

ESTUDIO ESTACIONAL DE LOS SEDIMENTOS DEL ESTUARIO DEL QUEULE, IX REGION

SEASONAL STUDY OF THE SEDIMENTS IN THE QUEULE'S ESTUARY, IX REGION

CARLOS ROJAS HOPPE

Instituto de Geociencias Universidad Austral de Chile

ABSTRACT

An area between the mouth and 3.5 km upstream was seasonally sampled, in order to analyze in detail and from a dynamic viewpoint the sedimentary facies spatial distribution and the organic matter content of the present sediments of the Queule River Estuary.

Grain size analyses were determined by the combined sieve and pipette method, and the content of carbon organic matter was determined by ignition. Granulometric parameters of mean size, sorting and skewness were calculated by the method of statistical moments.

Ten textural facies in summer and nine in winter were distinguished in the estuary. In the time between summer and winter samplings, facies were affected by changes in their spatial distribution, in response to the energy level variations in the estuary. The distribution of carbon organic matter in the sediments correlates closely with the distribution of fine - grained material, and there exists a great correlative coefficient between both components. The contents of total organic matter (21% maximum) seem to be higher than would be expected to occur naturally in an estuary of this type.

1. INTRODUCCION

La necesidad de entender los modelos de distribución de sedimentos estuarinos y su comportamiento temporal se ha incrementado grandemente en los últimos años como consecuencia del creciente interés por el adecuado manejo del ambiente marino costero. En este sentido, el patrón natural de distribución se estudia debido a que es un factor muy importante en la distribución de la fauna bentónica. En consideración a los estudios ecológicos es necesario determinar la escala espacial y temporal de la distribución de sedimentos, y el grado en que estos procesos son sistemáticos o al azar. Además, es necesario distinguir entre los aspectos naturales de distribución de sedimentos y los cambios que han sido inducidos por las actividades humanas.

En Chile, el estudio de la sedimentología de estuarios es un tema de investigación muy reciente, que ha sido abordado para el estuario del río Queule (IX Región) por JARAMILLO et al. (1980) y PINO & MULSOW (1983). Sin embargo, en estas investigaciones se han analizado aspectos muy generales de la distribución de sedimentos y los resultados proporcionados son consecuencia de una fase única de muestreo. Los análisis representan, por lo tanto, las condiciones generales del fondo del estuario en un momento determinado, válidas para un corto tiempo.

La presente investigación tiene como objetivo fundamental analizar detalladamente la distribución de las facies texturales y del contenido de materia orgánica de los sedimentos del estuario del río Queule desde un punto de vista dinámico, aspecto no estudiado aún en este ni en muchos otros estuarios. El análisis sedimentológico permitirá caracterizar cada facies textural por

determinados valores de parámetros granulométricos y contenidos de materia orgánica carbonosa total. El método de muestreo estacional permitirá analizar la dinámica de los sedimentos en relación a los procesos sedimentarios más importantes.

1.1. AREA DE ESTUDIO

El estuario del río Queule (lat. 39°23' S, long. 73°12' W, Fig. 1) se localiza en la zona de transición entre la "Región de costa acumulativa regular y baja de cordones y lagunas litorales" y la denominada "Región de bahías abiertas sin protección y de rías" según la clasificación propuesta por ARAYA-VERGARA (1976). Presenta, por lo tanto, rasgos correspondientes a ambas regiones. De la primera unidad ("Lebu-Queule"), el rasgo más sobresaliente es la inflexión hacia el S del río, disponiéndose paralelo a la costa en los últimos 25 km de su curso, característica que no presentan los ríos que desembocan más al S. Rasgos morfológicos correspondientes a la unidad "Queule-Canal de Chacao" son:

- el cierto grado de indentación de la línea de costa, originándose la bahía Queule;
- la aparición de acantilados duros y puntas (Punta Nigue y Punta Ronca, en los extremos N y S de la bahía, respectivamente), asociada al afloramiento del basamento metamórfico con la Cordillera de la Costa muy cercana al mar;
- la presencia de terrazas litorales muy estrechas.

La hoya hidrográfica del río Queule (674 km²) está circunscrita a la Cordillera de la Costa, por lo que el río posee un régimen exclusivamente pluvial. Desemboca en el extremo S de la bahía Queule, originando un estuario que presenta un ancho máximo de 500 m y uno mínimo de 80 m, este último en la desembocadura. Posee un régimen de mareas semidiurnas, con una amplitud que lo clasifica dentro de los estuarios micromareales (inferiores a 2 m). En general predominan profundidades menores a 3 m, con las máximas en el estuario inferior y desembocadura, donde algunas pozas alcanzan hasta 8 m en marea alta durante el invierno.

El marco geológico-geomorfológico generalizado se muestra en la Fig. 2. En la ribera S del estuario inferior y medio afloran esquistos micáceos asignados al Precámbrico Superior (ZEIL, 1964; ILLIES, 1970), constituyendo una topografía con alturas superiores a 150 m s.n.m. y laderas de fuertes pendientes. En el sector medio estos afloramientos son reemplazados por vegas (1-3 m s.n.m.), delante de las cuales se extiende una pequeña marisma asociada a bancos de arena de forma alargada. En este sector de vegas el estuario recibe como afluente al estero Pirén. En la ribera N afloran terrazas marinas pleistocénicas, que constituyen colinas de hasta 50 m s.n.m. pero que han sido sometidas a intensa erosión; están compuestas por areniscas ricas en componentes volcánicos (PINO & MULSOW, 1983), y parcialmente cubiertas por dunas y hacia el Océano Pacífico las rodea una playa expuesta que origina hacia el S la barra del estuario.

