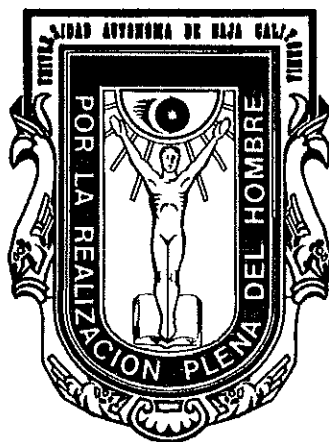


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS**

**PROCEDENCIA Y DISPERSIÓN DE LOS SEDIMENTOS  
EN EL NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA**



**TESIS**  
**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**MAESTRO EN CIENCIAS**  
**EN OCEANOGRAFÍA COSTERA**  
**PRESENTA:**  
**ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ**

**Ensenada, Baja California**

**Noviembre de 1997**

**PROCEDENCIA Y DISPERSIÓN DE LOS SEDIMENTOS  
EN EL NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

**QUE PRESENTA:**

**ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ**

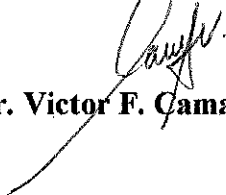
**APROBADA POR:**

**Presidente del jurado:**



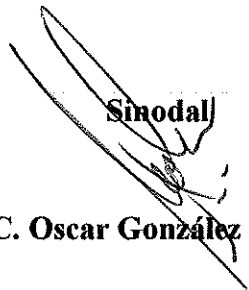
**Dr. José D. Carriquiry Beltrán**

**Sinodal**



**Dr. Victor F. Camacho Ibar**

**Sinodal**



**M.C. Oscar González Yajimovich**

## DEDICATORIAS

A mi padre (qdep) Raúl Sánchez Ávila, por enseñarme lo mejor de la vida y sobre por ser mi mejor amigo. A mi madre Margarita González de Sánchez, por soportar todos mis caprichos y conducirme en los momentos más difíciles de la vida.

A mis hermanos Virginia, Raúl, Sergio, Mario, Francisco, Froylan, Guadalupe, Armando y Oscar, por los momentos incomparables.

A mis sobrinos y nietos-sobrinos que son.....ya perdí la cuenta.

A los incomparables Lalo, Fernando, Lucí, Rocío, Gabriel, Pedro, Patty, Cesar, Sergio, ..... mas lo que se me escapen, por esos momentos divertidos.

A mi niña por todo su comprensión y paciencia que me ha tenido, por todo el amor, Leslie Aveytua.

A mis amigos y compañeros de la UABC.

## AGRADECIMIENTOS

Muy especialmente al Dr. José D. Carriquiry B. por su apoyo y orientación que me permitieron el desarrollo de este trabajo, y por su desinteresada amistad, mil gracias Pepe.

Al Dr. Víctor Camacho y M.C. Oscar González por sus valiosos comentarios y recomendaciones durante la realización de este proyecto de tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por financiar el proyecto de investigación, mediante el programa 3929 “Efectos de las descargas del Río Colorado en la geoquímica de los sedimentos recientes del Alto Golfo de California”.

Por último deseo agradecer a CONACyT, organismo gubernamental que cubrió el monto de la colegiatura y mi manutención durante mi estancia en el Posgrado en Oceanografía Costera de la Universidad Autónoma de Baja California.

## RESUMEN

A principios de siglo el delta del Río Colorado, el Alto Golfo de California y Norte del Golfo de California (NGC) recibían un aporte sedimentario de  $160 \times 10^6$  ton/año por parte de un río. Sin embargo, a raíz del embalsamiento y al desvío del cauce para propósitos agrícolas y urbanos, la cuenca hidrológica del Río Colorado ha eliminado totalmente tanto la descarga fluvial como el abastecimiento sedimentario a estas regiones. Después de 40 años de cortado el flujo riverino, los procesos sedimentarios (origen y dispersión de partículas) previamente establecidos en toda la región pudieron haber cambiado significativamente. Con la finalidad de identificar las fuentes actuales y el patrón residual de transporte y dispersión de los sedimentos, se realizó una colecta de 59 muestras de sedimentos superficiales a lo largo y ancho de esta cuenca marina.

