

Características hidrográficas y sedimentológicas en el estuario del río Aconcagua, Chile Central¹

Carolina Martínez², Carolina Cortez³

RESUMEN

Se presentan las características hidrográficas del estuario Aconcagua, en Chile Central (32° 55' S y 71° 30' 30" O), obtenidas en una campaña hidrográfica realizada en abril de 2001. En este estuario micromareal, se obtuvieron datos de batimetría, salinidad, temperatura, turbidez y sedimentos superficiales. Los resultados indican la presencia de una intrusión salina favorecida por la morfología del fondo, con tendencia al estado hipersincrónico. Se observó una estratificación de la columna de agua en profundidad y aumento de valores de salinidad indicando cuña salina. Al interior de la laguna estuarial somera (30 cm de profundidad), se observó abundancia de gravas, gravillas y arenas, mientras que asociadas a las mayores profundidades (hasta 4 m), se identificó una granulometría fina que grada entre arena limosa y limo-arcilla.

Palabras clave: hidrografía, sedimentología, estuario del Aconcagua.

ABSTRACT

The study presents the hydrographical characteristics of the Aconcagua Estuary, Central Chile (32° 55' S and 71° 30' 30" W) performed during a hydrographical campaign in April of 2001. In this microtidal estuary to were obtained bathymetry data, salinity, temperature, turbidity and bottom characteristics. The dynamics of the estuary indicates the presence of a saline intrusion, facilitated by the bottom morphology, with a tendency to a hyper synchronous state. It was observed a stratification of the water column and increased values of salinity in depth, indicating a saline wedge. To the interior of the estuarial lagoon brief (30 cm of depth), abundance of gravel and sands were observed, associated to the greater depths (4 m), fine textural ranks were identified, varying between muddy sand and silt-clay sediments.

Key words: hydrographic, sedimentology, Aconcagua estuary.

Uno de los fundamentos por los cuales los estuarios son objeto de numerosos estudios está dado por la variedad de problemas que se plantean desde distintos puntos de vista: el dinámico (interacción de factores hidrológicos y oceanográficos), el físico-químico (mezclas de aguas dulces y saladas), el sedimentológico (depósitos de fangos, embancamientos), el biológico, como consecuencia de su flora eurihalina y su actividad biológica, y también desde el punto de vista

económico, ya que muchos estuarios son el asiento de puertos fluviales o marinos y están sujetos a explotaciones económicas. Resulta importante señalar que los estuarios

¹ Artículo recibido el 3 de octubre de 2006 y aceptado el 2 de abril de 2007.

² Departamento de Geografía, Universidad de Concepción (Chile). E-mail: carolmartinez@udec.cl

³ Departamento de Geografía, Universidad de Chile (Chile). E-mail: ccortez@uchile.cl

han sido uno de los cuerpos costeros más investigados mundialmente (Nichols y Biggs, 1985), excepto en Chile. Su forma y extensión es alterada tanto por la erosión como por la depositación de sedimentos y los efectos causados por pequeñas variaciones del nivel del mar (Nichols y Biggs, 1985). La interacción entre el agua dulce y salina genera una circulación característica, producto de sus densidades diferentes y de los procesos de mezcla turbulentos originados por las mareas y los vientos. El amplio rango en los valores de salinidad y la pequeña amplitud térmica les otorga a estos sistemas un rasgo característico (Dyer, 1973). La principal dificultad en el estudio de los mismos es que la descarga de los ríos, el rango de marea y la distribución de los sedimentos cambian continuamente, por lo tanto, algunos estuarios nunca llegan a ser sistemas estables y por su carácter de ambientes únicos en su naturaleza, no suelen ser comparables (Perillo, 1995).

Los estuarios no pueden ser asociados a estudios científicos individuales ya que su análisis implica la necesidad de una aproximación interdisciplinaria, por ello toda definición debe necesariamente incluir tanto los aspectos físicos y geomorfológicos, como los componentes químicos y biológicos. Las principales definiciones de estuarios abarcan el punto de vista dinámico, el geomorfológico y el geológico (Cameron y Pritchard, 1963; Dionne, 1963; Fairbridge, 1980; Day, 1980; Perillo, 1995; Perillo *et al.*, 1999), mientras que criterios como diversidad de tamaños, forma, régimen de salinidad, rango mareal, circulación y biota también son utilizados para clasificarlos (Pritchard, 1952; Hayes, 1975; Dalrymple *et al.*, 1992; Perillo, 1995). Una de las más aceptadas definiciones es la de Cameron y Pritchard (1963) quienes indican que un estuario es un cuerpo de agua semicerrado en donde el agua de mar es mensurablemente diluida por agua fluvial que proviene del drenaje terrestre. A partir del Simposio de Portugal en 1994, se inició una importante producción científica a nivel mundial para analizar los estuarios desde diferentes puntos de vista. Al respecto, son relevantes los aportes realizados por Cooper (1994, 2001, 2002) en estuarios africanos que permiten la comparación y posterior clasificación de es-

tuarios según la dominancia del ambiente marino o fluvial. Una revisión crítica sobre el problema de la definición y las clasificaciones en estuarios ha sido realizada recientemente por Elliott y McLusky (2002).