1.2. FUNCIONES DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS EN RELACION CON EL AMBIENTE NATURAL

El estuario sustenta pequeñas poblaciones de pescadores, entre las que destaca la caleta Queule. Su función tradicional fue la pesca y la fabricación de cal, aprovechando las grandes cantidades de conchas en el litoral (RISOPATRÓN, 1924). Ello fue facilitado por las condiciones de navegabilidad: en el estuario, por embarcaciones de 3 a 3,5 m de calado y en el río, por calados menores, hasta 11 km aguas arriba de Los Boldos. El acceso al mar abierto dependió siempre del estado de marea. El entorno del estuario, con terrenos cultivables, cría de ganado y recursos forestales completa el cuadro de las funciones. Actualmente, el cultivo artificial de mitílicos se agrega al sistema tradicional.

1.3. MATERIAL Y METODO

El área de estudio comprende los últimos 3,5 km del curso inferior del río Queule, desde la desembocadura en la bahía Queule hasta el primer islote situado aguas arriba (Fig. 1).

Se llevaron a cabo dos muestreos estacionales correspondientes a verano (1-4 febrero) e invierno (5-7 agosto) de 1981. Se extrajeron muestras de sedimento de los fondos del estuario en un número de 55 en verano y 54 en invierno, un tercio de las cuales correspondió a muestras intermareales. Las muestras submareales se obtuvieron mediante una draga Emery de 0,025 m² de cobertura, y las intermareales mediante una espátula. La posición exacta de cada estación de

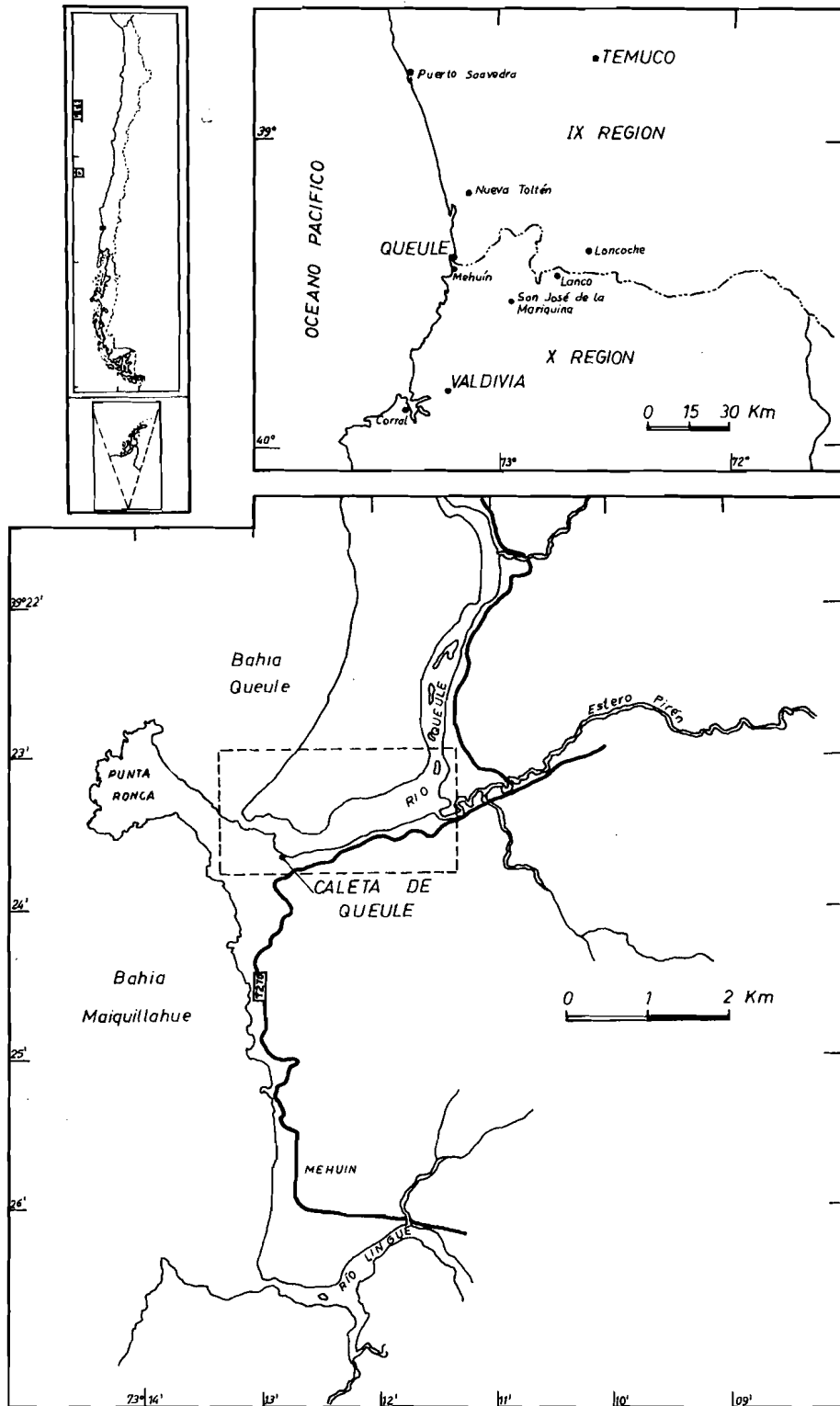
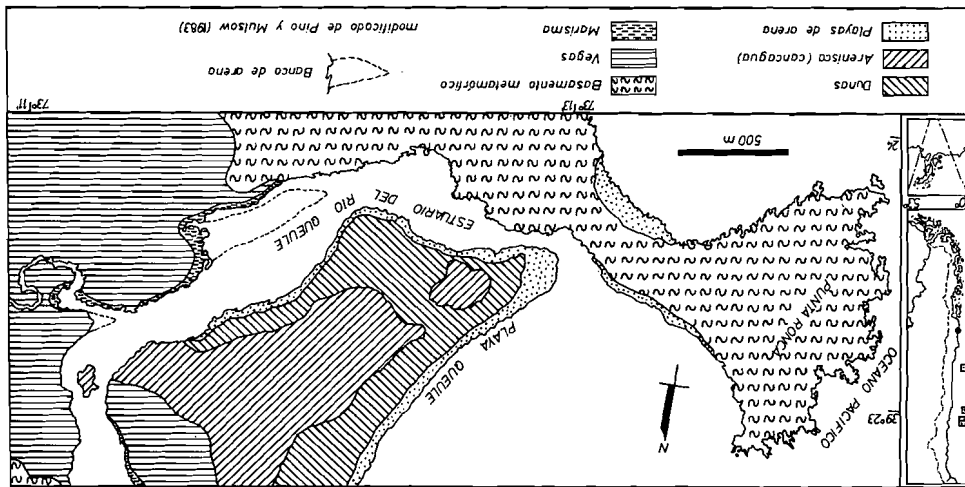