Los resultados obtenidos mostraron un claro y consistente gradiente textural NE - SW en el NGC. El patrón residual de transporte indicó que existen dos grandes componentes de transporte: (1) transversal a las cuencas con una dirección NE a SW; y (2) paralelo a las plataformas del NGC. La dispersión de los sedimentos sugiere un movimiento predominante en sentido contrario a las manecillas del reloj, resultando consistente con el sistema de corrientes oceánicas del NGC. Cuatro "depocentros" fueron identificados, tres de ellos relacionados a las cuencas profundas del NGC.

El análisis de grupo de datos mineralógicos reveló la existencia de cuatro provincias: (1) Delta del Río Colorado (PDRC) con una asociación de Anfíbol-Epidota-Piroxenos; (2) Río Concepción (PRC) caracterizada por Epidota-Anfíbol-Piroxenos; (3) Baja-Sonora (PBS) con una monoasociación de Anfíbol; y (4) Transicional (PT) caracterizada por Epidota-Anfíbol-Piroxenos. Las asociaciones mineralógicas de cada provincia reflejan, las fuentes de abastecimiento que les dieron origen con excepción de la PT que es producto de la mezcla de sedimentos derivados de las PDRC y PRC. La distribución espacial de las mismas confirma el patrón de transporte y dispersión de sedimentos en la zona de estudio, donde el material sedimentario de las PRC y PT empiezan a "invadir" áreas previamente dominadas por las descargas fluviales del Río Colorado. Por otra parte, los aportes del Gran Desierto de Sonora comienzan a ser más evidentes, al menos en las estaciones costeras de la margen este del NGC, donde existe un enriquecimiento de zircón y granate en un factor de 4 y 2, con respecto a estudios anteriores.

Cinco subfacies fueron definidas, las cuales son relacionadas a los procesos sedimentarios de la región. La subfacie Arcilla Diatomeacea refleja el aporte propio de la columna de agua (alta productividad primaria) del NGC. Aunque se ha reportado que los sedimentos arenosos transgresivos cubrían en un 70 % las plataformas someras del NGC, actualmente están siendo "invadidos" por materiales de grano fino procedentes de la estructura deltaica, quedando restringidos a áreas relacionadas con líneas de costas recientes y antiguas (paleolíneas). La subfacie de Plataforma-Pendiente se caracterizan principalmente por limos y arcillas derivados de la estructura de deltáica y el Gran Desierto de Sonora. Las subfacies Arenas Calcáreas y Deltáica Distal reflejan procesos muy locales relacionados a las condiciones hidrodinámicas prevalecientes.

## ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS PARTICULARES.....	4
ÁREA DE ESTUDIO.....	5
Geología.....	5
Áreas fuente.....	5
Oceanografía.....	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
Colecta y análisis de muestras.....	10
Análisis textural.....	10
Análisis composicional.....	10
Análisis estadístico.....	12
Modelo de transporte sedimentario.....	13
RESULTADOS.....	14
SEDIMENTOLOGIA.....	14
Características litológicas.....	14
Grupos sedimentarios.....	15
Facies sedimentarias.....	15
TRANSPORTE Y DISPERSIÓN DE LOS SEDIMENTOS..	22
Tendencias texturales.....	22
Patrón residual de transporte de los sedimentos.....	26
COMPOSICIÓN BIOGÉNICA.....	28
Carbonato de Calcio.....	28
Sílice.....	28
Materia orgánica total.....	28
COMPOSICIÓN MINERALÓGICA.....	32
Minerales pesados.....	32
Razón Cuarzo/Feldespato.....	36

DISCUSIÓN.....	38
FACIES SEDIMENTARIAS.....	39
PROCEDENCIA Y DISPERSIÓN SEDIMENTARIA.....	47
CONCLUSIONES.....	53
REFERENCIAS.....	57

## LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Valores de las distancias cuadradas de Mahalanobi y F de Snedecor obtenidas del análisis discriminante de las facies sedimentarias previamente definidas del análisis de grupo multivariado.	19
2	Composición promedio de las asociaciones mineralógicas que caracterizan a las provincias mineralógicas en el Norte del Golfo de California.	32
3	Valores de las distancias cuadradas de Mahalanobi y F de Snedecor obtenidas del análisis discriminante de las provincias mineralógicas previamente definidas del análisis de grupo multivariado.	35
4	Características texturales y composicionales de las subfacies en el Norte del Golfo de California.	42

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización del área de estudio describiendo los rasgos batimétricos y topográficos del relieve submarino (modificado de Lavin <i>et al.</i> , 1995).	6
2	Localización de las estaciones de muestreo en el Norte del Golfo de California.	11
3	Distribución espacial de los depósitos sedimentarios en el Norte del Golfo de California.	15
4a,b	Relación de los parámetros texturales (unidades phi), delimitando los grupos sedimentarios presentes en el Norte del Golfo de California.	17
5	Distribución espacial de los grupos sedimentarios en el Norte del Golfo de California, a partir de las comparación gráfica de los parámetros texturales.	18
6	Facies sedimentarias en el Norte del Golfo de California, obtenidas del análisis de grupo en modo -Q, utilizando las características y parámetros texturales de los sedimentos superficiales (el corte se realizó a una distancia de 1.1).	20
7	Facies sedimentarias en el Norte del Golfo de California, obtenidas mediante el análisis de grupo (modo -Q) de los datos del sedimento.	21
8	Distribución espacial del tamaño de grano medio (unidades phi) de los sedimentos superficiales del Norte del Golfo de California	23
9	Distribución espacial de los coeficientes de la clasificación (en unidades phi) de los sedimentos superficiales del Norte del Golfo de California.	24

10	Distribución espacial de los coeficientes de la asimetría (en unidades phi) de los sedimentos superficiales del Norte del Golfo de California.	25
11	Patrón residual de transporte de sedimentos superficiales en el Norte del Golfo de California.	27
12	Variación espacial del contenido de carbonatos biogénicos (en porcentaje) en los sedimentos superficiales del Norte del Golfo de California.	29
13	Variación espacial del contenido de sílice biogénico (en porcentaje) en los sedimentos superficiales del Norte del Golfo de California.	30
14	Variación espacial del contenido de materia orgánica total (en porcentaje) en los sedimentos superficiales del Norte del Golfo de California.	31
15	Provincias mineralógicas en el Norte del Golfo de California, obtenidas del análisis de grupo en modo -Q (el corte se realizó a una distancia de 40).	33
16	Provincias mineralógicas en el Norte del Golfo de California, obtenidas del dendrograma de la Figura 15.	34
17	Variación espacial de la razón Q/F en los sedimentos superficiales del Norte del Golfo de California.	37
18	Distribución de subfacies depositacionales en el Norte del Golfo de California.	41

## INTRODUCCIÓN

Las terrazas continentales marinas son márgenes sumergidas que se extienden desde la zona litoral hasta las cuencas profundas oceánicas (Bearman, 1989; Shepard, 1973). Su importancia se fundamenta en el estudio de procesos sedimentarios e hidrodinámicos, con la finalidad de mejorar nuestro entendimiento sobre la formación y explotación de recursos no renovables; el monitoreo y dispersión de contaminantes arrojados al océano; administración y manejo de la zona litoral; y la modelación de facies sedimentarias asociadas a paleoambientes específicos (Stanley, 1996; Wright y Nittrouer, 1995; Pujos *et al.*, 1990; Stanley, 1989; Swift, 1985; Reading, 1985; Miall, 1984; Shepard, 1973).

La evolución de los depósitos sedimentarios de terrazas continentales esta controlada por factores como la razón de descarga agua/sedimento del sistema fluvial a las márgenes continentales, el régimen hidrodinámico oceánico, la textura de los sedimentos, la geometría de la margen y cuenca receptora, y cambios en el nivel medio del mar (Wright y Nittrouer, 1995; Nittrouer *et al.*, 1991; Lee *et al.*, 1988; Tillman, 1985; Maldonado *et al.*, 1983; Shideler, 1975; Milliman *et al.*, 1972). Aún cuando los factores anteriores ocurren de manera simultánea sobre una amplia escala temporal y espacial, la naturaleza y relativa intensidad de los mismos determinan el desarrollo de los diversos ambientes sedimentarios (Nittrouer *et al.*, 1991; Kuehl *et al.*, 1986).

