrás de dicha barrera es muy débil, y si la desembocadura está totalmente tapada, se forma una laguna. Dada la disminución de la pendiente y aumento de la sección por la cual transita el agua, la energía del río decrece hacia el mar; por lo tanto, los estuarios dominados por olas están caracterizados por una alta energía en la boca, un mínimo pronunciado en la parte central y nuevamente una alta energía en el fondo.
- b) Estuarios dominados por las mareas: en ellos, la energía e las corrientes de marea domina en la boca, y edifica barreras alargadas, que rompen la energía de las olas, si ellas existen. Por otro lado, la forma ensanchada (embudo) provoca la aceleración de las corrientes de mareas aguas arriba, hasta el punto en donde la fricción contra el fondo y los bordes compense dicha energía. La energía fluvial decrece aguas abajo, pero, ya que la ausencia de barrera permite una mejor penetración de las corrientes de marea, el mínimo de energía es menos nítido que en los estuarios dominados por las olas.

Además, PERILLO (1995, en CORTÉZ, 2002) introduce una clasificación basada en consideraciones tanto genéticas como morfológicas. Este autor establece los conceptos de estuarios *primarios* y *secundarios*.

- a) Estuarios Primarios: la formación de estos estuarios ha sido el resultado de procesos terrestres y/o tectónicos; la acción marina no ha afectado significativamente su forma original. Entre los estuarios primarios se han distinguido:
 - a.1) Antiguos valles fluviales: estuarios de planicie costera y rías.
 - a.2) Antiguos valles glaciales: fiordos.
 - a.3) Estuarios de influencia fluvial: influidos por mareas, de frente de delta y estructurales.

- b) Estuarios Secundarios: la forma observada es el producto de procesos marinos que afectaron la descarga fluvial desde que el nivel del mar alcanzó aproximadamente su posición actual. Entre las formas resultantes se encuentran las lagunas costeras, las que se pueden clasificar como semicerradas, restringidas y semiabiertas.

Impacto de obras costeras

De acuerdo con lo anterior, es necesario notar la importancia que adquieren estos sistemas cuando son intervenidos, como el caso del río Maipo. En el caso de las construcciones portuarias, se debe recurrir a obras de defensa muy costosas; entre ellas están las construcciones paralelas al litoral, las cuales impiden la propagación del oleaje en los puertos (OTTMANN, 1967).

También se apela a las construcciones transversales, los que corresponden a los **espigones**. Estos tienen por finalidad oponerse a la circulación de los sedimentos y provocar su acumulación; tal proceso va a depender del modo de transporte (OTTMANN, 1967).

ANTHONY y BLIVI (1999) analizaron cambios del litoral entre 1967 y 1992, en la localidad de Lome (Africa) por la construcción de un puerto. Éste, inaugurado en 1997, ha tenido un papel importante en la perturbación de la dinámica de la línea de costa. Por un lado, ha erosionado el sector, lo cual ha dado lugar a un daño considerable en la morfología aledaña. Por otro lado, se ha producido el proceso denominado *progradación*, es decir, acumulación de sedimentos. En el ejemplo citado, este fenómeno ha significado el incremento de 1 kilómetro en los últimos 30 años, en el sector del rompeolas occidental del puerto.

2. Área de estudio.

La hoya del Maipo comprende una extensión de 15.380 km², la mayor parte de la cual se desarrolla en la Región Metropolitana. Sus cabeceras se generan en una de los sectores más altos de la cordillera de los Andes, como por ejemplo: los nevados Juncal y El Plomo (NIEMEYER y CERECEDA, 1984).

El Maipo nace al pie occidental del volcán del mismo nombre, de la conjunción de tres arroyos, en una cota cercana a los 3.135 mt. Siempre en la cordillera, el río Maipo recibe tres grandes tributarios con cabeceras altas: son los ríos Volcán, Yeso y Colorado. Aguas abajo de la junta del Colorado, y por 25 metros, el Maipo no tiene afluentes de importancia, salvo algunos esteros que descienden de las montañas confinantes hasta que sale a la llanura aluvial en las proximidades de Puente Alto. En este sector, el sistema Maipo-Mapocho ha desarrollado un espeso manto de sedimentos fluviales que cubre toda la cuenca de Santiago; esta planicie en la cual divaga el Maipo se extiende en forma bien desarrollada hasta Melipilla (NIEMEYER y CERECEDA, 1984).

Aguas abajo de Talagante, y en plena llanura aluvial, el Maipo recibe al río Mapocho; éste, con su extensa red de drenaje de 4.230 km², desagua la porción norte de la hoya entre los faldeos orientales de la cordillera de la Costa y la precordillera andina.

En su curso inferior, el Maipo recibe un afluente que tiene relación con la cordillera de la Costa: el estero Puangue. Asimismo, en esta zona tributan al Maipo otros esteros de escaso caudal, como lo son el Popeta, El Sauce y el San Juan. Finalmente, tras un recorrido de 250 kilómetros, el río Maipo desemboca en Lolleo, inmediatamente al sur de San Antonio (ver Fig. 3).

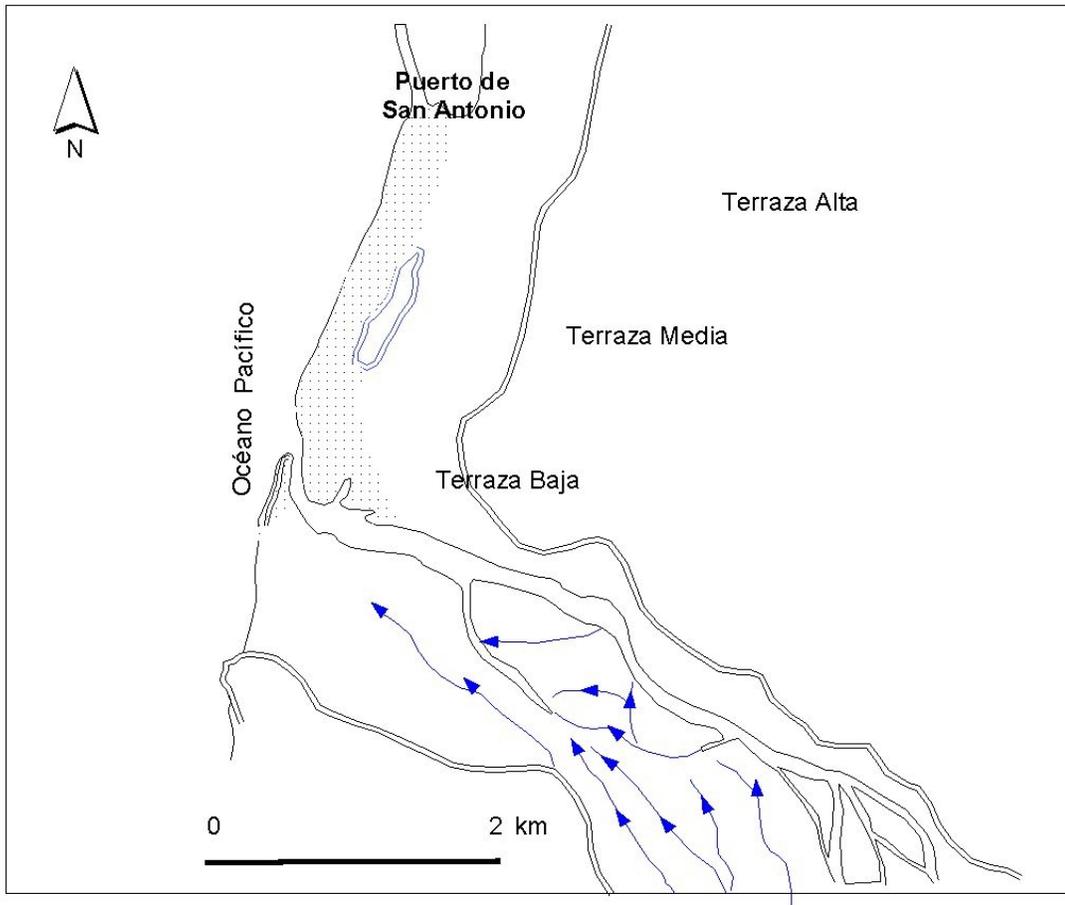
El régimen hidrológico del Maipo y de sus principales afluentes andinos es **mixto (con aporte pluvial y nival)**, aunque con primacía del régimen nival, ya que los caudales máximos estivales duplican los gastos medios de invierno (NIEMEYER y CERECEDA, 1984).

En cuanto a las características climáticas, la Provincia de San Antonio presenta un clima templado y cálido con estación seca y prolongada entre los meses de Octubre y Marzo. El régimen de lluvias de carácter ciclónico permite diferenciar tres períodos en el año: un período seco de Octubre a Febrero; un período de lluvias menores de Marzo a Abril y un período lluvioso de Agosto a Septiembre. Según estos datos, la pluviosidad en un año normal, oscila entre los 450 a 500 mm.; las temperaturas del borde costero presentan una oscilación térmica leve de 6,4°C a 13°C. Se debe destacar que el momento más frío del año está por sobre los 10°C, y la media del verano se encuentra en los 19°C; la humedad relativa promedio alcanza el 80% (GOBERNACIÓN PROVINCIAL DE SAN ANTONIO, 2001).

Desde el punto de vista geomorfológico, el área de estudio se caracteriza por presentar una terraza marina alta principal, con alturas que alcanzan los 200 metros, aproximadamente; la terraza media presenta alturas que oscilan entre los 100 y 120 metros; la terraza baja alcanza alturas de entre 30 y 50 metros (en el sector de Llolleo). El sector correspondiente a la playa de Llolleo comprende playa y dunas de inducción antrópica (ver Fig. 4)

En su curso inferior, el río Maipo presenta un encajonamiento, cuyo valle también resulta de la disección de planicies litorales; la distancia entre la terraza baja (T¹) es escasa y difícilmente llega al kilómetro. Hacia la desembocadura, el valle se ensancha y la distancia entre las terrazas alcanza unos 2 kilómetros, desarrollándose un fondo plano; sobre un lecho de arenas y rodados, el caudal presenta numerosas difluencias y anastomosamientos y sólo se unifica unos 2 kilómetros antes de llegar al mar (localidad de Tejas Verdes), donde el lecho alcanza un ancho de unos 100 a 200 mts. A partir de la Punta de Santo Domingo se desarrolla una flecha litoral que desvía el estuario hacia el norte y que tiende a romperse en casos de crecidas; además, se desarrolla una barra submarina que la corriente de deriva proyecta hacia el norte (ARAYA VERGARA, 1970) (ver Fig. 4).