A partir de 2001, el estuario Aconcagua ($32^{\circ} 55' S$ y $71^{\circ} 30' 30'' O$), localizado en la zona proximal de la bahía de Concón (Figura N° 1), está siendo investigado desde el punto geomorfológico y dinámico (Martínez y Vergara, 2003; Martínez y Vergara, 2005). Los estudios realizados lo asocian a un ambiente de transición entre las rías progradadas de Chile semiárido y los deltas estuariales de Chile central (Paskoff, 1970; Araya-Vergara, 1981; Cortez, 2002). Por otro lado, Fierro (2004), indica que la propagación de la onda de marea y su intrusión salina presenta oscilaciones al interior de este. Se presenta en esta contribución, los resultados obtenidos a partir de una campaña hidrográfica realizada en abril de 2001, fecha en la cual se iniciaron las actividades de muestreo al interior del estuario orientadas a conocer la geomorfología y dinámica de este ambiente. Si bien no es posible generalizar sobre la dinámica del estuario a partir de una campaña hidrográfica, se pretende introducir un marco de referencia para ser utilizado en el análisis de nuevos resultados.

Área de estudio

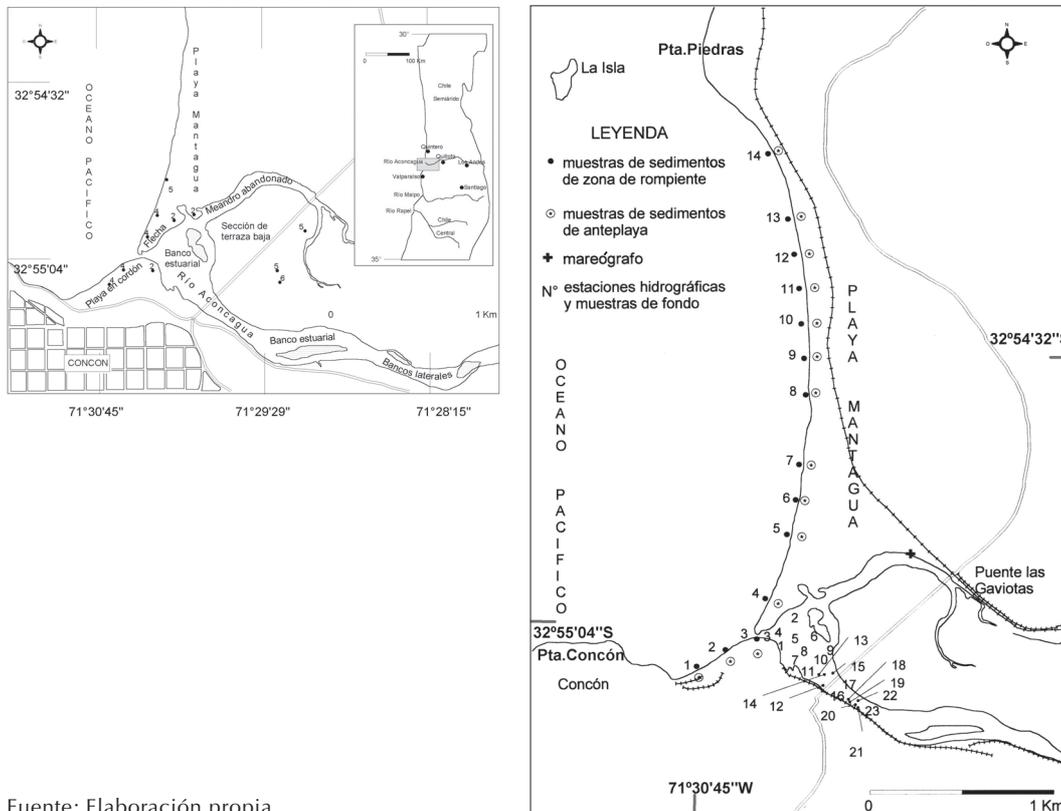
Diversos autores consideran esta zona costera como mixta, tanto en sus formas litorales como en su evolución morfológica (Araya-Vergara, 1971; Borde, 1975 en Castro y Brignardello, 1997). La unidad geomorfológica más destacada son las terrazas marinas o niveles aterrizados, asociados a una tectónica de bloques y a procesos de abrasión marina, estos últimos relacionados con movimientos glacioeustáticos durante el Cuaternario (Paskoff, 1970; Caviedes, 1967 y 1972). Estructuralmente se trata de un área emplazada sobre un margen de subducción. La geología del área ha sido reconocida por Corvalán y Dávila (1964) y Corvalán y Alvarez (1966) estando constituida por el llamado batolito de la costa definido por Muñoz Cristi (1971) como un complejo granodiorítico paleozoico (pérmico-carbonífero) que se extiende desde Quintero al extremo sur de la V Región.

La batimetría al interior de la bahía de Concón es somera, encontrándose profundidades máximas de 14 metros. El fondo marino es homogéneo, alterado por el cañón submarino del Aconcagua, localizado en la zona distal de la bahía de Concón. Fuera de la bahía, la batimetría gradúa progresivamente desde el veril de los 15 a los 100 metros a través de un recorrido lineal de 9 kilómetros. El área está influenciada por el efecto casi continuo de un swell (mar de fondo), proveniente del WSW originado en zonas lejanas y que constituyen una fuente permanente de energía para el oleaje incidental (SHOA, 1994). La amplitud media de la marea es de 1,7 metro. El nivel de reducción de sondas se encuentra a 0,91 metro bajo el nivel medio del mar (SHOA, 1994). Las direcciones más importantes del oleaje y de mayor incidencia son W, SW y NW (SHOA, 1994). De acuerdo a la caracterización del oleaje realizada por Martínez (2001) a partir de datos de olas del SHOA (2000) obtenidos de la estación de

Valparaíso, las alturas máximas de ola según período se encuentran distribuidas en un 75% en el período entre 8 y 12 horas. La distribución de alturas de ola presenta un 72% en el rango de 1,0 a 3,0 m; mientras que las alturas de ola significativa, se distribuyen en un 88% en el rango de los 0,5 a 2,5 m. Lo anterior coincide con los resultados del análisis preliminar del oleaje en Chile central realizado por Araya-Vergara (1971). Antecedentes del sistema de corrientes costeras cercanas al área de estudio establecen una dependencia de estas con el régimen de marea (semidiurno mixto) y la influencia del viento (IHA, 1987 en Martínez, 2001). Respecto al nivel medio del mar, los antecedentes disponibles no establecen la existencia de variaciones significativas de este considerando las últimas cinco décadas (Fonseca, 1985; Davis, 1997 y Martínez, 2001).