Aunque el aporte sedimentario de los ríos es importante en el desarrollo y evolución de estos ambientes sedimentarios, la eliminación del abastecimiento

sedimentario a dichos sistemas por el embalsamiento de ríos no ha sido ampliamente descrito y sus efectos no del todo bien conocidos. El caso del represamiento del Río Nilo y sus consecuencias en las márgenes continentales es el único estudio hasta hoy documentado (Stanley, 1996; Frihy, 1994; Frihy y Komar, 1993; Frihy y Komar, 1991; Stanley, 1989; Milliman y Meade, 1987; Milliman *et al.*, 1987).

En el caso particular del Norte del Golfo de California (NGC) puede ser considerado como el único ambiente epicontinental con cuencas profundas (no abisales) que recibiera gran cantidad de sedimentos (*ca.*  $10^6$  Ton/Año) por parte de un río [Río Colorado (Meckel, 1975; van Andel, 1964)]. Sin embargo, a raíz del embalsamiento del río y al desvío del cauce para uso agrícola y doméstico, la descarga promedio anual disminuyó de  $21,370 \times 10^6$  m<sup>3</sup> hasta a  $850 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, la cual equivale al 4% de la que se tenía a principios de siglo (Baba *et al.*, 1991a). Dicho porcentaje de agua es completamente utilizado en el valle y zona urbana de Mexicali, por lo tanto la descarga fluvial del Río Colorado al Alto Golfo de California (AGC) y NGC ha sido enteramente nulificada, lo que pudo haber ocasionado cambios importantes en los procesos sedimentarios de la región. Aún cuando se tienen evidencias de que las Cuencas Delfin, Tiburón y Salsipuedes están recibiendo materiales sedimentarios a razones equivalentes a las que se tenían a principios de siglo (Baba *et al.*, 1991a), ello nos indica que existen fuentes de abastecimiento alternas [*e.g.*, el aporte eólico del Gran Desierto de Sonora; la erosión y retrabajamiento de la estructura deltaica del Río Colorado (Carriquiry, 1993; Baba *et al.*, 1991a,b; Baumgartner *et al.*, 1991; Blount y Lancaster, 1990; Meckel, 1975; Thompson, 1968 )].

Existen pocos trabajos enfocados a estudiar los procesos de sedimentación y origen de los materiales clásticos en el NGC. La información más relevante al presente estudio es sobre las fuentes de sedimentos a la región cuando el río se encontraba activo (van Andel, 1964; Byrne y Emery, 1960). En los mencionados trabajos se establece que el Río Colorado no sólo aportaba grandes cantidades de sedimentos, sino que era dominante sobre otras fuentes (erosión de cantiles y cuencas de drenaje locales), estableciendo que dichos sedimentos se caracterizaban por una asociación Anfíbol-Epidota-Piroxenos. Van Andel (1964) encontró que los depósitos arenosos cubren el 70 % de la plataforma somera del NGC, y que por su alto contenido de glauconita sugieren que esta zona se encuentra en una etapa no-depositacional, y muy probablemente de intenso retrabajamiento.

El presente trabajo estudia la procedencia y dispersión de los sedimentos en el NGC mediante el análisis de sus propiedades texturales, características mineralógicas y el patrón residual de transporte sedimentario. En base a estos análisis y otros estudios previos en el área se discute sobre los procesos sedimentarios dominantes en el NGC después de 40 años del embalsamiento del Río Colorado.

## **OBJETIVO GENERAL**

- ▲ Determinar la procedencia y dispersión de los sedimentos superficiales en el Norte del Golfo de California.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- ▲ Identificar las fuentes de sedimentos recientes en la plataforma continental y cuencas profundas.
- ▲ Definir las facies sedimentarias y provincias mineralógicas en el NGC.
- ▲ Determinar el patrón de dispersión de los sedimentos en el NGC, mediante el análisis vectorial de los datos texturales del sedimento.

## ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California (GC) es una cuenca separada del Océano Pacífico por la Península de Baja California. Debido a la presencia de las grandes islas (I. Ángel de la Guarda y Tiburón) y una elevación topográfica del fondo marino (sill), el GC puede ser dividido en dos grandes provincias fisiográficas: el Norte del Golfo de California (NGC) y el Golfo Central-Sur (GCS).

### **\*Geología.**

El GC se originó hace *ca.* 5 - 8 ma (Ortlieb, 1991) como consecuencia de desplazamientos de fallas transformes localizadas hoy día a lo largo del eje central del golfo (Lonsdale, 1989; Rusnak *et al.*, 1964). La morfología submarina del GC presenta cambios extremos en su relieve (Van Andel, 1964). Dentro del contexto del GC, excepto por las Cuencas Delfín, Salsipuedes y Tiburón, el NGC es una cuenca relativamente somera con profundidades que no exceden los 200 m (Fig. 1).

Las unidades litológicas principales presentes en la Península de Baja California y el México continental, y que circundan al NGC están constituidas por rocas plutónicas asociadas a metamórficas; rocas volcánicas de la Formación Comondú; y rocas sedimentarias y sedimentos no consolidados presentes a lo largo de las planicies costeras de Sonora y Baja California (Ortlieb, 1991).