FIG. 4: Situación del estuario del río Maipo



Leyenda

-  Playas y dunas de inducción antrópica
-  Playa de Lolleo
-  Flecha Litoral

Fuente: Araya Vergara, José, 1981.
El concepto de "delta en ría" y su significado en la evolución litoral (ejemplo de Chile Central).

Entre las características propias del estuario (en lo referente a la densidad), el Maipo presenta valores de sigma-T muy poco dispersos y muy bajos (-1,8 a -0,6 aprox.); ésto significa agua homogénea y de predominio netamente fluvial (ARAYA VERGARA, 1970); asimismo, el estuario del Maipo se caracteriza por presentar la excesiva turbidez que llevan las aguas de crecidas, debido a sólidos en suspensión y al gran arrastre de fondo.

De esta manera, se hace necesario el estudio del sistema estuarial del río Maipo, dado que se localiza en una región transicional entre las rías colmatadas del Norte Chico y los deltas estuariales de Chile Central; por ello, tiene rasgos de ambos tipos de sistemas. Es así como los deltas en ría están condicionados por influencias morfoclimáticas; las paleorías de Chile semi-árido muestran un relleno más perfecto. Este dominio llega inclusive, hasta el Maipo; sin embargo, el dominio de los deltas en ría parece corresponder al área de transición entre el semiárido y el húmedo. En este último, los deltas en ría tienden a ser reemplazados por rías, debido a un mayor enriado, menor carga sólida y posiblemente a una tendencia subsidiente actual de la costa (ARAYA VERGARA, 1981).

3. Procedimientos.

Para la consecución del presente trabajo de investigación, se procedió a llevar a adelante los siguientes pasos:

- La observación de la **evolución de los rasgos morfológicos** se llevó a cabo a través de la utilización de cartas topográficas, cartas náuticas y fotografías aéreas, como se detalla a continuación:
 - Carta Topográfica, 1: 25.000, San Antonio-Cartajena/San Juan i La Boca, 1904.
 - Atlas del Puerto, Gerardo Von Broekman, 1908.
 - Fotografía aérea 1 : 20.000, SAF, 1976.
 - Fotografía aérea 1 : 60.000, SAF, 1983.
 - Carta Topográfica 1 : 50.000, San Antonio, IGM, 1986.
 - Fotografías aéreas 1 : 8000, SAF, 1990.
 - Fotografía aérea, 1 : 20.000, SAF, 1992.
 - Carta Topográfica 1 : 25.000, San Antonio, IGM, 1996.
 - Carta Base del proyecto OTAS, 1997.
 - Fotografías aéreas 1 : 5000, SAF, 1998.

Con este material se procedió a un levantamiento geomorfológico , lo que permitió conocer aspectos del sector de la desembocadura del río Maipo.

- La **zonación del sistema** , con lo cual se distinguieron los diferentes componentes geomorfológicos y sus tendencias al cambio (con especial énfasis en las transformaciones ocurridas debido a las obras portuarias), se hizo según la sistemática de ARAYA VERGARA (1981), con el cual se procedió a ejecutar un levantamiento geomorfológico del sector de desembocadura del río Maipo, con análisis de fotos aéreas y cartas topográficas anteriormente señaladas. De esta manera, se usará un modelo morfológico conceptual general, en el cual se clasificó el sistema estuarial en las siguientes zonas: proximal, media y distal.

Junto a lo anterior, se utilizaron los trabajos de COOPER (1994 y 2001), para determinar bajo qué influencia (fluvial, olas o mareas) se encuentra el sistema estudiado. Este autor revisa la morfología estuarial en función de la importancia relativa del río, las olas y la energía de las mareas.

De la misma manera, se procedió a efectuar visitas a terreno para corroborar la información recopilada.

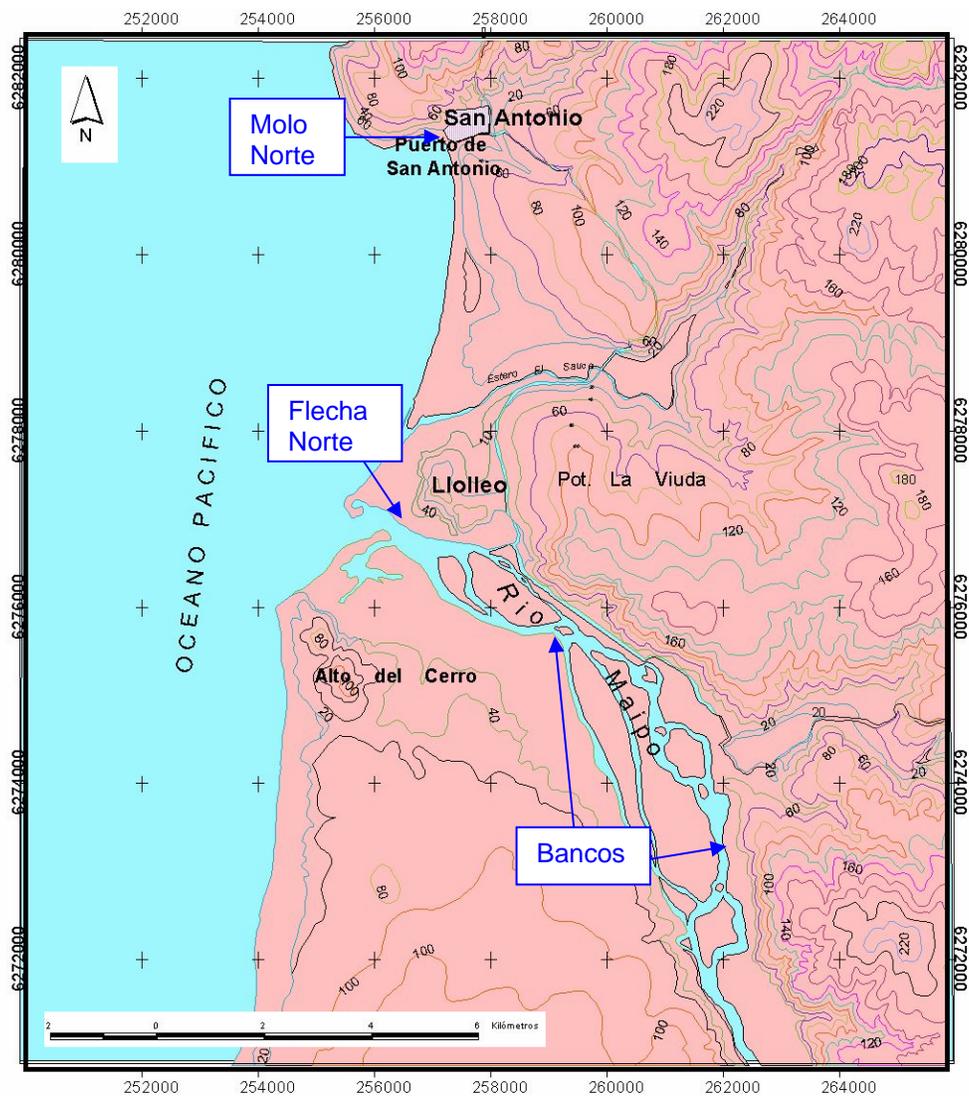
III. RESULTADOS

1. Tendencia evolutiva del estuario del río Maipo e impactos morfológicos de las obras portuarias.

Para desarrollar este punto, a continuación se mostrarán distintas cartografías y croquis del área de estudio en orden cronológico, con su correspondiente análisis, para así vislumbrar los mayores cambios morfológicos ocurridos en la zona.

♦ Carta San Antonio, 1904.

Fig. 5: Situación del puerto en el año 1904.



Fuente: Planchetas 1:25.000.-, cartas San Antonio-Cartajena y San Juan i La Boca, 1904.

De acuerdo con la Fig. 5, y desde el punto de vista de la infraestructura portuaria, se deja ver la existencia del molo norte (Puerto Viejo) en San Antonio; junto a ello, el asentamiento urbano de San Antonio quedaba reducido a una pequeña extensión, cuya localización estaba estrechamente relacionada con el puerto.

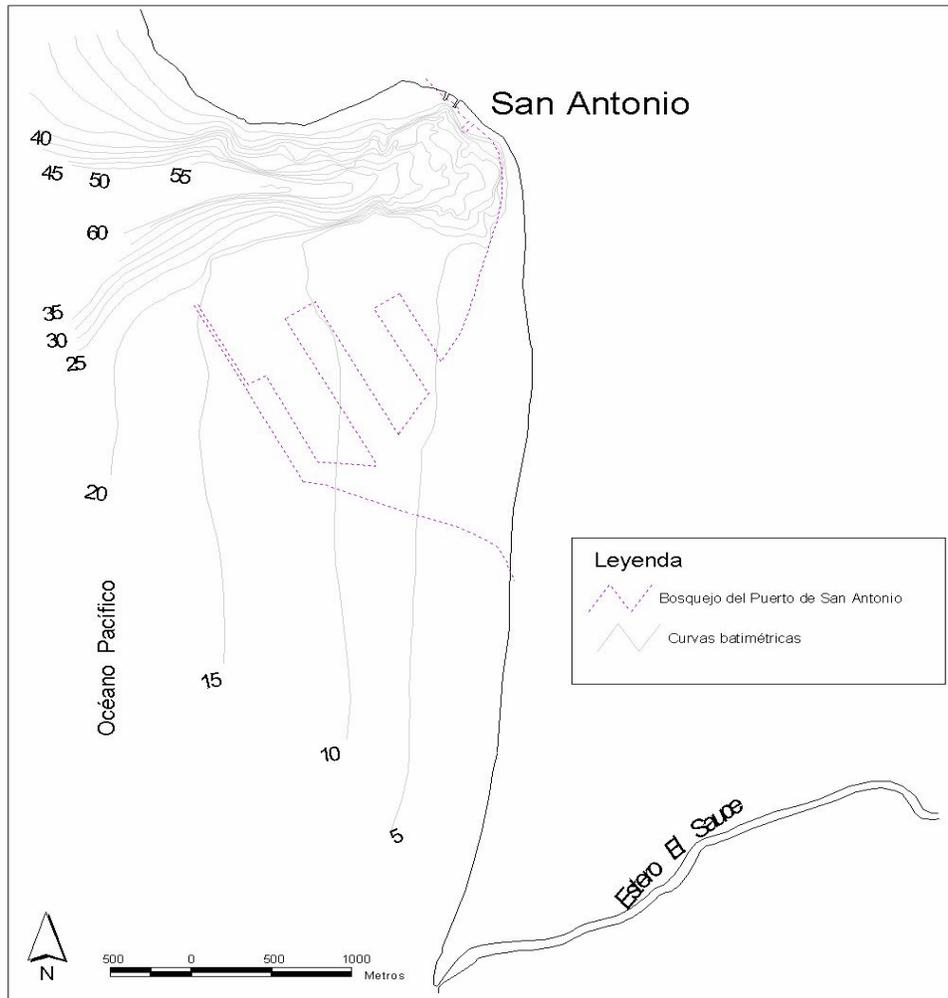
Desde el punto de vista morfológico, la figura deja entrever la existencia de una línea costera continua, extendiéndose casi sin accidentes desde el Puerto Viejo hasta la desembocadura del río Maipo; la bahía se podía extender hasta el sector sur del río (correspondiente a Alto del Cerro, hoy Rocas de Santo Domingo).