Desde el punto de vista hidrológico, el gasto promedio del río Aconcagua es extre-

Figura N° 1
ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia.

madamente variable, estimándose en unos 40 m³/s. El régimen hidrológico es nivo-pluvial con un marcado componente estacional, y dos períodos de altas aguas anuales que se ven incrementadas bajo influencia de eventos ENSO (Waylen y Caviedes, 1990). Según Fierro (2004), el caudal promedio histórico en el curso inferior del río (período 1939-2002, estación Chacabuquito) es de 32, 8 m³s⁻¹ y el caudal medio es de 50,7 m³s⁻¹ para la estación pluviométrica más cercana al estuario (estación Romeral).

Materiales y métodos

El área investigada comprende el estuario Aconcagua hasta tres kilómetros aguas arriba y el litoral arenoso comprendido entre Punta Concón por el sur y Punta Piedras por el norte.

En abril de 2001 (día 6) se realizó una campaña hidrográfica para obtener datos de salinidad, batimetría, temperatura, turbidez y sedimentos superficiales, utilizándose un bote zodiac. Se instaló un mareógrafo que operó durante siete días en la ribera sur del estuario (puente Concón) entre el 5 y 12 de abril de 2001. Al interior del estuario se realizó un total de 23 estaciones de muestreo posicionadas mediante GPS geodésico (Figura N° 1).

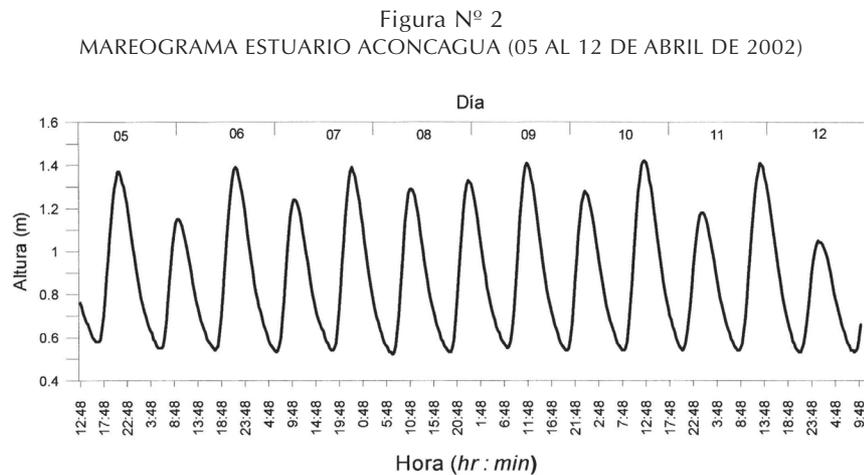
Las muestras de salinidad para la capa de agua superficial y profunda fueron obtenidas mediante botellas de salinidad y botellas

Nansen, posteriormente analizadas a través de salinómetro Postasal y clasificadas de acuerdo al Sistema de Venecia (Ringuelet, 1962). Los datos de temperatura fueron recolectados mediante termómetro digital para agua superficial y termómetro de inversión (adornado a botella Nansen), para la capa de agua profunda. La turbidez del agua fue estimada mediante disco secchi. Las muestras de sedimentos de fondo fueron obtenidas a través de draga manual y luego analizadas mediante densimetría, utilizándose el método de Bouyoucus (1962). Para clasificar las muestras, se aplicó el triángulo textural de Shepard (1954). Para caracterizar el nivel de energía del medio marino sobre los sedimentos del estuario y su área de influencia, se recolectaron muestras de sedimentos de playa en el estuario inferior y su área adyacente hasta Punta Piedras por el norte, a través de 14 perfiles transversales espaciados cada 200 m, obteniéndose muestras sedimentológicas para la zona de rompiente y anteplaya (Figura N° 1). Para el análisis granulométrico de las muestras de playa, se utilizó la clasificación de Wentworth (1922).

Resultados

Condiciones de marea

Las condiciones de marea registradas entre el 5 al 12 de abril de 2001 se representan en la Figura N° 2. Se observan condiciones de flujo de sicigias, con valores de



Fuente: Elaboración propia.

marea que fluctúan entre 0,54 y 1,40 m, con una amplitud de 0,86 m. La máxima pleamar del mes de acuerdo a la Tabla de Mareas (SHOA, 2001) se registró en el día 6 de abril con 1,73 m (día de la campaña hidrográfica) y la máxima bajamar del mes durante los días 7 y 8 de abril con 0,12 m, estableciéndose una amplitud de 1,61 m. Se presentó coincidencia entre las máximas pleas y bajamares del mes y los constituyentes de la marea para luna llena y perigeo. La máxima desigualdad diurna se presentó durante los días 28 y 29 de abril, con 0,54 m. De acuerdo con lo anterior, el estuario se encuentra afectado por un régimen de marea micromareal según la clasificación de Hayes (1975).