Fig. 1: Mapa de ubicación del área de estudio

muestreo en el estuario se determinó mediante un control terrestre llevado a cabo por triangulación según el procedimiento propuesto por Hooper (1979). En el laboratorio, los análisis granulométricos se realizaron por el método combinado de tamices y pipeta de Folk (1974), defloculan- dom las arcillas con carbonato de sodio. En el tamizado se utilizó un juego de tamices con intervalos de 1/2 y 1/4 de unidad phi. Para cada muestra se determinó el porcentaje de grava, arena y fango (limo + arcilla); los parámetros tamaño promedio, selección y asimetría se calcularon mediante la técnica computacional de momentos estadísticos de McBride (1971). El contenido de materia orgánica carbonosa total del sedimento se obtuvo para cada muestra incinerándola a 550°C durante 4 horas (Byers et al., 1978).

Estos datos se utilizaron en la elaboración de mapas de facies texturales (Folk, 1974) y de distribución del contenido orgánico de los sedimentos, y en el cálculo de correlaciones entre variables. La nomenclatura utilizada para las clases texturales corresponde a la propuesta por Folk (1974).



2. RESULTADOS

2.1. FACIES TEXTURALES

2.1.1. Verano

Los sedimentos del estuario, para la condición de verano, están diferenciados en diez facies texturales de acuerdo a la clasificación de Folk (1974). La distribución de las facies texturales se presenta en la Fig. 3.

En el estuario inferior predominan las facies arena (A) y arena levemente rúdica (A(g)). Esta última se presenta en una franja interrumpida brevemente en la desembocadura, que luego continúa subparalela a la ribera S, en contacto con sedimentos de texturas más gruesas presentes en ésta. Junto a la facies arena forma una lengua que se prolonga hacia el sector de la caleta. En la ribera S, los sedimentos de texturas más gruesas están constituidos por arenas rúdicas (Ag), arenas fangosas rúdicas (Afg), gravas areno-fangosas (Gaf) y gravas arenosas (Ga), dispuestas en franjas angostas y paralelas a la orilla. Estas facies de textura gruesa se prolongan sólo hasta el estuario medio. Todo el margen N del estuario medio y superior está constituido por arenas levemente rúdicas dispuestas en una franja paralela a la orilla. La facies arena fangosa levemente rúdica (Afg) predomina ampliamente en el sector central y superior del estuario. Estos sedimentos encierran áreas de arenas fangosas (Af), una de las cuales se proyecta fuera de esta zona hacia el estuario inferior. Los sedimentos de textura más fina están representados por fangos arenosos (Fa) y fangos arenosos levemente rúdicos (Fa(g)); éstos se localizan en el estuario medio en una franja angosta y corta que, desde la ribera S, se extiende

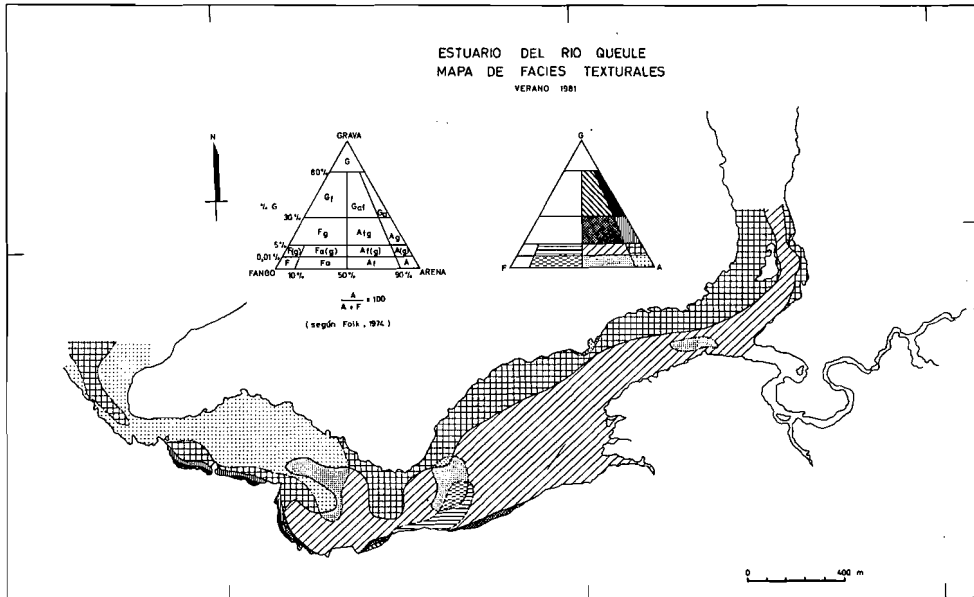


Fig. 3: Mapa de facies texturales. Estuario del río Queule. Verano 1981

hacia el centro donde engranan con las arenas fangosas. En el cabezal del estuario, el islote aparece rodeado por arenas levemente rudíticas, en tanto que las arenas fangosas levemente rudíticas pasan en una franja angosta entre el islote y la ribera E en dirección río arriba.