El estero El Sauce, por su parte, luego de atravesar el bloque costero desemboca directamente en el mar donde una pequeña flecha lo desvía hacia el Norte, situación que variará en el tiempo y que se explicará en el desarrollo del presente trabajo. En lo concerniente a la situación del sistema del río Maipo, para ese año, se puede considerar la existencia de grandes bancos en la ría, señalando canales difluentes que no alcanzan a transformarse en anastomosamiento completo. Cabe destacar la existencia de flechas litorales en la boca del sistema; la flecha norte está claramente desarrollada, con un encorvamiento de su punta hacia el interior del sistema estuarial; puede inferirse la existencia de una flecha sur.

◆ **Carta San Antonio, 1908.**

De acuerdo con la Fig. 6, se puede decir que la situación morfológica no varía, puesto que el estero sigue su curso hacia el mar; sólo se observa una pequeña diferencia con respecto a 1904 en su parte distal, ya que se encorva hacia el Sur.

Fig. 6: Bosquejo del Puerto, 1908.



Fuente: *Atlas del Puerto, Gerardo Van Broekman, 1908.*

Lo más significativo de esta carta, es que señala el bosquejo del puerto propuesto por el ingeniero Gerardo Van Broekman, el cual denota la ubicación ideal que debería tener la ampliación del puerto para ese año, el cual comprendía, desde luego, las obras de abrigo indispensables y además 630 metros de malecones para el atraque de buques. Los requerimientos para ese año decían relación con la construcción de un gran malecón desde la playa mar adentro, que debía cumplir la función de rompeolas.

Se destacan las curvas batimétricas que son de vital importancia para explicar los procesos posteriores de transporte de sedimentos (progradación). En la figura, se destaca que el puerto sería ampliado en un área cuya profundidad debía variar entre los 0 y 15 metros, encerrando el valle submarino de San Antonio.

◆ **Croquis del puerto, años 1917 y 1939.**

Fig. 7: San Antonio, 1917.

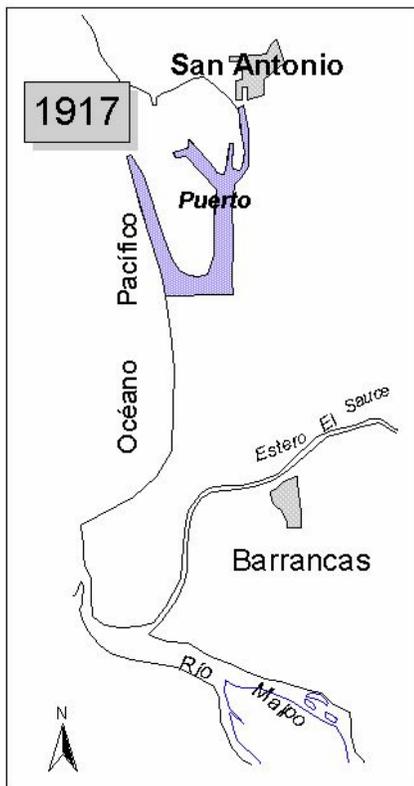
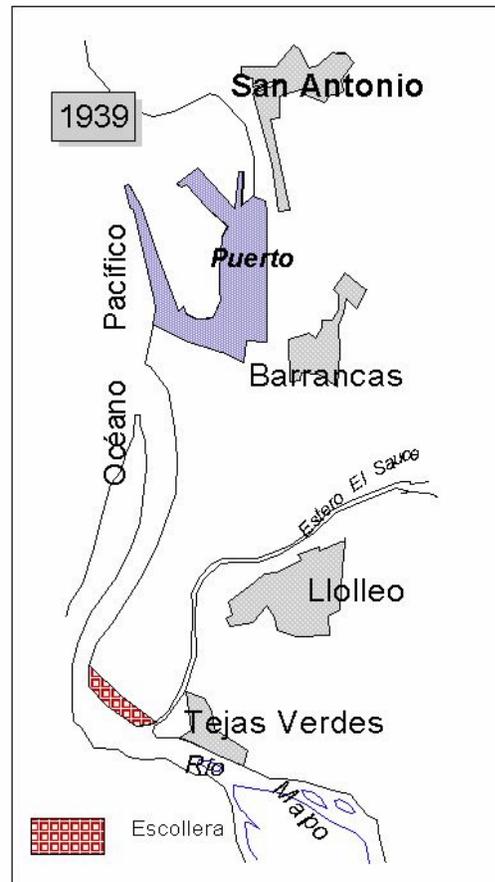


Fig. 8: San Antonio, 1939.



Fuente: Elaborado por la autora a partir del trabajo de Pomar, 1963.

En el caso de 1917 (Fig. 7) , se ve que la morfología cercana al puerto (cuyas obras comenzaron el 05 de Mayo de 1912 y terminadas en 1916) sufre notables modificaciones. Por una parte, comienza a producirse una acumulación de sedimentos desde el rompeolas hasta la desembocadura del río Maipo. Este proceso, denominado *progradación*, es el resultado de la interacción entre la deriva litoral y la gran cantidad de sedimentos que transporta el Maipo hacia el mar; dicho proceso se ve favorecido por la poca profundidad que presenta el fondo oceánico en ese sector, lo que permite la acumulación de sedimentos (junto con la existencia del molo sur, el cual constituye un fuerte regulador de presencia, dado que su objetivo es precisamente frenar el transporte de sedimentos y evitar que el fuerte oleaje ingrese al puerto).

Como resultado de dicho proceso, en la misma figura se ve cómo cambia el sentido de la desembocadura del Estero El Sauce. Este, como se aprecia en las Figuras 5 y 6, desembocaba directamente en el mar; sin embargo, cambia su curso y vierte sus aguas en el río Maipo (Fig. 7). Éste es el cambio más notorio con respecto a las cartas anteriores y está estrechamente ligado a la acción portuaria. Asimismo, se denota un crecimiento espacial de la ciudad de San Antonio y el surgimiento de la localidad de la localidad de Barrancas.

Por último, en la Fig. 8 se ve el la consolidación de la ciudad de San Antonio y la aparición de otros centros poblados, como Llolleo y Tejas Verdes.

◆ **Croquis del puerto, años 1950 y 1965.**

Fig. 9: San Antonio, 1950.

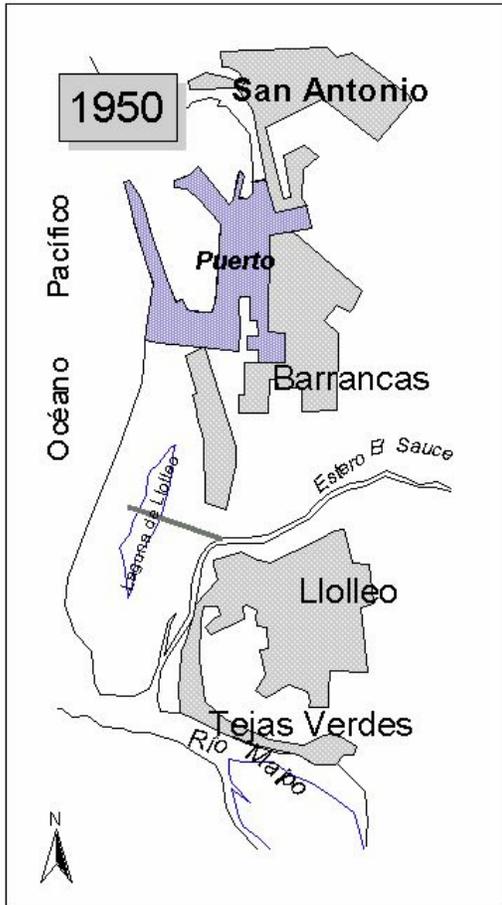
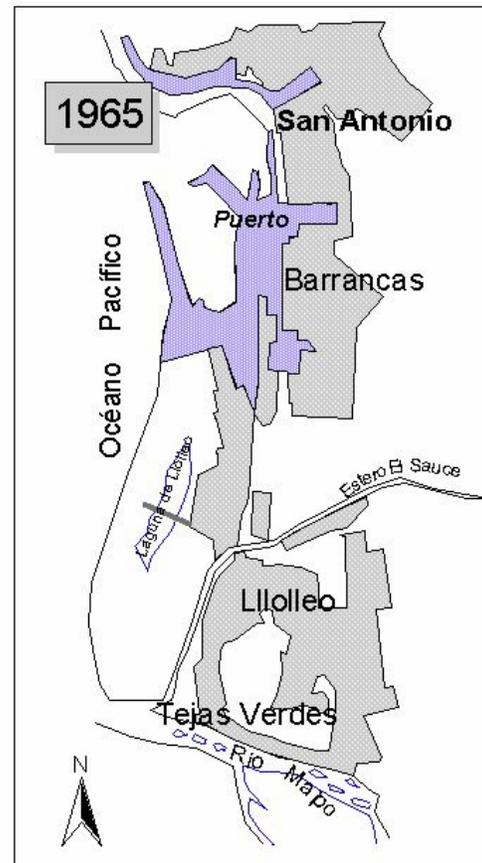


Fig. 10: San Antonio, 1965.



Fuente: Elaborado por la autora a partir de las observaciones de Pomar (1963)

De acuerdo a la Fig. 9, se tiene que el cordón de guijarros y arenas que se desplazaba paralelo a la línea de costa, se cierra atrapando un cuerpo de agua conformando un alaguna litoral (laguna de Lillole). De esta forma, se hace notar la fuerte influencia que le cabe al Departamento de Puertos en la regularización de la costa y sus resultados en la morfología litoral.

En la misma figura, se hace notar en crecimiento de la infraestructura portuaria y de los centros poblados (Barrancas, Lillole y Tejas Verdes).

En la Fig. 10 se ve claramente el crecimiento de la infraestructura portuaria, tanto hacia al norte como hacia el sur del emplazamiento inicial; de la misma forma se ve un crecimiento de las localidades urbanas.