Zonificación dinámica

Los resultados del reconocimiento hidrográfico realizado en abril de 2001 (Cuadro N° 1), permiten establecer las características generales para el estado de la marea en pleamar de sicigias siguiendo los criterios de Dionne (1963, en Perillo *et al.*, 1999):

a) Zona exterior

Se presentan profundidades someras que varían entre 0,37 y 2,0 m, mientras que en el sector proximal se incrementan hasta 4,0 m. Esta zona se caracteriza por contener la laguna estuarial que permite la permanencia del cuerpo de aguas. La temperatura superficial se incrementa desde el sector distal con valores de 18,8° C al sector proximal con valores de 22° C. La temperatura del agua profunda presenta valores más bajos que la superficial fluctuando entre 17,2° C y 19,8° C. Los valores de salinidad del agua superficial fluctúan entre 0,635 y 1,475 PSU, mientras que para el agua profunda entre 2,228 y 28,512 PSU, valores indicativos de una intrusión salina que fluye en profundidad bajo el agua menos densa y levemente más cálida. La turbidez del agua indica distribución homogénea con valores de profundidad extremos de 0,18 m (estación 11) y 0,65 m (estación 13).

La distribución de los sedimentos de fondo en esta zona (Figura N° 3), indica un predominio de arenas principalmente en el sector de la laguna estuarial, intercaladas con

texturas más finas (arena-limo-arcilla). En la ribera norte se presentan arenas en contacto con un pequeño sector de arena-limo-arcilla. En la ribera sur se presentan texturas más finas como arena limosa. Esta distribución describe una fuerte influencia de las corrientes a través de procesos erosivos.

b) Zona media

Se presentan profundidades mayores que varían entre 0,60 m (estación 17) y 4,1 m (estación 21). La ribera sur presenta las máximas profundidades, describiendo una cubeta irregular de doble surco. La temperatura superficial del agua varía entre 20° C y 22,7° C, mientras que el agua profunda presenta valores inferiores con 17,5° C y 18,8° C. La salinidad de la capa superficial del agua presenta valores similares a la registrada en la zona exterior con 0,5 a 1,5 PSU, mientras que la capa de agua profunda presenta valores entre 15,3 y 21 PSU. La turbidez presenta valores extremos de 0,38 (estación 16) y 0,69 m (estación 23).

La distribución de los sedimentos de fondo en la zona media (Figura N° 3), indica predominio de texturas más finas que en la zona exterior, asociadas a las mayores profundidades. Se presentan limos arenosos (sector central), en contacto con arena limosa presente en ambas riberas. Se trata de sedimentos finos en un ambiente predominantemente de depositación.

Características termohalinas

La Figura N° 4 presenta la distribución de salinidad a lo largo del perfil longitudinal del estuario (zonas exterior y media), para condiciones estacionales de otoño y mareas de sicigias (amplitud de 0,86 m y sobre 1,502 m para el puerto patrón de Valparaíso). Se aprecia una clara influencia de las aguas marinas en el sector de transición entre la zona exterior y la media, con valores que fluctúan entre 0,9 y 28 PSU, observándose un aumento de la salinidad a medida que se incrementa la profundidad, mientras que las diferencias de temperatura entre la superficie y el fondo no son significativas. Se distinguen dos tipos de aguas, clasificadas según el Sistema de Venecia (Ringuélet, 1962). El primer tipo corresponde a aguas

superficiales oligohalinas con valores de salinidad que van entre 0,5 y 1,4 PSU. El segundo tipo corresponde a aguas profundas meso y polihalinas con valores entre 2 y 28 PSU.

(Figura N° 3). En el centro de la laguna estuarial predominan las arenas, intercaladas con arena limo arcilla. En la ribera sur (zona exterior) se presentan texturas de arena limosa intercaladas con limo arenoso. Se in-

Cuadro N° 1
PARÁMETROS HIDROGRÁFICOS EN EL ESTUARIO ACONCAGUA

Estación	Profundidad (m)	Temperatura (°C)		Salinidad (PSU)		Transparencia (m)	Observaciones
		Superf.	Profunda	Superf.	Profunda		
1	0,67	19,5		1,238		0,5	desembocadura
2	1,36	19		1,323		0,56	desembocadura
3	1,76	18,8		0,943		0,63	cercana boca
4	1,7	18,8		1,012		0,52	desembocadura
5	1,97	19,2	18,2	1,288	2,228	0,51	desembocadura
6	0,87	19,6		1,237		0,49	desembocadura
7	0,38	21,9		1,475		0,33	desembocadura
8	1,15	19,5		1,256		0,45	desembocadura
9	1	19,5		1,032		0,63	desembocadura
10	1,53	19,5		0,915		0,63	desembocadura
11	0,37	22		1,434		0,18	desembocadura
12	2	19,5	19,8	0,787	5,811	0,58	desembocadura
13	4,28	19,8	19,7	0,927	28,512	0,65	desembocadura
14	4	19,9	17,2	0,635	22,971	0,6	desembocadura
15	1	20,2				0,54	
16	1,36	22,5		1,472		0,38	Puente
17	0,6	22,7		1,532		0,42	Puente
18	2,06	20	17,5	0,602	16,638	0,67	Puente
19	2,74	20,5	18,2	0,594	15,329	0,69	Puente
20	1,31	20,9		0,853		0,5	Puente
21	4,05	20,6	17,8	0,577	21,057	0,65	Puente
22	1,22	20,7		0,51		0,68	Puente
23	3,89	20,5	18,8	0,825	16,704	0,69	Puente

Fuente: Elaboración propia.