Con el objeto de caracterizar los subambientes sedimentarios en el estuario, se calculó para cada facies textural el promedio y la desviación standard de los componentes texturales y de los estadígrafos descriptivos de la granulometría de todas las muestras correspondientes a cada una de ellas (Cuadro 1). Del análisis de este cuadro se deduce que el promedio de la media varía entre $-1,25 \phi$ (2,38 mm) para la facies grava arenosa y $5,45 \phi$ (0,023 mm) para la facies fango arenoso levemente rudítico. La mejor selección la poseen las arenas, con un valor promedio de 0,563 unidades phi, y la facies peor seleccionada es la grava arenosa (3,115 unidades phi). Salvo la facies arena levemente rudítica que en promedio posee una asimetría débilmente negativa (poco exceso de "gruesos"), todas las demás poseen, en promedio, asimetrías positivas con un máximo en la arena fangosa (1,981).

2.1.2. Invierno

La distribución espacial de las facies texturales para el invierno de 1981 se presenta en Fig. 4. Las principales variaciones ocurridas respecto al verano se localizan en el estuario inferior y medio. En el estuario inferior, la facies arena (A) ocupa completamente el sector de la desembocadura, extendiéndose luego en una angosta franja por la ribera N hasta muy cerca del islote en el cabezal. Las arenas levemente rudíticas (A(g)) del estuario inferior se presentan en una franja de mayor amplitud que en verano, y penetran en mayor grado hacia los fondos de la caleta junto con una pequeña lengua de arena. Como en verano, la mayor parte de los fondos del estuario medio y superior está constituida por sedimentos de textura fina. Corresponden mayoritariamente a la facies arena fangosa levemente rudítica (Af(g)) que se ha expandido hacia el N; en el sector de la caleta se encuentra asociada a dos franjas paralelas a las riberas y formadas por arena fangosa (Af); encierra también frente a la caleta una pequeña zona de forma circular de fango arenoso levemente rudítico (Fa(g)), facies que se repite río arriba dispuesta en forma más alargada desde la orilla; en el sector de la marisma encierra una zona muy pequeña exenta de fango. Junto al islote y en dirección aguas abajo, una facies de arena fangosa rudítica (Afg) constituye una pequeña zona de forma alargada.

El promedio y desviación standard de los componentes texturales y de los estadígrafos descriptivos de la granulometría correspondientes a cada facies textural se presentan en el Cuadro 2. El promedio de la media varía entre $-2,22 \phi$ (4,66 mm) para la grava arenosa y $4,596 \phi$

(0,041 mm) para el fango arenoso levemente rudítico. La facies con mejor selección es la arena (0,379 unidades phi) y la peor seleccionada es la facies grava areno-fangosa (3,142 unidades phi). El promedio del valor de la asimetría es positivo para todas las facies texturales. Las arenas levemente rudíticas poseen un ligero exceso de "finos" pero una alta desviación standard, reuniendo un gran número de muestras que tienen asimetrías negativas. El promedio más bajo de este estadígrafo lo muestran las arenas fangosas rudíticas (0,127) y el más alto (fuerte exceso de "finos") la facies arena fangosa (2,626).

Cuadro 1. Media y desviación standard de los componentes texturales y de los estadígrafos para las muestras agrupadas según facies texturales. Estuario del río Queule. Verano 1981

Facies textural	Nº de muestras	% Grava	% Arena	% Fango	Tamaño Promedio (φ)	Selección (unidades phi)	Asimetría
A	15	0,00 (0,00)	97,75 (3,36)	2,25 (3,36)	2,474 (0,296)	0,563 (0,342)	1,824 (1,300)
A(g)	17	0,55 (1,08)	96,83 (3,06)	2,62 (2,85)	2,447 (0,221)	0,742 (0,339)	-0,129 (2,070)
Af(g)	12	0,33 (0,51)	78,15 (10,95)	21,52 (10,91)	3,330 (0,504)	1,629 (0,332)	1,730 (0,697)
Afg	2	18,92 (1,79)	65,82 (11,62)	15,27 (9,83)	1,532 (0,180)	2,771 (0,358)	0,064 (0,213)
Af	4	0,00 (0,00)	76,87 (16,77)	23,13 (16,77)	3,526 (0,523)	1,330 (0,093)	1,981 (1,182)
Ga	2	55,83 (0,14)	41,41 (0,57)	2,77 (0,43)	-1,250 (0,320)	3,115 (0,431)	0,444 (0,023)
Gaf	1	42,74 (—)	49,39 (—)	7,87 (—)	-0,104 (—)	2,864 (—)	0,726 (—)
Fa(g)	1	0,13 (—)	26,50 (—)	73,37 (—)	5,451 (—)	1,852 (—)	0,342 (—)
Fa	1	0,00 (—)	38,85 (—)	61,14 (—)	5,019 (—)	2,018 (—)	0,951 (—)

NOTA: En paréntesis Desviación standard.

Facies texturales según Folk (1974). Ver texto para la interpretación de la simbología.