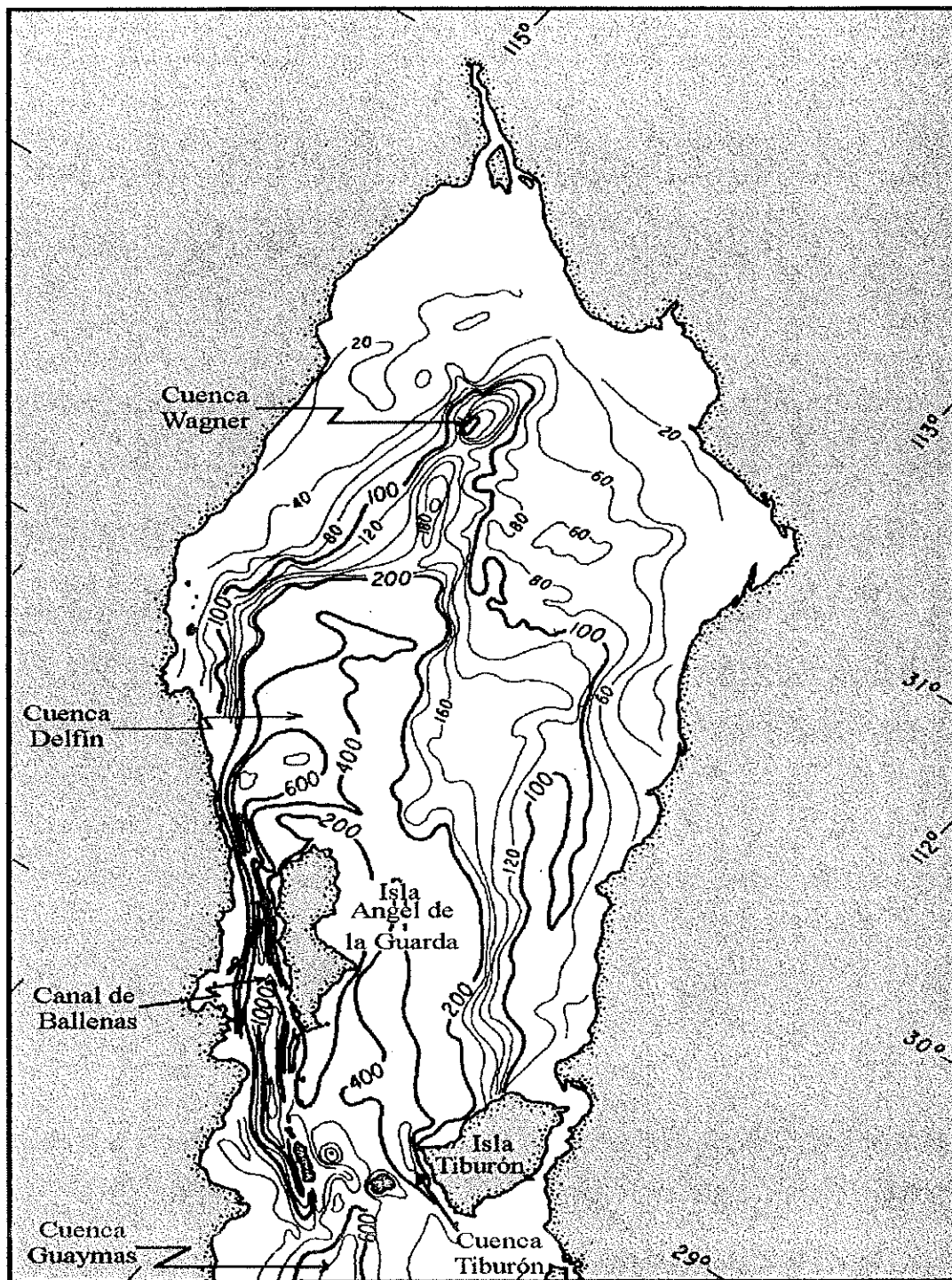


Figura 1. Localización del área de estudio describiendo los rasgos batimétricos y topográficos del relieve submarino del Norte del Golfo de California (modificado de Lavin et al., 1995).

### \*Áreas fuente

Las fuentes históricas de suministro sedimentario a la cuenca del NGC han sido: (1) Río Colorado; (2) Río Concepción; (3) planicies costeras de Sonora y Baja California; y (4) Gran Desierto y Mesa de Sonora.

Río Colorado. A todo lo largo de su cuenca de drenaje se mezclan sedimentos de rocas volcánicas, plutónicas y sedimentarias. La asociación mineralógica del río es caracterizada por tener más del 75 % de componentes ígneos y cerca del 15 % de minerales estables. Las especies minerales dominantes son anfíbol, epidota y piroxeno (Carriquiry y Sánchez-González, sometida; Girty y Armitage, 1989; Thompson, 1968; van Andel, 1964) con una razón de cuarzo/feldespatos ( $Q/F > 1$ ) (Sánchez-González, 1995; Baba *et al.*, 1991a,b).

Río Concepción. En su cuenca hidrológica drena sedimentos con un alto contenido de epidota, bajo contenido de minerales volcánicos, razones epidota/anfíbol de  $\sim 1.0$  en la fracción arenosa (van Andel, 1964) y  $Q/F < 0.2$  en la fracción limos-arcillas (Baba *et al.*, 1991b)

Planicies costeras. El análisis mineralógico realizado por van Andel (1964) en algunas playas de bolsillo del NGC, le permitió definir dos asociaciones distintivas: (1) sedimentos caracterizados por anfíboles con un menor contenido de apatita y epidota; y (2) una asociación dominada por piroxenos (augita e hiperstena) y hornblenda basáltica.

Gran Desierto y Mesa de Sonora. Sedimentos caracterizados por una asociación de granate, zircón y hornblenda derivados de los extensos campos de dunas y terrazas marinas originadas durante el Plio-Pleistoceno (Blount y Lancaster, 1990).

## \*Oceanografía

Una de las principales características del NGC es su alta productividad primaria, la cual contrasta con otras cuencas semicerradas (*e.g.*, Mar Mediterráneo). Los procesos de mezcla generados por el régimen hidrodinámico de la región ocasionan un constante flujo de nutrientes hacia la zona eufótica, permitiendo florecimientos fitoplanctónicos (Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991) y un alto aporte de sílice biogénico al fondo (Calvert, 1964).

Sistema de corrientes. El patrón de corrientes es originado por diversos agentes hidrodinámicos: mareas, oleaje, flujos por convección vertical y corrientes geostróficas.