Sedimentos

a) Sedimentos de fondo

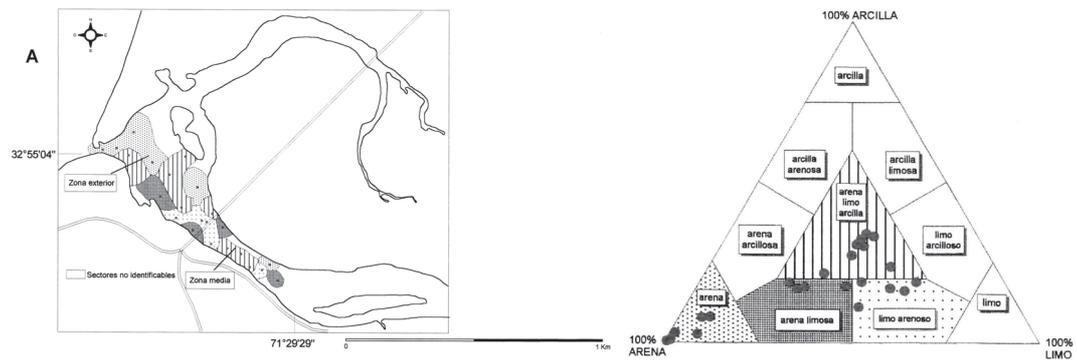
Se observa que los sedimentos de fondo presentan un predominio de arenas, fluctuando en las categorías de arena, arena limo arcilla, limo arcilloso y arena limosa

fiere una fuerte influencia de las corrientes (mareal y fluvial) con predominio de procesos erosivos. En la ribera norte de la zona exterior, se presentan texturas más gruesas asociadas a arenas e intercaladas con arena limo arcilla denotando fuerte intensidad de las corrientes. En la zona media del estuario, se presentan texturas más finas que va-

rían entre arena limo arcilla y arena limosa, estas últimas asociadas a las mayores profundidades, infiriéndose baja intensidad de las corrientes. Las profundidades máximas

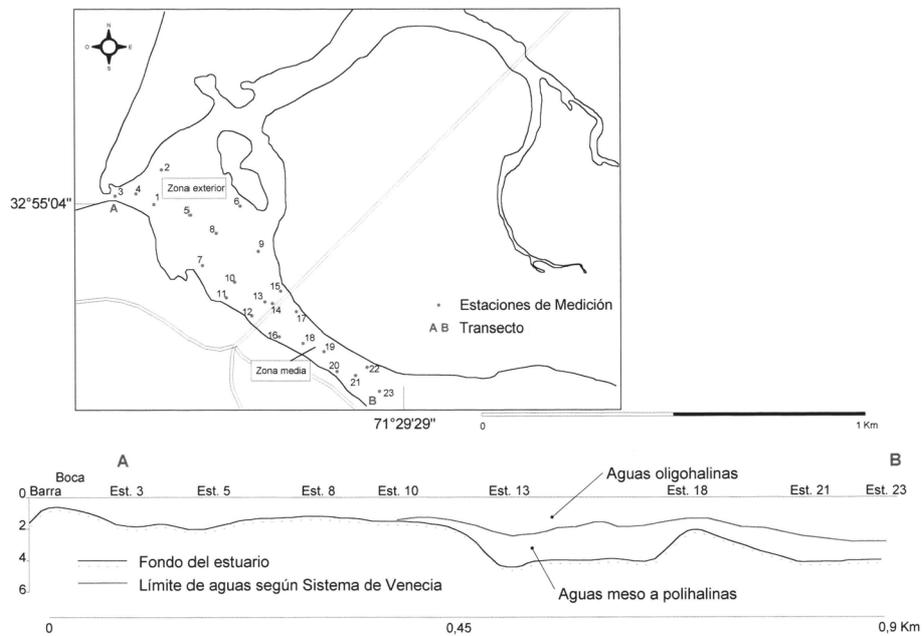
encontradas en el estuario (estaciones 13, 14, 21 y 23) del orden de los 4 m se asociaron con sedimentos finos en su mayoría correspondientes a limo arenoso.

Figura N° 3
DISTRIBUCIÓN TEXTURAL DE LOS SEDIMENTOS DE FONDO EN EL ESTUARIO ACONCAGUA



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 4
PERFIL LONGITUDINAL ESTUARIO ACONCAGUA



Fuente: Elaboración propia.

b) Sedimentos de playa

Las muestras de arena en la zona de rompiente y en la anteplaya recolectadas en los sectores norte y sur del estuario indican que estas se distribuyen en los rangos texturales comprendidos entre arenas muy finas a arenas medias (Cuadros N° 2 y 3), fluctuando entre 0,178 mm (estación 1) y 0,205 mm (estación 9) en la zona de rom-

piente y entre 0,162 mm (estación 9) y 0,218 mm (estación 4) en la anteplaya. Llama la atención la forma en "S" levantada para ambos casos, indicando buena selección (Figura N° 5). Los valores de asimetría para las arenas de anteplaya fluctúan entre -0,26 (estación 5) y 0,69 (estación 14). Para arenas en zona de rompiente, los valores de asimetría fluctúan entre -0,39 (estación 3) y 1,74 (estación 1).

Cuadro N° 2
DISTRIBUCIÓN TEXTURAL Y PARÁMETROS SEDIMENTOLÓGICOS PARA SEDIMENTOS DE ANTEPLAYA

Est.	AG%	AM%	AF%	AMF%	F%	Tamaño medio (log)	Tamaño (mm)	Asimetría	Desv. estándar (log)
1	0,6	29,2	60,0	9,1	1,1	2,32	0,199	0,170	0,530
2	0,1	27,7	61,3	8,9	2,0	2,34	0,197	0,230	0,630
3	0,2	18,9	65,8	4,6	10,5	2,56	0,169	0,520	0,810
4	0,4	33,1	64,4	1,4	0,7	2,19	0,218	0,060	0,550
5	0,0	13,8	78,9	4,9	2,4	2,41	0,188	-0,260	0,430
6	0,0	13,0	82,2	3,1	1,7	2,46	0,181	0,600	0,530
7	0,2	18,9	65,8	4,6	10,5	2,56	0,169	0,520	0,810
8	0,1	11,1	73,0	14,0	1,8	2,54	0,171	0,150	0,530
9	0,0	6,6	79,4	7,2	6,8	2,62	0,162	0,910	0,650
10	0,1	9,9	82,3	7,5	0,2	2,41	0,188	-0,790	0,340
11	0,1	10,1	73,5	16,3	0,0	2,47	0,180	0,680	0,560
12	0,0	8,7	74,4	15,0	1,9	2,45	0,183	0,480	0,430
13	0,1	12,0	80,2	5,7	2,0	2,43	0,185	0,450	0,470
14	0,1	13,2	78,8	3,7	4,2	2,47	0,180	0,690	0,580