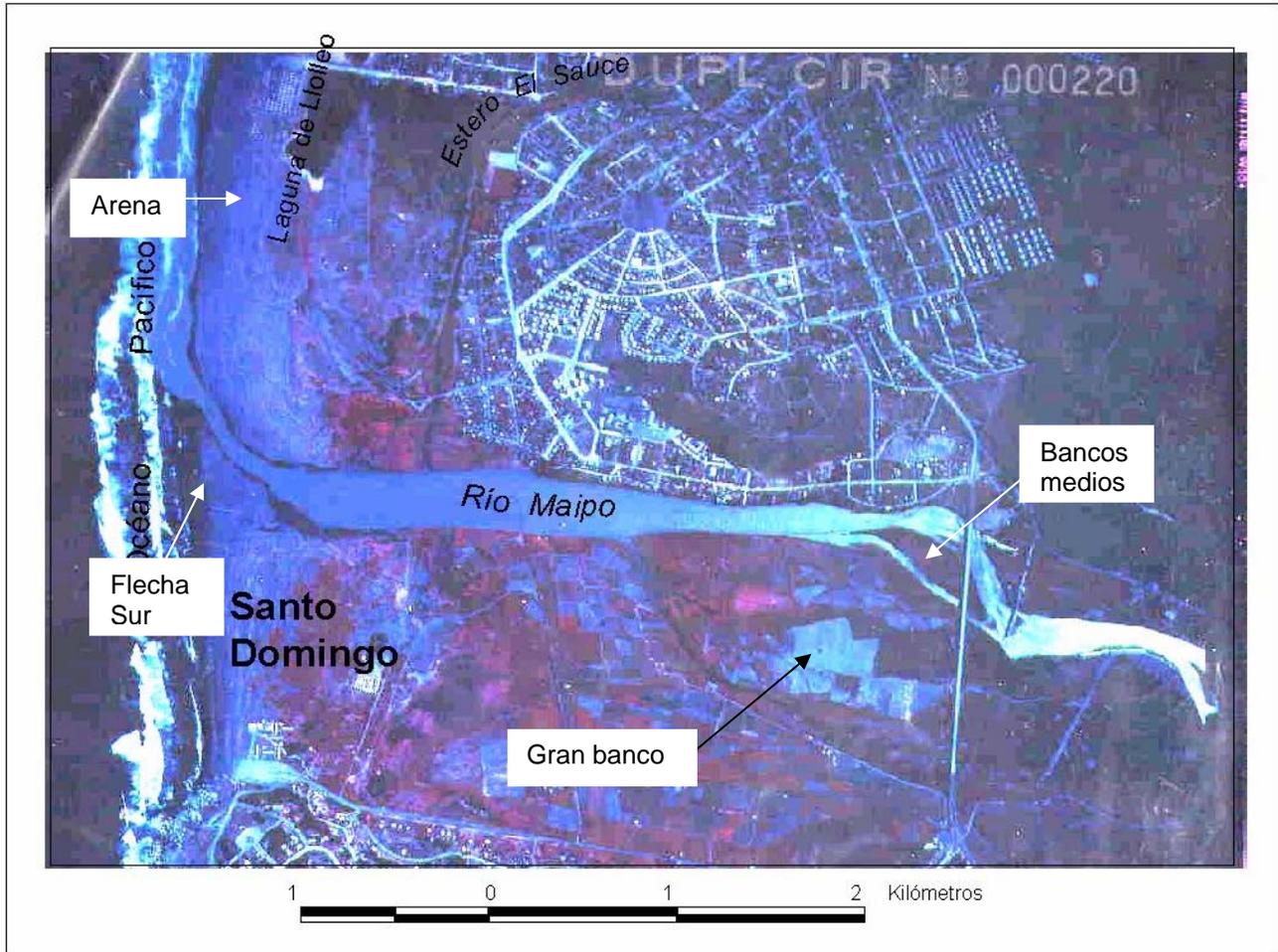
Por último, el estuario del Maipo aparece (como lo hace en las anteriores figuras) con un gran banco, pero especialmente en este año (1965) se destaca la aparición de bancos más pequeños.

Lo que la figura no muestra, pero que es de vital importancia, es un *delta distal*; su formación ha estado condicionada por la acreción de cordones litorales en relación a un proceso de regulación (ARAYA VERGARA, 1981) (en la segunda parte se explicará con más detalle este fenómeno).

A continuación, se analizarán croquis de fotografías aéreas y de cartas topográficas con énfasis en el sistema del río Maipo.

◆ **San Antonio, 1976.**

Fig. 11: Sistema del río Maipo.



Fuente: Fotografía aérea 1 . 20.000.- SAF, 1976.

De acuerdo con la Fig. 11, se puede considerar el desarrollo de la flecha sur, en detrimento de la flecha norte, la cual no se desarrolla. La boca del estuario se presenta muy angosta y con dirección al Norte, lo que hace inferir la importancia de la deriva litoral, la cual arrastra los sedimentos hacia esa dirección; a ésto se une la inexistencia de bancos hasta unos 2 a 3 kilómetros hacia el interior.

◆ **San Antonio, 1983.**

Fig. 12: Situación del puerto y del río Maipo.



Fuente: Fotografía aérea 1 : 60.000.-, SAF, 1983.

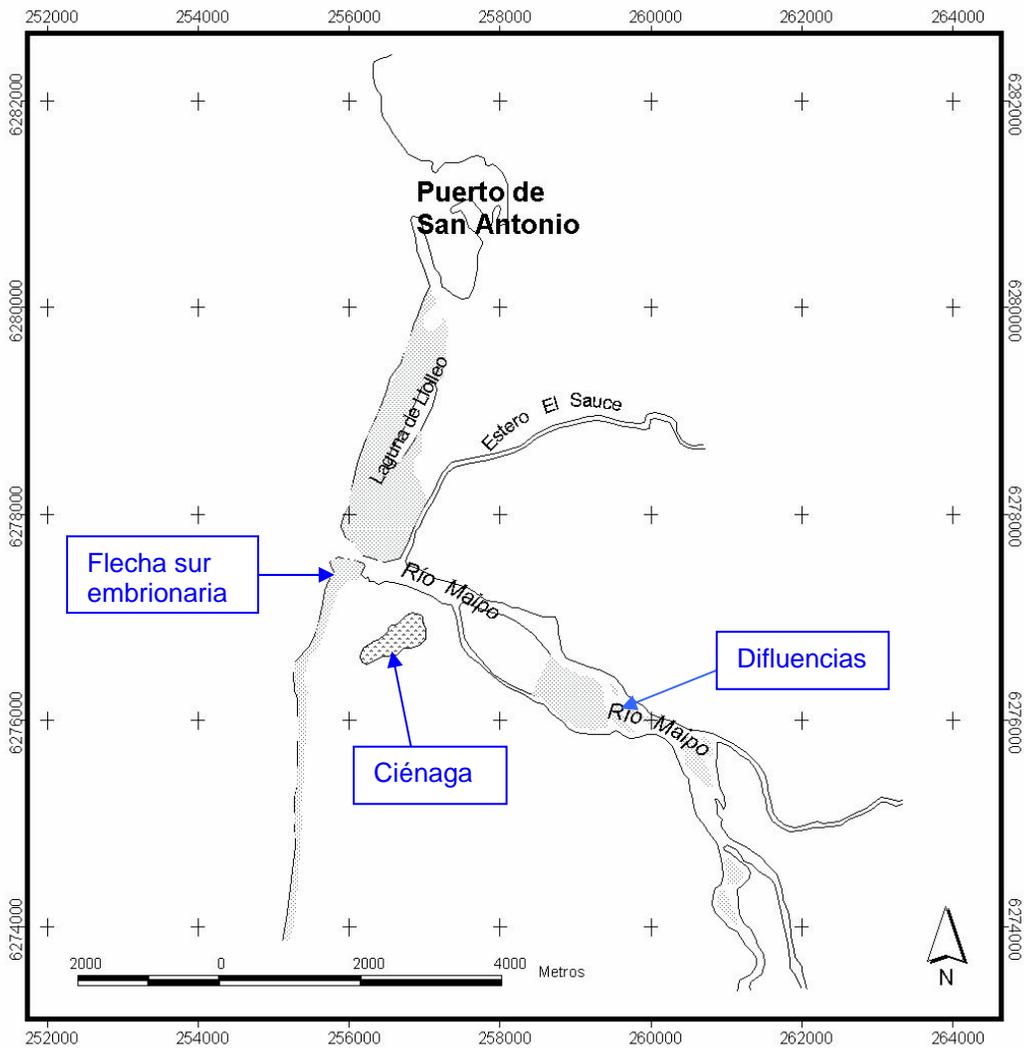
En la situación de la Fig. 12, se nota la ausencia de flecha litoral, lo cual puede tener dos explicaciones: por un lado, el caudal del río pudo crecer a tal nivel que arrasó con la acumulación de arena en la parte distal. Aparte de esto,

pudo ocurrir un fenómeno que no es excluyente del anteriormente señalado, el cual corresponde a un fuerte oleaje. Estos procesos pueden combinarse hasta hacer desaparecer la flecha litoral; hay que tener en cuenta que este hecho es un fenómeno oscilatorio, por lo que la flecha puede volver a formarse.

Asimismo, en la carta se puede notar el anastomosamiento que presenta el curso del río hacia el interior (en dirección al Este).

◆ **Croquis San Antonio, 1986.**

Fig. 13: Situación del puerto y del río Maipo.