Cuadro 2. Media y desviación standard de los componentes texturales y de los estadígrafos para las muestras agrupadas según facies texturales. Estuario del río Queule. Invierno 1981

Facies textural	Nº de muestras	% Grava	% Arena	% Fango	Tamaño Promedio (φ)	Selección (unidades phi)	Asimetría
A	15	0,00 (0,00)	99,45 (0,84)	0,55 (0,84)	2,449 (0,200)	0,379 (0,072)	1,072 (0,651)
A(g)	18	0,40 (0,53)	96,46 (2,96)	3,14 (2,99)	2,426 (0,322)	0,780 (0,282)	0,495 (2,514)
Af(g)	9	0,11 (0,09)	76,70 (7,25)	23,18 (7,26)	3,391 (0,269)	1,646 (0,191)	1,972 (0,579)
Afg	2	17,78 (13,14)	67,11 (16,85)	15,12 (3,71)	1,676 (0,459)	2,638 (0,984)	0,127 (0,110)
Af	4	0,00 (0,00)	82,11 (5,14)	17,90 (5,14)	3,240 (0,402)	1,402 (0,241)	2,626 (0,562)
Ga	1	64,90 (—)	33,72 (—)	1,38 (—)	-2,220 (—)	2,995 (—)	0,568 (—)
Gaf	3	49,01 (12,33)	40,47 (3,64)	10,51 (9,95)	-0,315 (1,284)	3,142 (0,549)	0,635 (0,171)
Fa(g)	2	0,19 (0,23)	42,79 (2,02)	57,02 (2,25)	4,596 (0,060)	1,878 (0,235)	0,998 (0,138)

NOTA: En paréntesis Desviación standard.

Facies texturales según Folk (1974). Ver texto para la interpretación de la simbología.

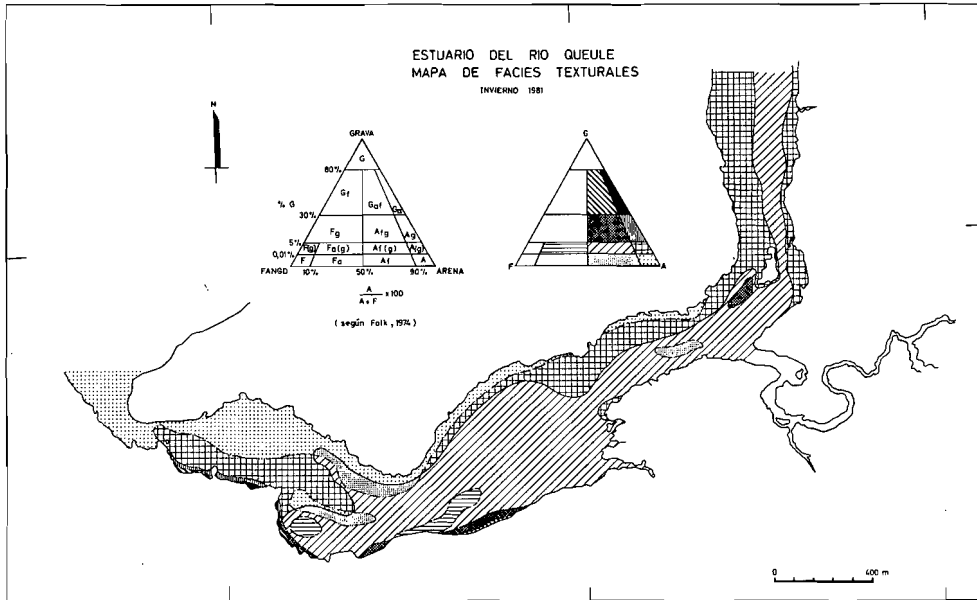


Fig. 4: Mapa de facies texturales. Estuario del río Queule. Invierno 1981

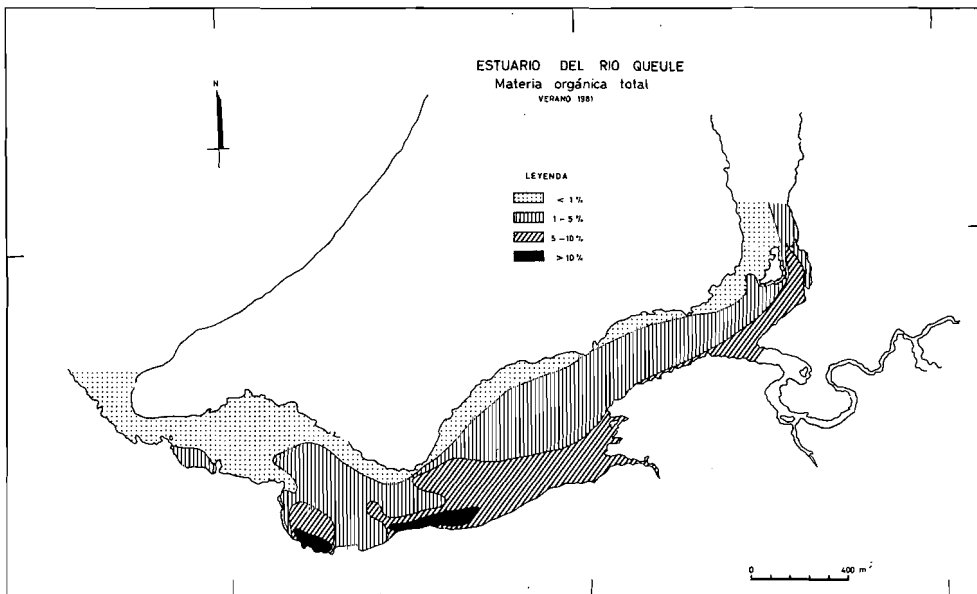


Fig. 5: Mapa de distribución de la materia orgánica carbonosa total. Estuario del río Queule. Verano 1981

2.2. MATERIA ORGANICA CARBONOSA

2.2.1. Verano

En verano los valores de la materia orgánica carbonosa total varían entre 0% y 12,49% del peso seco total. El mapa de distribución espacial de esta variable (Fig. 5) muestra que en el sector de la desembocadura, gran parte del estuario inferior y una franja que se extiende por todo el margen N del estuario hasta el cabezal, poseen los valores más bajos del estuario (menor que 1%).