AG: arena gruesa; AM: arena media; AF: arena fina; AMF: arena muy fina; F: arena fina.
Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 3
DISTRIBUCIÓN TEXTURAL Y PARÁMETROS SEDIMENTOLÓGICOS PARA SEDIMENTOS EN ZONA DE ROMPIENTE

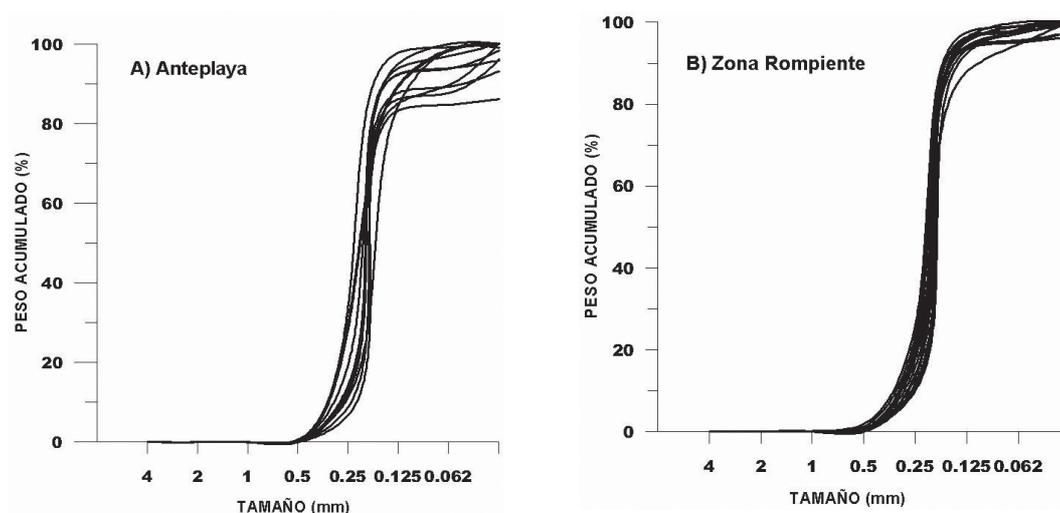
Est.	AG%	AM%	AF%	AMF%	F%	Tamaño medio (log)	Tamaño (mm)	Asimetría	Desv. estándar (log)
1	0,1	10,6	81,2	5,9	2,2	2,48	0,178	1,74	0,29
2	0,0	11,7	84,0	3,4	0,9	2,44	0,184	0,20	0,43
3	0,0	9,9	86,7	3,3	0,1	2,44	0,184	-0,39	0,37
4	0,6	16,4	69,9	4,4	8,7	2,40	0,189	0,22	0,57

Cuadro N° 3 (Continuación)

5	0,2	21,0	73,1	3,3	2,4	2,38	0,192	0,40	0,59
6	0,6	17,1	77,4	3,9	1,0	2,37	0,192	-0,04	0,50
7	0,3	18,4	68,6	6,7	5,7	2,48	0,179	0,43	0,70
8	1,7	15,4	78,2	3,5	2,6	2,40	0,189	0,17	0,50
9	0,1	24,0	67,5	3,9	2,9	2,28	0,205	0,14	0,63
10	0,1	13,1	80,6	4,1	2,1	2,42	0,186	0,44	0,48
11	0,6	17,1	75,6	5,1	1,6	2,35	0,195	0,04	0,50
12	0,1	19,9	77,2	1,9	0,9	2,34	0,197	0,11	0,49
13	0,0	13,8	82,0	1,9	2,3	2,42	0,186	0,48	0,49
14	1,2	21,9	73,0	2,4	1,5	2,30	0,203	0,00	0,55

AG: arena gruesa; AM: arena media; AF: arena fina; AMF: arena muy fina; F: arena fina.
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5
CURVAS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICAS EN LITORAL ARENOSO



Fuente: Elaboración propia.

Discusión

De los resultados hidrográficos presentados se puede determinar la presencia de una cuña salina hacia unos tres kilómetros al interior del estuario, sin embargo no es posible concluir sobre su extensión máxima o si se trata de un estado predominante en gran parte del año. Suele indicarse que la salinidad media en los ríos es de 0,18 PSU siendo

30 PSU el límite superior para ambientes estuariales (Araya-Vergara, 1970). Estudios realizados en el estuario Maipú indican escasa variación de la salinidad, asociada a escasas profundidades encontrándose solamente aguas oligohalinas sin estratificación, mientras que en el estuario Rapel, se presenta una distribución vertical de la salinidad del orden de los 28 PSU y 31 PSU, con aguas oligohalinas en la superficie y meso-

polihalinas en profundidad, asociadas a profundidades mayores. En este sentido, los resultados son más cercanos a las condiciones presentes en el estuario del Rapel que del Maipo, ya que se presenta una estratificación marcada en profundidad en la zona distal (estaciones 13 y 14) y cuña salina que debiera adelgazarse aguas arriba, cuya formación es favorecida por la morfología del fondo (estuario hipersincrónico).