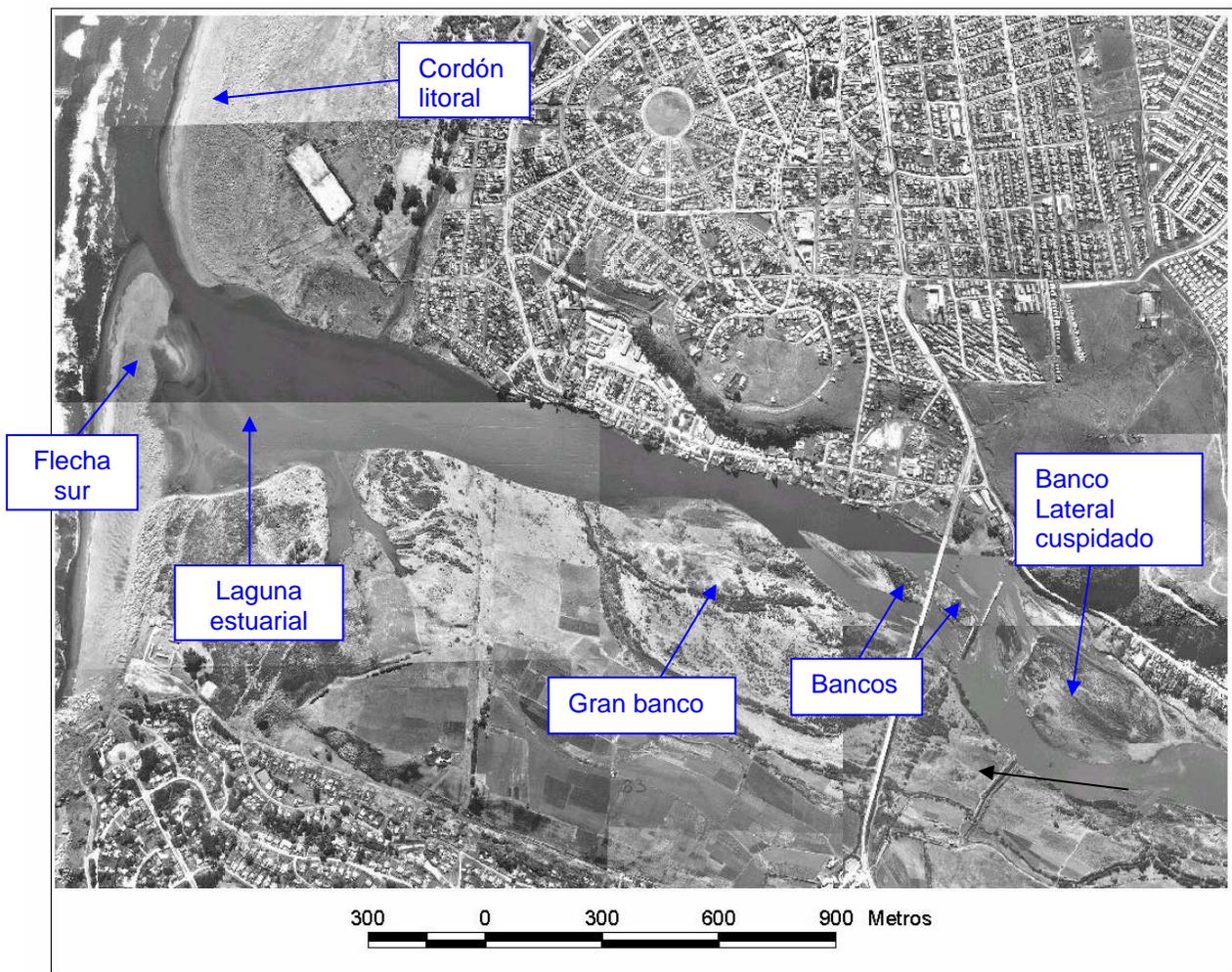


Fuente: Carta Topográfica San Antonio, 1 : 50.000.-, I.G.M., 1986

En la Fig. 13 es posible notar cómo comienza a formarse la flecha sur, lo que quiere indicar una retroalimentación del sistema. Junto a ello, se puede agregar la individualización del gran banco estuarial por difluencia, el cual se separa de la terraza más baja. Hacia al interior del sistema estuarial, se pueden visualizar bancos medios, los cuales dan paso a difluencias, indicando una mayor carga de sedimentos; asimismo, surge una nueva forma: la ciénaga, la cual se originó por el cierre de la entrante (que se puede visualizar en la Fig. 12) producto del mayor flujo de sedimentos por parte del río.

◆ **San Antonio, 1990.**

Fig. 14: Situación del puerto y del río Maipo.



Fuente: Fotografías aéreas 1: 8.000.-, SAF, 1990.

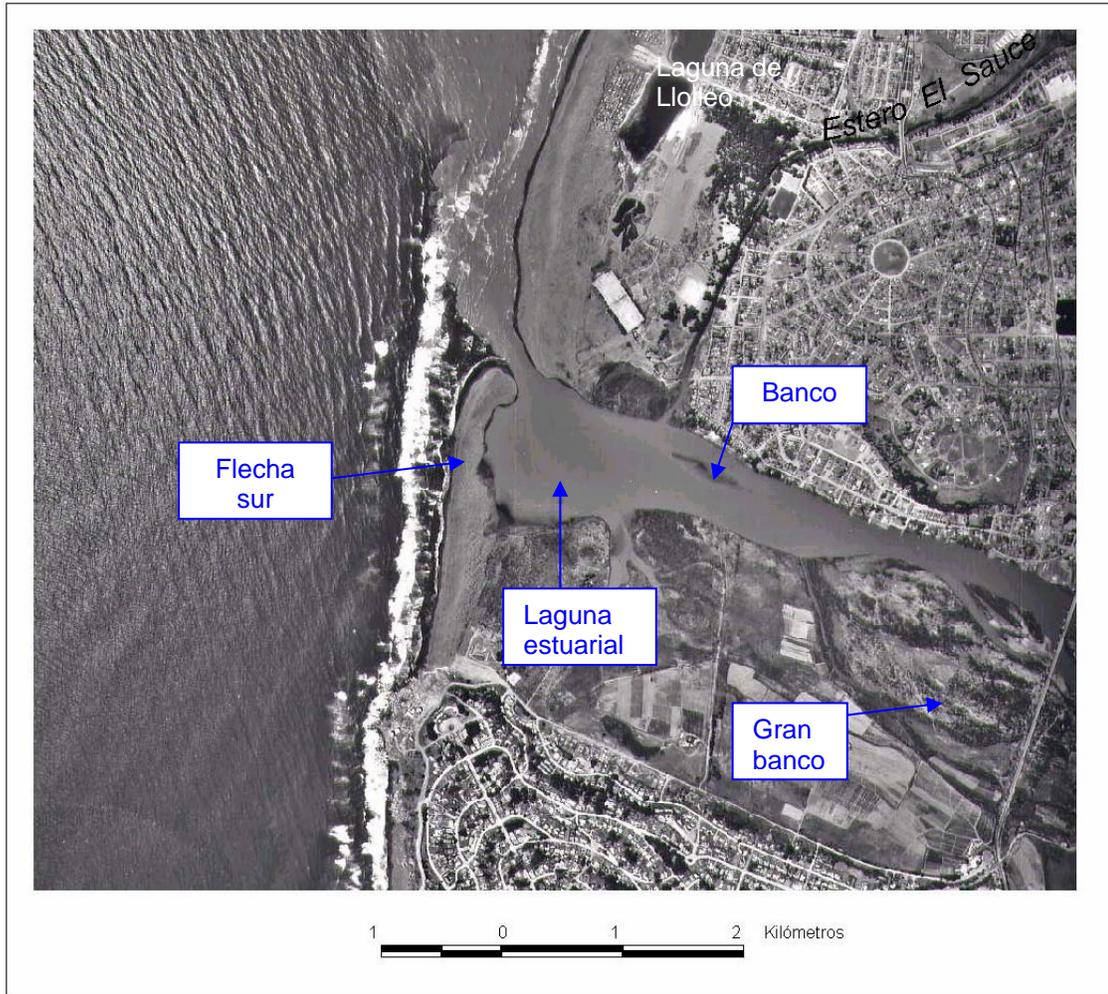
Lo más significativo que se aprecia en la Fig. 14, es el creciente desarrollo de la flecha sur, cuyo proceso de formación ya se ha explicado. Se ve una tendencia parecida (pero no exacta) a la situación ocurrida en 1976 (Fig.11), en donde el desarrollo de la flecha sur también fue importante.

Sin embargo, la forma de la flecha varía entre estos dos años; en 1990, la flecha casi encierra la laguna estuarial, la cual presenta un ancho mayor que en 1976, año en el cual la laguna es muy angosta. En lo que coinciden ambas cartas es en la forma que presenta la boca del estuario, la cual es estrecha en los dos años comparados.

En 1990, en la zona media del estuario, es posible identificar bancos medios, lo que indica la enorme cantidad de sedimentos que acarreó el río en esta fecha; asimismo, es posible identificar bancos laterales cuspidados, los cuales son característicos del ambiente fluvio-marino de los estuarios.

◆ **San Antonio, 1992.**

Fig. 15: Sistema río Maipo.



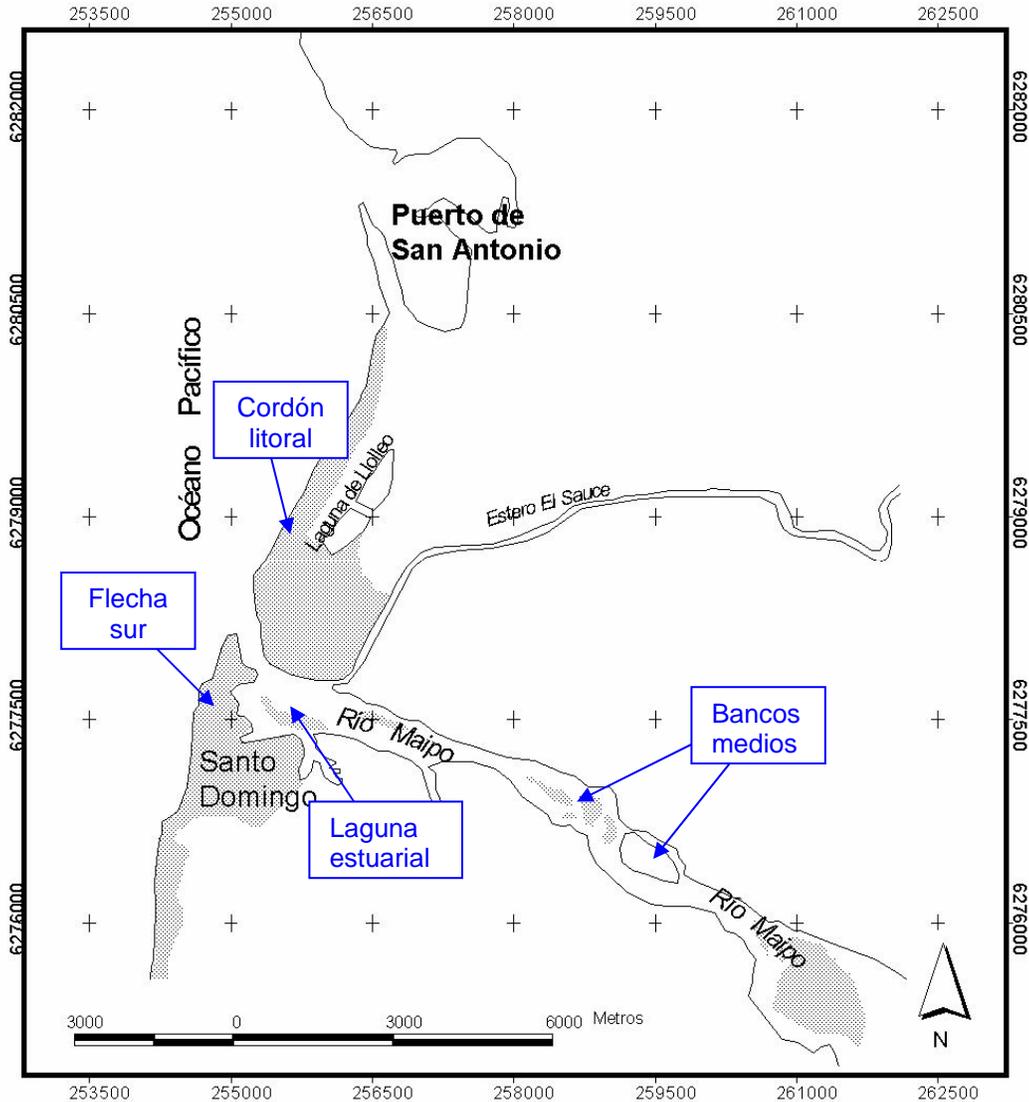
Fuente: Fotografía aérea 1 : 20.000.-, SAF, 1992.