Sedimentos con mayor contenido de materia orgánica se localizan en el estuario medio y superior en una franja ancha que ocupa los fondos de ese sector. Valores entre 1% y 5% se encuentran desde el estuario inferior hasta el cabezal. Cerca de la desembocadura ocupan una pequeña área de situación protegida en la ribera S. Contenidos entre 5% y 10% existen en sedimentos que se distribuyen casi en forma continua a lo largo de la ribera S desde la caleta hasta el islote. Los valores más altos (mayores a 10%) se localizan en dos zonas adosadas a la ribera S en el sector de la caleta.

La distribución de la materia orgánica carbonosa en los sedimentos superficiales es coincidente con la disposición de las facies texturales en el estuario. Las concentraciones del material orgánico son máximas en los sedimentos de textura fina del estuario medio y superior, y mínimas en los ambientes de arenas puras del estuario inferior y todo el margen N.

En el Cuadro 3 se presentan los contenidos de materia orgánica carbonosa total para cada facies textural en verano. Al correlacionar el fango orgánico con el fango inorgánico de cada muestra, se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de $r = 0,9707$ ($n = 55$), significativo al nivel de 0,01. El fango inorgánico también se correlaciona positivamente con la materia orgánica total del sedimento. El coeficiente de correlación lineal obtenido ($r = 0,9200$) es significativo al nivel de 0,01.

La composición de la materia orgánica de los sedimentos del estuario no ha sido estudiada en detalle. Para los sedimentos de alto contenido orgánico, en la fracción mayor a 63μ parece predominar el origen alóctono de ésta. Se encuentran en forma muy abundante detritos vegetales

Cuadro 3. Contenido de materia orgánica carbonosa total en muestras de sedimento agrupadas según facies texturales. Estuario del río Queule. Verano 1981

Facies textural	Número de muestras	Materia orgánica carbonosa total (%)	
		Media	Desviación standard
A	15	1,15	1,51
A(g)	17	1,03	0,70
Af(g)	12	4,36	1,78
Afg	2	3,93	3,54
Af	4	4,19	2,20
Ga	2	0,82	0,05
Gaf	1	1,87	—
Fa(g)	1	12,49	—
Fa	1	7,23	—
Estuario total	55	2,45	2,55

Facies texturales según Folk (1974). Ver texto para la interpretación de la simbología.

Cuadro 4. Contenido de materia orgánica carbonosa total en muestras de sedimento agrupadas según facies texturales. Estuario del río Queule. Invierno 1981

Facies textural	Número de muestras	Materia orgánica carbonosa total (%)	
		Media	Desviación standard
A	15	0,56	0,27
A(g)	18	1,13	0,67
Af(g)	9	4,12	0,86
Afg	2	3,30	0,30
Af	4	3,22	0,83
Ga	1	0,59	—
Gaf	3	2,20	1,91
Fa(g)	2	14,36	9,45
Estuario total	54	2,25	3,11

Facies texturales según Folk (1974). Ver texto para la interpretación de la simbología.

constituidos por raicillas y fragmentos de hojas y vástagos de plantas palustres como totora y junquillo. Estos provienen de las extensas zonas anegadas del río Queule. Los sedimentos con el mayor contenido orgánico total situados en las proximidades de los muelles de la caleta, contienen cantidades muy elevadas de restos de origen animal (peces y moluscos). En todos los casos, la materia orgánica se halla en diversos estados de degradación, formando parte del fango de color negro en un medio reductor.

2.2.2. Invierno

La distribución de la materia orgánica en los sedimentos durante el muestreo de invierno se presenta en la Fig. 6. Los contenidos orgánicos fluctúan entre 0,23% y 21%. El área de sedimentos con un contenido orgánico entre 1% y 5% está más limitada en su extensión hacia la desembocadura en comparación al verano. La extensión de la franja de sedimentos con un contenido entre 5% y 10% está restringida al sector medio del estuario, no alcanzando a la marisma. De igual forma, aquellos con un contenido superior a 10% se localizan adosados a la parte más protegida de la caleta, junto a la ribera S; su extensión es más restringida que en verano.

La distribución de la materia orgánica es coincidente con aquella de las facies texturales de invierno (Fig. 4). Los contenidos de materia orgánica para cada facies se presentan en el Cuadro 4. La correlación efectuada entre el fango inorgánico y el fango orgánico de todas las muestras ($n = 54$) dio un coeficiente de correlación lineal de $r = 0,9820$ ($n.s. = 0,01$). El coeficiente para la correlación entre el fango inorgánico y la materia orgánica total fue $r = 0,9717$ ($n.s. = 0,01$).