Las mareas son una componente importante del régimen hidráulico de la región (Marinone y Lavin, 1997), y esto es especialmente válido para el AGC y la zona alrededor de las grandes islas. En el AGC, la marea semidiurna (con una amplitud de ~ 10 m) ocasiona intensas corrientes de hasta  $300 \text{ cms}^{-1}$  (Cupul-Magaña, 1994; Thompson, 1979, 1968). Asimismo, en el área de las grandes islas al estar restringida topográficamente se generan corrientes de hasta  $200 \text{ cms}^{-1}$  (Bray y Robles, 1991; Badán-Dangón *et al.*, 1989). Las componentes residuales de marea en la región del NGC, predichas por modelos matemáticos, indican dos direcciones con flujo invertido: con vientos del noroeste se predice una circulación anticiclónica y con vientos del sureste una circulación ciclónica (Marinone y Lavin, 1996).

La excesiva evaporación y/o enfriamiento de la capas superficiales en el somero AGC (< 60 m) genera flujos por convección vertical formando una masa de agua de alta salinidad y densidad que fluye por debajo de los 40 m hacia regiones más profundas

(Cuenca Wagner y Cuenca Delfin), mientras que aguas menos salinas y densas de regiones más oceánicas fluyen por arriba de esta profundidad hacia el AGC (Lavin *et al*., 1995, Bray y Robles, 1991; Bray, 1988).

De manera general, se han propuesto dos sistemas de circulación termohalina superficial y/o subsuperficial en el NGC: (1) un giro anticiclónico durante el otoño-invierno con velocidades mínimas; y 2) un giro ciclónico en primavera-verano con velocidades máximas de  $25 \text{ cms}^{-1}$  (Carrillo-Bribiesca, comunicación personal).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### \*Colecta y Análisis de muestras

Durante los meses de Julio-Agosto de 1995 se colectaron 59 muestras de sedimentos superficiales en el NGC (Fig. 2), utilizando una draga Van Veen; de los cuales solo se utilizaron los primeros 2 cm del sedimento para los objetivos de este estudio.

**\*Análisis textural:** el análisis del tamaño de grano de los sedimentos se realizó de acuerdo a las metodologías de Ingram (1971) y Galehouse (1971). Los parámetros texturales [método de los momentos (McManus, 1988)] fueron calculados de los datos granulométricos, utilizando para ello un programa en Fortran "Sedim".

**\*Análisis composicional:** Cada muestra se dividió en dos replicas con el fin de estudiar tanto la fracción litogénica (mineralogía de ligeros y pesados) como la fracción biogénica [carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), ópalo biogénico ( $\text{SiO}_2$ ) y materia orgánica total (MOT)].

Análisis mineralógico: se realizó en dos fracciones (*i.e.*, 3.0  $\phi$  + 3.5  $\phi$ ) por encontrarse ahí la mayor abundancia y diversidad de especies minerales (Morton, 1985; Rittenhouse, 1943); esto es especialmente válido para el GC (van Andel, 1964). Una vez obtenidas las fracciones de cada muestra se procedió a la separación de los minerales pesados de los ligeros mediante la centrifugación del sedimento en un líquido de alta densidad específica (Politungstenato de Sodio,  $\delta = 2.88$ ), de acuerdo a los métodos descritos por Commeau *et al.* (1991) y Callahan (1987).