En la Fig. 15 es posible identificar un encorvamiento de la punta de la flecha hacia el interior del estuario; éste, producido por la refracción del oleaje, deja en evidencia la influencia marina en el sistema.

En la figura es posible identificar la existencia de un banco cerca de la desembocadura del Estero El Sauce, próximo a la boca del estuario; esta forma no se había presentado en las figuras anteriores. Esta situación deja en evidencia, tanto el aumento de la carga de sedimentos, como la poca competencia del río para transportarlos.

◆ Croquis San Antonio, 1996.

Fig. 16: Situación del puerto y del río Maipo.

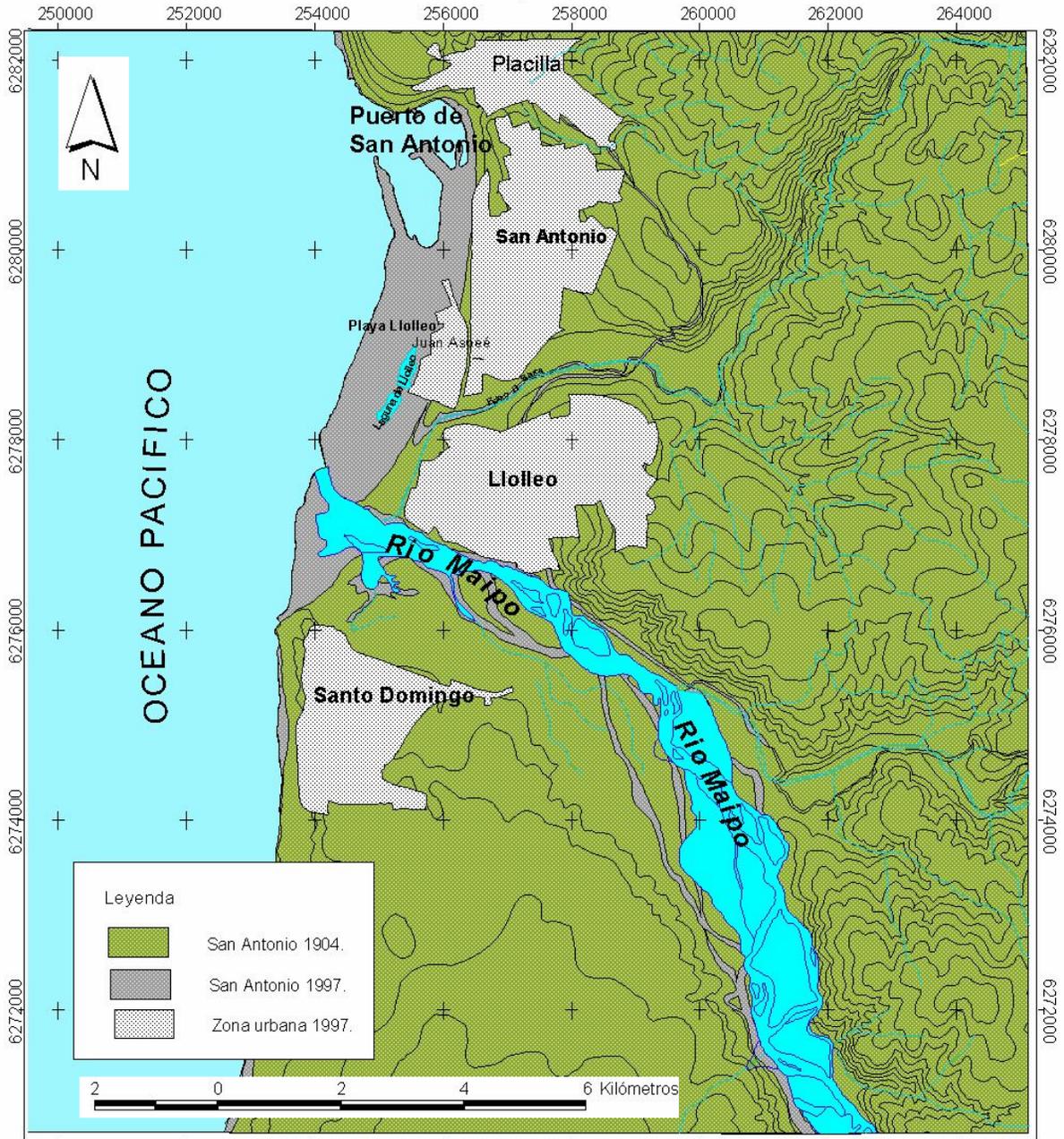


Fuente: Carta Topográfica San Antonio 1 : 25.000.-, I.G.M., 1996.

En la Fig.16, se sigue notando la existencia de la flecha sur, pero lo más significativo es la aparición de una mayor cantidad de bancos medios, por lo que se puede afirmar (al igual que en el caso anterior) que las condiciones hidrodinámicas del estuario no son competentes con la cantidad de sedimentos transportados.

◆ **Carta 1904 y 1997.**

Fig. 17: Superposición de mapas de San Antonio, años 1904 y 1997.



Fuente: Carta 1904: Planchetas 1 : 25.000., 1904-; carta 1997: Cartografía digital, Proyecto OTAS, 1997.

En la figura 17, se puede tener una visión más general del avance del litoral, en particular de la playa de Lolloe sobre la plataforma sur. De la misma manera se nota la estabilización de la flecha sur, la cual se forma a partir del cordón localizado al norte de Santo Domingo (a pesar de su desaparición en ocasiones, tal como se ha visto a lo largo de las cartas analizadas).

La situación actual del sector portuario se puede ver en la siguiente fotografía:

Fig. 18: Vista del sector portuario.



Fuente: Fotografía tomada por el profesor José Araya Vergara, desde el mirador de San Antonio, 2003.

2. Situación actual del estuario y su clasificación.

◆ Papel de las obras portuarias:

A partir de la revisión y observación detallada del material recopilado, se puede decir que las obras portuarias tuvieron un impacto directo en el cambio de la línea litoral, particularmente en el sistema estuarial del Maipo.

Este impacto queda reflejado en la acreción de la playa de Lolloe y en las formas nuevas que se fueron originando (laguna litoral); en este sector, las áreas que ocupaban la cota 0 en el año 1996, antes de 1908 tenían -10 ó -15 metros de profundidad.

En lo que respecta al estuario del Maipo, se puede señalar que la boca de éste sufrió un proceso de transmutación (cambio de lugar) dado el aporte de material por parte del río, el cual condicionó la acreción de la playa de Lolloe. Junto a ello, hay que agregar la estabilización del cordón localizado en la ribera sur del río Maipo (Santo Domingo), lo que se pudo percibir en la Fig. 17; todo ello, asociado al avance del litoral.

◆ Componentes del estuario:

De acuerdo a la clasificación realizada por ARAYA VERGARA (1981), se determinaron las tres zonas en el sistema del río Maipo (Fig. 19):

- a) *Zona proximal*, en que el principal elemento está constituido por los meandros estuariales.
- b) *Zona media*, en la que lo principal es el delta estuarial.
- c) *Zona distal*, que contiene la laguna estuarial y la flecha marina.

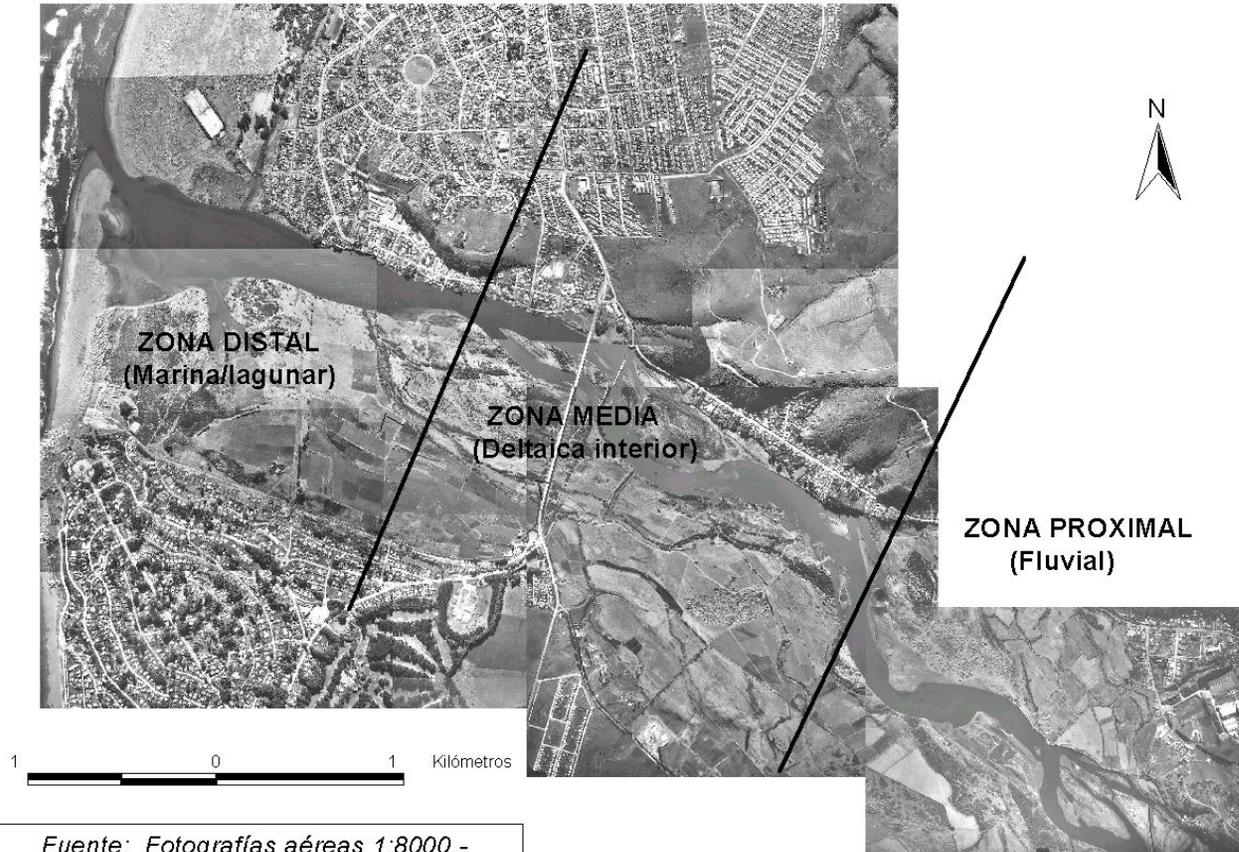
Cada una de estas zonas poseen las siguientes características (ver Fig. 20):

- a) Zona proximal:** en el caso del Maipo, se pudo determinar la existencia de meandros estuariales, en el sector de San Juan, lugar en el cual el río se transforma en un canal rectilíneo de anchura considerable. Estos meandros deben sus características a la acción de las corrientes de flujo y de reflujo, las cuales están relacionadas con la acción fluvial y la acción marina. Entre esas características está la forma que presentan, la cual es ancha en la parte central y angosta en los extremos; asimismo, los bancos laterales presentan una forma cuspidada, es decir, en cuernos.