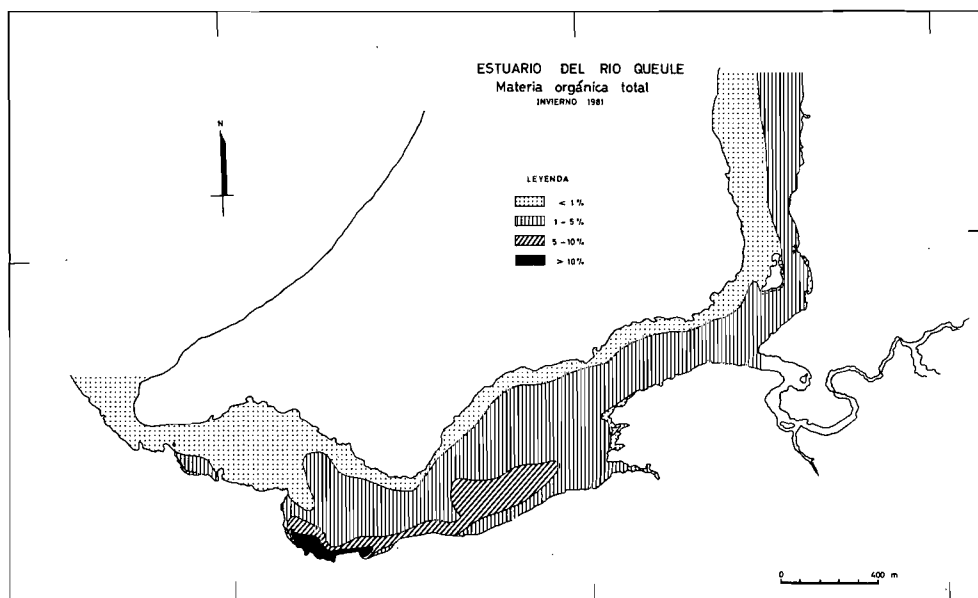


Fig. 6: Mapa de distribución de la materia orgánica carbonosa total. Estuario del río Queule. Invierno 1981

3. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los cambios ocurridos entre verano e invierno en la distribución de las facies texturales deben ser atribuidos principalmente a las variaciones en los niveles de energía de la corriente. En los meses invernales se producen los mayores caudales en el río; éstos persisten algunos días después que las precipitaciones han cesado temporalmente, como consecuencia de la acumulación de agua en las zonas intermareales bajas que abundan en la hoya hidrográfica y debido a la incapacidad del refluo para drenar el volumen de agua completo (de mareas y fluvial). De este modo la energía hidrodinámica presente en el estuario en el período de invierno es bastante mayor en magnitud y duración que en verano. Este mayor nivel de energía se manifiesta especialmente en aquellos

sectores del estuario en que se producen las mayores velocidades de la corriente de marea baja. Por otra parte, las tormentas invernales originan fuertes oleajes en la zona costera y también en el interior del estuario.

En relación a los mecanismos que generan la energía, en la desembocadura existe una fuerte influencia de las corrientes, pero hay un cierto efecto de las olas. Hacia el interior la influencia de las corrientes de marea y de densidad parece hacerse muy dominante por sobre la influencia de las olas. Así, en aquellos sectores donde el estuario adquiere gran amplitud, la velocidad de la corriente se atenúa y los niveles de energía son siempre más bajos.

A excepción de los sedimentos intermareales de granulometría gruesa de la ribera S, en general la distribución de las facies refleja las condiciones de energía cinética presentes en cada subambiente. La desembocadura, estuario inferior y ribera N se caracterizan por facies de arenas limpias (arenas y arenas levemente rudíticas) donde predominan energías altas. Los bajos valores de desviación standard que presentan (Cuadros 1 y 2) sugieren que las corrientes de marea parecen representar un eficiente mecanismo de selección. Facies de granulometría fina (en general arenas fangosas y fangos arenosos) se localizan en la parte media del estuario, donde la velocidad de la corriente se aminora, constituyendo un ambiente protegido. Estos sedimentos son mal seleccionados (Cuadros 1 y 2), característica que en parte se debe a un transporte selectivo de arenas de hábito planar (PINO & MULSOW, 1983), y en parte debe atribuirse también a depositación de flóculos de arcilla y de fango aglutinado por materia orgánica. En algunos sectores del estuario medio y superior, la localización de facies de granulometría fina y con altos contenidos orgánicos es consecuencia directa o indirecta del hundimiento y anegación de antiguas vegas durante el sismo y maremoto de 1960.

La mala selección de las facies intermareales de la ribera S se explica por una compleja mezcla de grava, arena y fango como consecuencia del depósito de escombros de falda en esa ribera y la activa erosión de las vertientes, a lo que se une la existencia de débiles corrientes, incapaces de seleccionar en forma efectiva los sedimentos.

La distribución de los valores de asimetría concuerda con las conclusiones obtenidas por DUANE (1964) en el sentido que las áreas de ambientes protegidos, donde los niveles de energía son bajos, están caracterizados por asimetrías positivas (principalmente estuario medio y superior), indicativas de procesos de depositación; donde la energía es alta se produce la acción de aventamiento y los sedimentos tienen asimetrías negativas, indicativas de áreas de erosión o no depositación.

Con respecto a los cambios en la distribución de las facies entre verano e invierno, se piensa que por una parte los mayores caudales invernales son capaces de provocar una mayor erosión en el estuario inferior lavando sedimentos finos, y por otra parte la mayor intensidad de la circulación estuarina puede también transportar arenas mediante la corriente de fondo que remonta el estuario, las que alcanzarían hasta el sector de la caleta. En ese lugar, por producirse abruptamente un ensanchamiento del cauce, es posible que constantemente ocurran variaciones en el régimen de las corrientes de mareas y de densidad. Es probable que a través de la desembocadura se produzca una penetración de arenas litorales hacia el estuario inferior, una de cuyas características sería su selección muy buena.

En general, en invierno en el estuario medio y superior hay una cierta expansión de la facies de sedimentos finos arena fangosa levemente rudítica (Af(g)) en desmedro especialmente de los sedimentos de la ribera N (arena levemente rudítica) (Fig. 3 y 4). Se sugiere que los mayores caudales invernales tienen el efecto de movilizar con cierta facilidad los sedimentos más finos dentro de esta zona, redistribuyendo los fangos y la materia orgánica de algunos sectores y logrando homogeneizar más los tipos de sedimentos. Sin embargo, aparentemente los fangos son incapaces de escapar de esta zona del estuario.