De acuerdo con Stommel (1953, en Araya-Vergara 1970), el estuario Aconcagua en condiciones de mareas de sicigias y para las condiciones estacionales analizadas aquí, se presenta como un estuario de cuña salina posiblemente no típica, con flujos en dos horizontes y en sentido contrario, situación que se ajusta a lo encontrado por Fierro (2004) al reconocer un sistema de dos capas con agua dulce y cálida en la capa superficial y agua salada más fría en la capa profunda a través de todo el ciclo de marea semidiurno con un caudal del río entre $8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y $15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, típico en la época de bajo caudal. En este sentido, se reconoce un patrón de circulación en el sector del puente de Concón caracterizado por una capa de agua superficial fluyendo a alta velocidad permanentemente en dirección a la desembocadura y una capa de agua profunda con flujos en sentido opuesto (aguas arriba) de menor magnitud, preferentemente durante la etapa creciente de la marea, siendo tal dinámica coherente con las características de ambientes estuariales someros.

Según la morfología estuarial, Cooper (1994) clasifica los sistemas estuariales de Chile central como parte del dominio de procesos fluviales. Sin embargo, los procesos de refracción del oleaje que se expresan a través de la morfología de las flechas litorales (Cortez, 2002) y dada la presencia de arenas de playa al interior de la laguna estuarial, indican que el medio marino redistribuye los sedimentos y contribuye a la elaboración de las formas con una intensidad inferior, pero no menos importante que los mecanismos fluviales, lo cual queda expresado por la distribución textural de los sedimentos de fondo. La zona exterior (laguna estuarial) contiene los sedimentos introducidos por el ambiente marino (arenas) de mayor energía mientras que la zona media con-

tiene los sedimentos de influencia fluvial, más finos, que se intercalan con las arenas durante los ciclos de flujo y reflujo. Esta asociación entre las energías que representan los medios marino y fluvial se expresa morfológicamente en la construcción de bancos laterales con formas en punta para aquellos localizados en la zona media del estuario y redondeados para aquellos localizados en la laguna estuarial, aspectos analizados por Cortez (2002) utilizando una serie histórica de fotografías aéreas. Dado que los bancos laterales de la zona media se presentan estabilizados con vegetación mientras que los bancos de la laguna estuarial suelen ser efímeros (Cortez, 2002), la interacción entre los medios marino y fluvial se realizaría con mayor intensidad a partir de la zona media, a unos 500 m desde la desembocadura.

En la zona exterior del estuario y en la playa adyacente a este, la distribución de la energía del medio marino pareciera ser sistemática, dada la escasa variabilidad en el tamaño medio de los sedimentos de la zona de rompiente y anteplaya así como en la selección de estos. Aunque no se encontraron relaciones genéticas entre las arenas de playa y los sedimentos superficiales en el estuario, resulta conveniente atender a los efectos del clima de olas y el patrón de refracción sobre la morfología del estuario exterior debido a que influencia su morfología y con ello el grado de convergencia para el ingreso de la onda de marea.

Conclusiones

De acuerdo con los actuales esquemas de clasificación dinámicos, el estuario Aconcagua podría incluirse en los sistemas de cuña salina. Dada la morfología del estuario exterior caracterizado por la presencia de flechas litorales, es probable que la intrusión de la onda de marea sea favorecida por la geometría estrecha de la boca y por las condiciones someras de la laguna estuarial, generando una tendencia hacia el estado hipersincrónico.

El área de influencia del estuario parece alcanzar hasta los 3 km hacia el interior, presentando un patrón de doble flujo con aguas estratificadas por densidad y temperatura

(frías y salinas en profundidad y, más templadas y dulces en superficie) estrechamente asociado a la morfología del cauce: somero y relativamente homogéneo en la laguna estuarial y de doble surco en el estuario medio con las profundidades máximas en la ribera sur. La comparación con nuevas batimetrías y mediciones de corrientes podría dar cuenta sobre el tipo de circulación en el estuario.

Dos son las energías principales que influyen en el comportamiento del estuario Aconcagua: las olas y el río. Sin embargo, las mareas aunque son inferiores a 2 m (micromareales) logran influenciar la dinámica del estuario a través del mecanismo de convergencia inducido por la presencia de flechas litorales, generando la intrusión salina. Se requieren campañas de terreno estacionales para verificar la permanencia de esta tendencia dinámica asociando a la vez aspectos morfodinámicos del sistema costero de la bahía de Concón y aspectos hidrológicos relacionados la variabilidad de los caudales del río Aconcagua.