- b) Zona media:** se determina a través de un cambio en el patrón de los canales, aguas debajo de la zona de meandros estuariales. En el caso del Maipo, se nota el paso hacia una zona con una mayor cantidad de canales anastomosados, los cuales pierden su curvatura hacia un canal único hacia el mar.
- c) Zona distal:** según las observaciones, es posible identificar la existencia de una laguna estuarial, la cual se localiza entre la parte distal de la zona deltaica y una flecha en la desembocadura. Las flechas se edifican con los aportes de la deriva litoral (en el caso de las costas chilenas, ésta tiene un sentido de Sur a Norte), la cual transporta sedimentos de la prolongación del cordón litoral existente más al Sur; las olas empujan estos sedimentos hacia la costa en forma de flecha, con su punta libre dando cara al oleaje y alargada en el mismo sentido que la playa de la que proceden los materiales. Su encorvadura, a modo de gancho hacia el interior de la entrante, se explica por la refracción del oleaje.

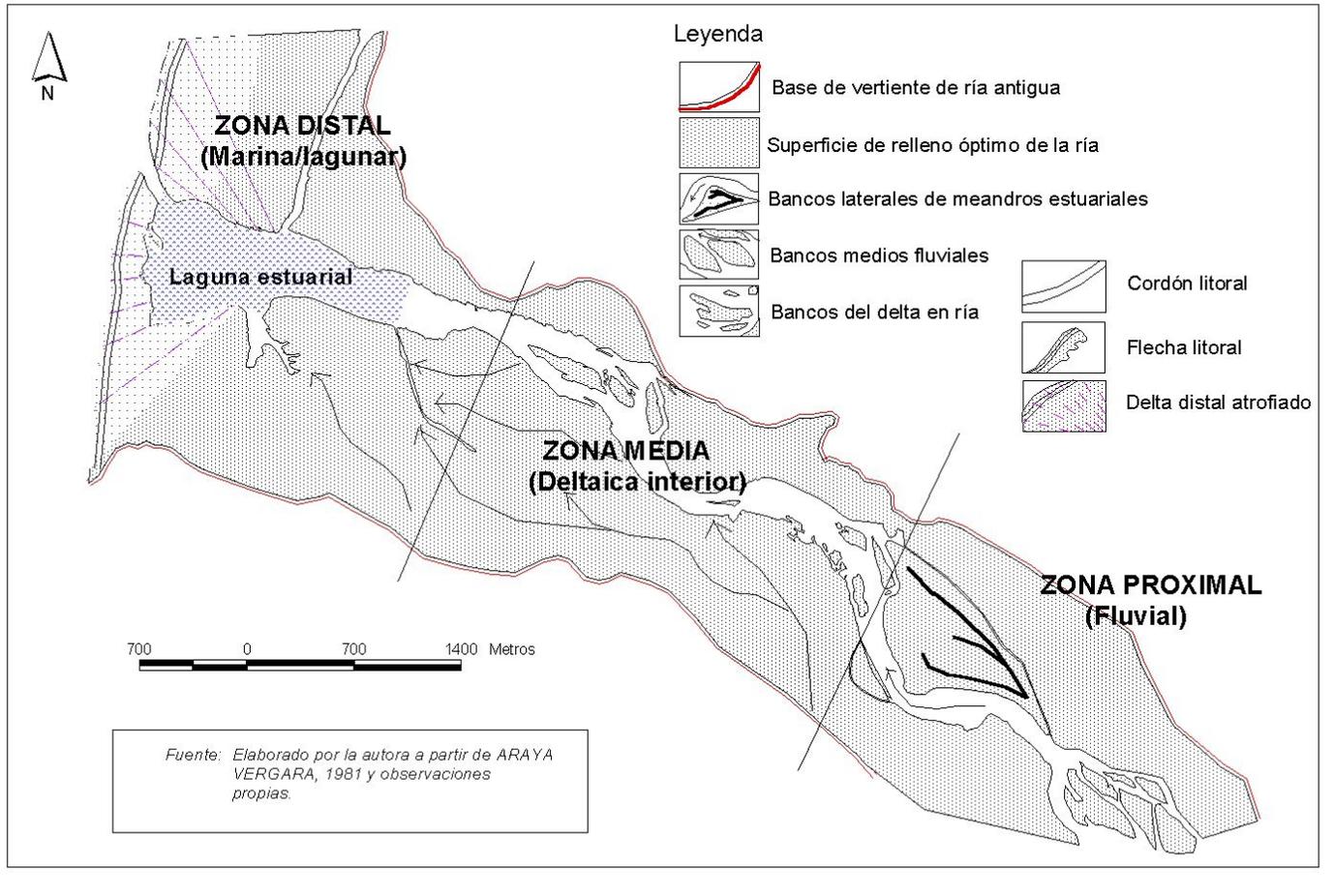
Las flechas litorales son formas efímeras, no son indefinidas; pueden desaparecer, ya sea por el fuerte oleaje, como por una abrupta crecida del río.

Figura 19: ZONACIÓN DEL SISTEMA RÍO MAIPO



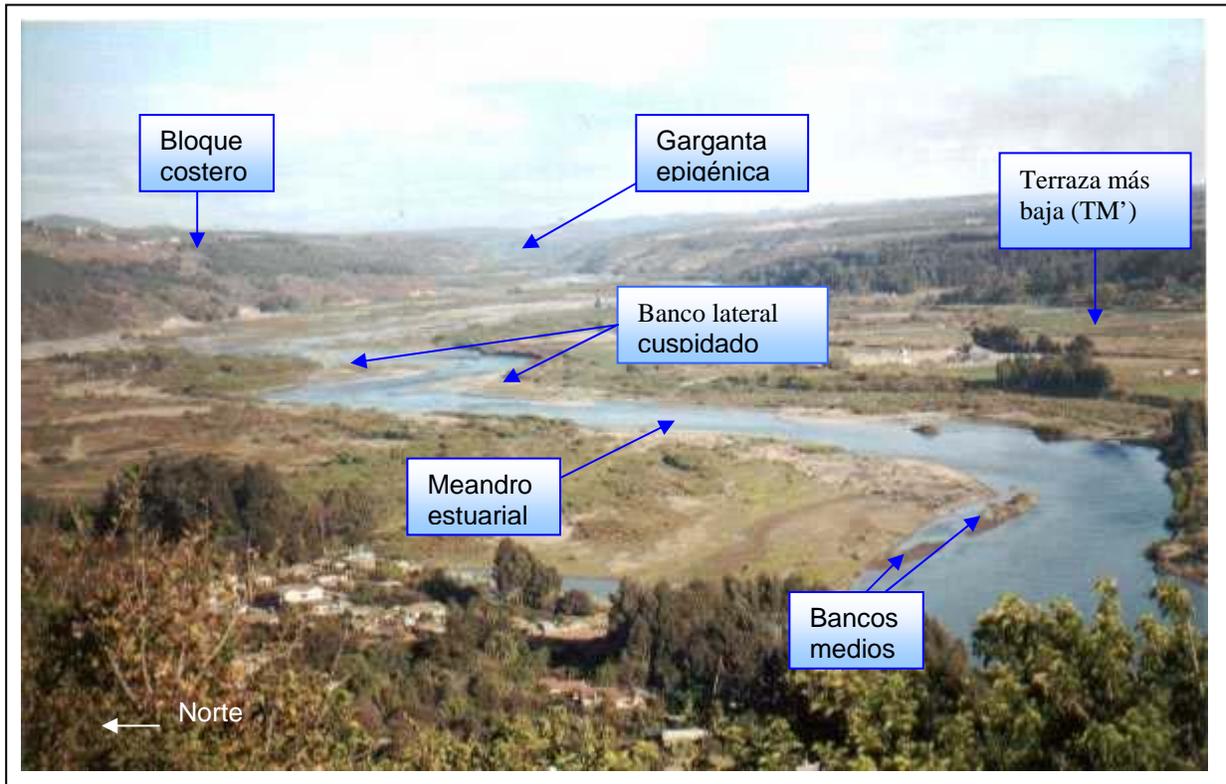
Fuente: Fotografías aéreas 1:8000.-
SAF., 1990.

Figura 20: Elementos constituyentes en cada zona



Como una manera de mostrar con mayor nitidez las formas, se tienen las fotografías de las figuras 21 y 22:

Fig. 21: Vista del río Maipo hacia el interior (atravesando el bloque costero).