Por su parte, la relación de altos porcentajes de materia orgánica carbonosa total en sedimentos con alto contenido de fango en el estuario del río Queule, es coherente con idénticos resultados reportados por EMERY & STEVENSON (1957), KULM & BYRNE (1966), OTTMANN (1967), REINSON (1975) y RASHID & REINSON (1979) para otros estuarios. La distribución de la materia orgánica es asimétrica tanto en verano como en invierno, con valores ascendentes hacia la ribera S; allí, los sedimentos alcanzan contenidos superiores a 20%. De acuerdo a la literatura consultada, los contenidos de materia orgánica en las facies texturales del estuario del río Queule (Cuadros 3 y 4) parecen ser mayores que los que ocurren naturalmente en estuarios similares; reflejan de este modo una contaminación de los sedimentos con desechos de peces y moluscos vertidos en el sector de la caleta, como consecuencia de las actividades humanas del sector. El problema se acentúa por el hecho que este vertido se efectúa en los lugares de menor energía, donde los restos se acumulan sin posibilidad de ser arrastrados fuera del estuario. Al comparar los valores promedios de materia orgánica entre verano e invierno para el estuario total y para cada una de

las facies texturales (Cuadros 3 y 4) mediante un test "t" de Student, no se encontró diferencias estadísticamente significativas, de modo que durante el periodo estudiado no hubo incremento ni disminución en el contenido orgánico promedio. Sin embargo, la hidrodinámica propia del estuario fue capaz de modificar su distribución, concentrando una gran cantidad de ella en el sector protegido de la caleta.

Los antecedentes expuestos y discutidos anteriormente constituyen aún información básica sobre el ambiente sedimentario del estuario del río Queule. Se estima necesaria la realización de estudios detallados de al menos los siguientes aspectos:

- Hidrología del estuario y río Queule y comparación con estuarios chilenos ya estudiados (ARAYA-VERGARA, 1970).
- Dispersión de sedimentos de fondo mediante trazadores.
- Análisis morfoscópicos de arenas de sedimentos actuales.
- Composición de la materia orgánica, a fin de evaluar sus fuentes de origen y su permanencia en los sedimentos.

La información que proporcionarán estos estudios acerca de los sedimentos y los procesos que acontecen en el estuario, servirá como base para desarrollar un modelo de sedimentación local que refleje las interacciones entre los distintos agentes, las condiciones de depósito y la evolución temporal del conjunto. El establecimiento y desarrollo de los modelos sedimentarios tiene un carácter predictivo aplicable a estuarios del S de Chile de dinámica semejante desde el punto de vista morfoclimático y sirve, además, para la comparación con sedimentos antiguos y su interpretación. El conocimiento de los procesos permite obtener derivaciones prácticas en varios campos de aplicación, si se considera la interacción sistemática entre los estuarios, su entorno natural y las funciones de los asentamientos humanos.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece sinceramente al Profesor Juan Varela B., geólogo del Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Chile, por la dirección de la tesis de grado de la cual este trabajo formó parte.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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.
- ARAYA-VERGARA, J.F. 1976. Reconocimiento de tipos e individuos geomorfológicos regionales en la costa de Chile. *Inform. Geogr. Chile*. 23: 9-30.
- BYERS, S., E. MILLS & P. STEWART. 1978. A comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments, with suggestions for a standard method. *Hydrobiologia*. 51 (1): 45-52.
- DUANE, D. 1964. Significance of skewness in recent sediments, western Pamlico Sound, North Carolina. *J. Sed. Petrology*. 34: 864-874.
- EMERY, K. & R. STEVENSON. 1957. Sedimentation in Estuaries, Tidal Flats and Marshes. In: *Treatise on Marine Ecology and Paleoecology* I. Hedgpeth, J. (Ed.). Geological Society of America. Memoir 67: 729-736.
- FOLK, R. 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Co. University of Texas, Austin. Texas.
- HOOPER, D. 1979. Hydrographic surveying. In: *Estuarine Hydrography and Sedimentation*. K.R. Dyer (Ed.). Cambridge University Press.
- ILLIES, H. 1970. Geología de los alrededores de Valdivia y Volcanismo y Tectónica en márgenes del Pacífico en Chile Meridional. Instituto de Geología y Geografía. Universidad Austral de Chile.
- JARAMILLO, E., M. PINO, S. MULSOW, G. AGUILAR & A. TURNER. 1980. Relaciones fauna-sedimento en un estuario del Sur de Chile. *Archivos de Biología y Medicina Experimentales*. 13 (1): 77.
- KULM, L. & J. BYRNE. 1966. Sedimentary response to hydrography in an Oregon estuary. *Marine Geol.* 4: 85-118.
- MCBRIDE, E. 1971. *Mathematical treatment of size distribution data*. In: *Procedures in Sedimentary Petrology*. R. Carver (Ed.). Wiley Interscience. N.Y. U.S.A.: 109-127.
- OTTMANN, F. 1967. Introducción a la Geología Marina y Litoral. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires.
- PINO, M. & S. MULSOW. 1983. Distribución de facies granulométricas en el estuario del río Queule, IX Región: Un análisis de Componentes Principales. *R. Geol. de Chile*. 18: 77-85.
- RASHID, M. & G. REINSON. 1979. Organic Matter in superficial sediments of the Miramichi Estuary, New Brunswick, Canada. *Estuarine and Coastal Marine Science*. 8: 23-36.
- REINSON, G. 1975. Geochemistry of muds from a shallow restricted estuary, Australia. *Marine Geol.* 19: 297-314.
- RISOPATRÓN, L. 1924. *Diccionario Jeográfico de Chile*. Imprenta Universitaria. Santiago.
- ZEIL, W. 1964. *Geologie von Chile. Beiträge zur regionalen Geologie der Erde*. Band 3. Berlin.