Referencias bibliográficas

- ARAYA-VERGARA, J. Contribución al estudio de los procesos estuariales en las desembocaduras de los ríos Rapel y Maipo. *Informaciones Geográficas de Chile*, 1970, N° 20, p. 17-38.
- ARAYA-VERGARA, J. Determinación preliminar de las características del oleaje en Chile Central. *Noticiero Mensual Museo Nacional de Historia Natural*, 1971, Vol. 15, N° 174, p. 8-12.
- ARAYA-VERGARA, J. El concepto de "delta en ría" y su significado en la evolución litoral (ejemplo en Chile Central). *Informaciones Geográficas de Chile*, 1981, N° 28, p. 71-102.
- BOUYOUCUS, G. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 1962, Vol. 54, p. 464-465.
- CAMERON, W. & PRITCHARD, D. Estuaries. In: HILL, M.N. (Ed.) *The Sea*. Vol. 2. New York: John Wiley and Sons, 1963, p. 306-324.
- CAVIEDES, C. Las terrazas del Aconcagua inferior. *Revista Geográfica de Valparaíso*, 1967, Vol. 1, N° 1, p.63-80.
- CAVIEDES, C. Geomorfología del Cuaternario del valle del Aconcagua, Chile central. *Freiburger Geographische Hefte*, 1972, N° 11.
- COOPER, J. Sedimentary processes in the river-dominated Mvoti estuary, South Africa. *Geomorphology*, 1994, N° 9, p. 271-300.
- COOPER, J. Geomorphological variability among microtidal estuaries from the wave-dominated South African coast. *Geomorphology*, 2001, N° 40, p. 99-122
- COOPER, J. The role of extreme floods in estuary-coastal behaviour: contrasts between river- and tide-dominated microtidal estuaries. *Sedimentary Geology*, 2002, N° 150, p. 123-137.
- CASTRO, C. y BRIGNARDELLO, L. Geomorfología aplicada a la ordenación territorial de la franja costera entre Concón y Quintay. *Revista de Geografía Norte Grande*, 1997, N° 24, p. 113-125.
- CORTEZ, C. Observaciones dinámicas y geomorfológicas en el estuario del Aconcagua, Chile central. Santiago: Memoria para optar al Título de Geógrafo, Escuela de Geografía, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, 2002.
- CORVALÁN, J. y DÁVILA, A. Observaciones geológicas en la cordillera de la costa entre los ríos Aconcagua y Mataquito. *Resúmenes, Sociedad Geológica de Chile*, 1964, N° 9, p. 7.
- CORVALÁN, J. y ALVAREZ, L. Geomorfología de Valparaíso y regiones adyacentes. Valparaíso: Tercer Encuentro Nacional de Geografía, Universidad Católica de Valparaíso, 1966.
- DALRYMPLE, R.; ZAITLIN, B. & BOYD, R. A conceptual model of estuarine sedimentation. *Journal of Sedimentology Petrology*, 1992, N° 62, p. 1130-1146.
- DAVIS, R. *The evolving coast*. New York: Scientific American Library, 1997.

DAY, J. GAT is an estuary? South African Journal of Science, 1980, N° 76, p. 198.

DIONNE, J. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. Zeitschrift für Geomorphologie, 1963, N° 7, p. 36-44.

DYER, K. Estuaries: a Physical Introduction. London: Wiley & Sons, 1973.

ELLIOTT, M. & McLUSKY, S. The need for definitions in understanding estuaries. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2002, N° 55, p. 815-827.

FAIRBRIDGE, R. The estuary: its definition and geodynamic cycle. En: OLAUSON, E. & CATO, I. (Ed.) Chemistry and Biogeochemistry of estuaries. New York: Wiley, 1980, p. 1-35.

FIERRO, J. Hidrodinámica mareal en el estuario del río Aconcagua. Valparaíso: Tesis para optar al título de Magíster en Oceanografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y Universidad de Valparaíso, 2004.

FONSECA, T. Observaciones sobre los temporales que afectaron la bahía de Valparaíso en julio de 1984. Revista Geográfica de Valparaíso, 1985, N° 16, p. 31-46.

HAYES, M. Morphology of sand accumulation in estuaries: an introduction to the symposium. En: CRONIN, L.E. (Ed) Estuarine Research. New York: Academic Press, 1975, Vol. II, p. 3-22.

MARTÍNEZ, C. El efecto de ensenada en los procesos litorales de las ensenadas de Valparaíso, Algarrobo y Cartagena, Chile Central. Santiago: Tesis para optar al título de Magíster en Geografía, Escuela de Postgrado, Universidad de Chile, 2001.

MARTÍNEZ, C. y VERGARA, H. Variaciones espacio-temporales en el estuario Aconcagua, Chile Central. Punta Arenas: XIII Congreso Ciencias del Mar, 5 al 8 de mayo de 2003, p. 121.

MARTÍNEZ, C. y VERGARA, H. Caracterización geomorfológica y dinámica del estuario Aconcagua (Chile central) entre los años 2002 y 2004. Viña del Mar: XI Congreso

Latinoamericano de Ciencias del Mar y XXV Congreso de Ciencias del Mar, 16 al 20 de mayo de 2005.

NICHOLS, M. & BIGGS, R. Estuaries. En: DAVIS, R.A. (Ed.) Coastal Sedimentary Environments, 1985, p. 77-125.

MUÑOZ CRISTI, J. Estudios petrográficos y petrológicos sobre el batolito de la costa de las provincias de Santiago y Valparaíso. Santiago: Editorial Universitaria, 1971, N° 25.

PASKOFF, R. Le Chili semi-aride. Bordeaux: Biscaye Frères, 1970.

PERILLO, G. Definitions and geomorphologic classifications of estuaries. Developments in Sedimentology, 1995, N°53, p.17- 47.

PERILLO, G.; PICCOLO, M. & PINO, M. Estuaries of South America. Berlín: Springer, 1999, 223 p.

PRITCHARD, D. Salinity distribution and circulation in the Chasapeake Bay estuarine system. Journal Marine Research, 1952, N° 11, p. 106-123.

RINGUELET, R. Ecología acuática continental. Buenos Aires: Eudeba, 1962.

SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA DE CHILE (SHOA). Anuario Hidrográfico de la Marina de Chile. Valparaíso: SHOA, 1994, N° 46.

SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA DE CHILE (SHOA). Tablas de marea de la costa de Chile. Valparaíso: SHOA, 2001.

SHEPARD, F. Nomenclature based on sand-silt-clay ratio. Journal of Sedimentary Petrology, 1954, N° 24, p. 151-158.

WAYLEN, P. & CAVIEDES, C. Annual and seasonal fluctuations of precipitation and streamflow in the Aconcagua river basin, Chile. Journal of Hydrology, 1990, N° 120, p. 79-102.

WENTWORTH, C. A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology, 1922, N° 30, p. 377-392.