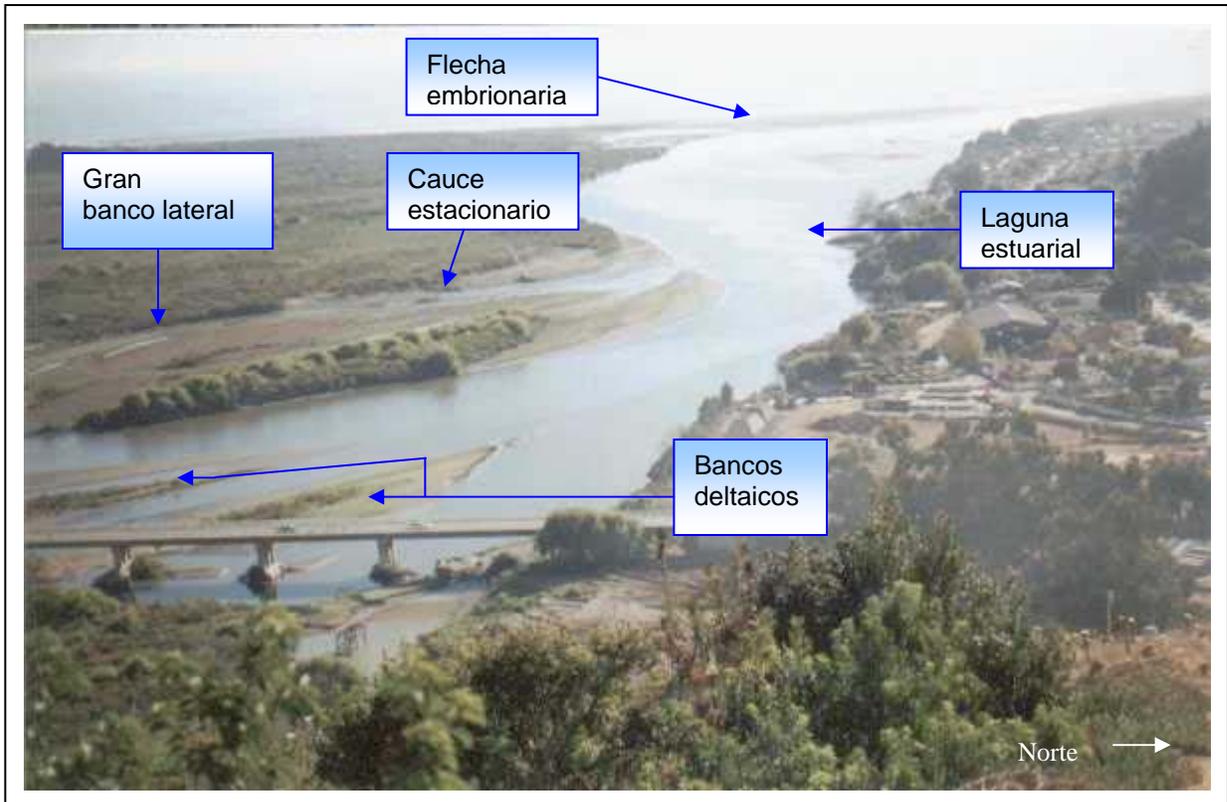


Fuente: Fotografía tomada por el profesor José Araya Vargara desde el sector de Tejas Verdes, 2003.

En la Fig. 21 se pueden identificar meandros estuariales, bancos medios, bancos laterales cuspidados, en lo que correspondería a la zona proximal y media del estuario.}

Es importante señalar cómo el río Maipo atraviesa el bloque costero a través de una garganta epigénica, antes de entrar al estuario.

Fig. 22: Vista del río Maipo hacia su desembocadura.



Fuente: Fotografía tomada por el profesor José Araya Vergara, desde el sector de Tejas Verdes, 2003.

En la Fig. 22, se puede notar la desembocadura del río Maipo hacia el mar, notándose una flecha litoral en formación, un canal de crecida que en ocasiones separa el gran banco lateral de la terraza más baja; asimismo, se pueden notar bancos deltaicos.

Es así como la fotografía deja ver la zona media y la zona distal del estuario del Maipo.

IV. Discusión

De los resultados obtenidos, se puede decir que el estuario del río Maipo presenta características propias, por lo cual es difícil insertarlo en un modelo en especial. Al respecto, COOPER (1994) posiciona a los sistemas estuariales de Chile Central como “*estuarios dominados por el río*”, lo que podría ser aplicable al estuario del Maipo, por cuanto trabajos de ARAYA VERGARA (por ejemplo en 1970) indican que la salinidad en esta zona presentó valores muy bajos (2 por 1000); junto a ello, los valores de sigma-T se presentaron muy bajos y poco dispersos.

Sin embargo, estas afirmaciones no son totalmente aplicables al estado actual del estuario del Maipo, ya que los datos recogidos corresponden a un momento distinto al actual, es decir, no se puede generalizar, pues depende (entre otros factores) de la estación y momento del día en el cual se hicieron las mediciones. Junto a esto, hay que agregar que para el estado actual del estuario, no se hicieron mediciones de densidad, por lo que no se pueden comparar datos.

No hay que olvidar que el modelo de COOPER incluye análisis granulométrico y contenido orgánico del estuario, aspectos que no fueron analizados en el presente trabajo, por lo cual quedan variables que no son trabajadas. Además, el estuario del Maipo presenta cambios más frecuentes que las imágenes revisadas, por lo que para poder clasificarlo con mayor propiedad, se hace necesario un análisis con una mayor cantidad de material, principalmente, fotografías aéreas.

Por otra parte, las dos clasificaciones de estuario de DALRYMPLE *et al.* (1992) podrían aplicarse al estuario del río Maipo, pero no de manera excluyente, pues va a depender del momento en que se hagan las observaciones. Así, el estuario podría estar dominado por las olas en el momento en que éstas edifican barras que impiden el ingreso de olas al estuario, como es el caso de algunas fotografías aéreas analizadas.

Del mismo modo, el estuario va a estar dominado por las mareas cuando se denota la ausencia de barreras en la boca del estuario. La clasificación de DALRYMPLE *et al.* (1992) no otorga importancia a la acción fluvial, por lo que no es totalmente aplicable al estuario del Maipo, ya que es una variable importante dentro del sistema.

Respecto al avance del litoral, el trabajo de POMAR (1963) ha sido de vital importancia para conocer cómo la construcción del Puerto de San Antonio

modificó la morfología aledaña a la desembocadura del río Maipo, y por ende, al estuario.

En el área estudiada existen formas que se han ido estabilizando, como lo son la laguna litoral, playa y cordones litorales, los cuales se han ido regularizando. Sin embargo, existen formas pertenecientes al estuario mismo que van cambiando (sucediéndose en el tiempo), las cuales dependen de las condiciones hídricas y del dominio morfoclimático. Así, se forman flechas litorales, las cuales desaparecen y se vuelven a formar; esto se relaciona con situaciones de equilibrio entre la energía del ambiente marino y fluvial (PERILLO, 1995 en CORTÉZ, 2002). La boca del estuario también sufre modificaciones, angostándose en algunos años y ensanchándose en otros.

En la actualidad, se puede decir que el sistema estuarial del río Maipo posee formas que fueron detectadas por ARAYA VERGARA (1981) y se incluye otra, como lo es la laguna estuarial, forma no detectada por el autor citado.

Además, existe una regularización de las formas principales, como por ejemplo, el gran banco localizado a unos 2 a 3 kilómetros de la boca del estuario, bancos medios, canales abandonados y difluencias (formas que se pueden identificar comúnmente y con mayor frecuencia a través del tiempo).

V. Conclusiones y Recomendaciones

De lo planteado, se puede señalar que la construcción del Puerto de San Antonio produjo cambios notables en el litoral, incluyendo al sistema estuarial del río Maipo. Éste, se comporta como un regulador, el cual aporta gran cantidad de material sólido que va permitiendo la estabilización de las formas aledañas al estuario.

El estuario, ha presentado una evolución de sus formas que están representadas por la estabilización de bancos, los cuales se pueden detectar por los canales abandonados; asimismo, se puede notar cómo el sistema se retroalimenta, específicamente por la existencia de flechas litorales, las cuales desaparecen en ciertos períodos de tiempo. Junto a ello, cerca de la boca del estuario también se da la aparición de bancos medios en ciertos períodos de tiempo; la boca se presenta en ocasiones muy cerrada y en otras muy abiertas.

De acuerdo a los planteamientos teóricos expuestos y lo analizado en las fotografías aéreas, el estuario del Maipo no se puede insertar sólo en un tipo de clasificación, sino que esta va a variar de acuerdo al momento en el cual se hagan las observaciones. Así, se podría denotar la importancia del río en el origen de algunas formas las formas, y la importancia de las olas, las cuales juegan un rol importante principalmente en la destrucción de flechas litorales y en ingreso de aguas salobres al estuario.

Respecto a este último punto, se recomienda tomar en cuenta el análisis del sistema del Maipo (en cuanto a sus características y funcionamiento), puesto que está contemplada una ampliación del puerto hasta la ribera norte del río, esta situación implicará nuevos impactos en la morfología. A esto se une el hecho que el área que se desea intervenir está compuesta principalmente por arenas y gravas, por lo que se hace necesario estabilizar aún más estas formas y así evitar situaciones como la acontecida en el año 1985 con el terremoto que azotó a la zona central y que dejó totalmente destruido el puerto.

De esta manera, el presente estudio sienta las bases para un mayor análisis del funcionamiento del estuario del río Maipo, lo cual puede conllevar al desarrollo de una Memoria en el cual se abarque ampliamente y con mayor profundidad el tema tratado en el trabajo realizado.

VI. Bibliografía

- 1) ANTHONY, E.J. y BLIVI A.B., 1999. Morphosedimentary evolution of a delta-sourced, drift-aligned sand barrier-lagoon complex, western Bight of Benin. *Marine Geology*, 158: 161-176.
- 2) ARAYA VERGARA, J.F, 1970. Contribución al estudio de los procesos estuariales en las desembocaduras de los ríos Rapel y Maipo. *Inform. Geogr., Chile*, 20: 17-38.
- 3) 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.
- 4) COOPER, J.A., 1994. Sedimentary processes in the river-dominated Mvoti estuary, South Africa. *Geomorphology*, 9: 271-300.
- 5) COOPER, J.A., 2001. Geomorphological variability among microtidal estuaries from the wave-dominated South African coast. *Geomorphology*, 40: 99-122.
- 6) COQUE, R., 1984. *Geomorfología*, Alianza Editorial, Madrid, 475 pp.
- 7) 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.
- 8) CORVALÁN, J., y MUNIZAGA, F., 1972. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín N°28, Editorial Universitaria, Santiago, 40 pp.
- 9) DALRYMPLE, R., ZAIMLN, B., BOYD, R., 1992. Estuarine facies models. Conceptual basis and stratigraphic implications. *J. Sedim. Petrol*, 62: 1130-1146.
- 10) GEORGE, P., 1991. *Diccionario de geografía*. Ediciones AKAL, París, 622 pp.
- 11) GOBERNACIÓN PROVINCIAL DE SAN ANTONIO, 2001. *Revista turística Provincia de San Antonio*. Editada por La Nación, Santiago.
- 12) GUILCHER., A., 1957. *Morfología litoral y submarina*. Ediciones Omega, Barcelona, 262 pp.

- 13) NIEMEYER, H. y CERECEDA, P., 1984. Hidrografía. En: Instituto Geográfico Militar (Ed), Santiago, 320 pp.
- 14) OTTMANN, F., 1967. Introducción a la geología marina y litoral, Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, 287 pp.
- 15) 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.