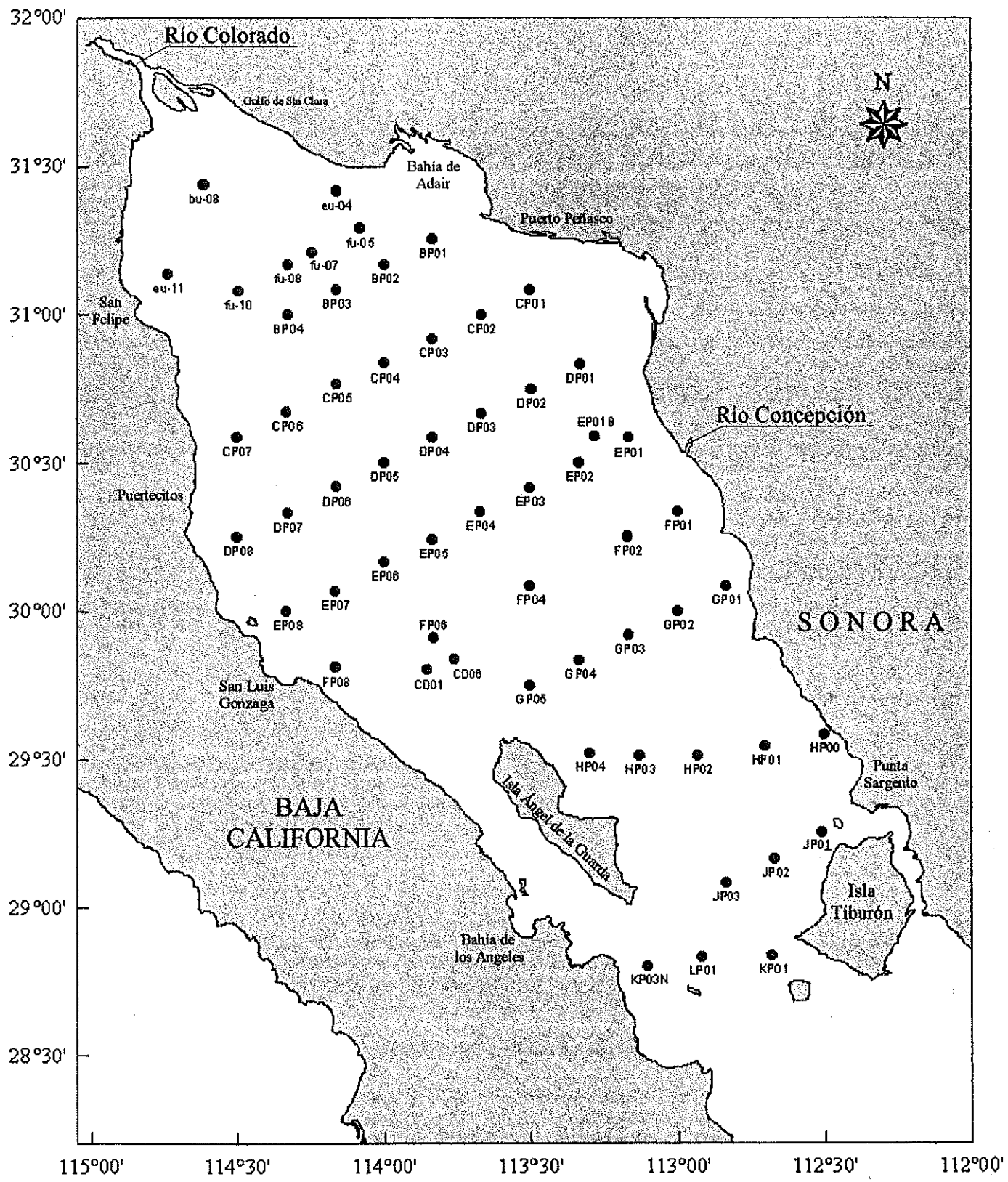


Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo en el Norte del Golfo de California

Los minerales pesados obtenidos se montaron sobre portaobjetos de vidrio con un medio de montaje cuyo índice de refracción es conocido [Histoclad,  $\eta = 1.54$ ; Shelley, 1985]. Posteriormente, estos se identificaron directamente al microscopio, contando hasta 300 granos (Morton, 1985; Dryden, 1935) empleando la técnica de conteo de Rammesán (1966).

Los minerales ligeros fueron teñidos de acuerdo a la técnica de Houghton (1980) misma que es específica para feldespatos, permitiendo diferenciarlos de los minerales de cuarzo (Muller, 1967). El conteo de minerales se realizó por la técnica de Ingersoll *et al.* (1984).

Análisis del material biogénico: La MOT y el  $\text{CaCO}_3$  se determinaron de acuerdo a la metodología de Dean (1974), la cual consiste en la combustión de la muestra a  $550^\circ\text{C}$  por 1h para la MOT, seguida por una combustión a  $1000^\circ\text{C}$  por 1h para el  $\text{CaCO}_3$ . El  $\text{SiO}_2$  se cuantificó por el método de Eggimann *et al.* (1980) tratando la muestra sedimentaria con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y calentamiento a  $100^\circ\text{C}/45$  min.. El contenido del material biogénico se expresa en porcentaje (%), a partir de la pérdida por peso de la muestra después del tratamiento.

**\*Análisis estadísticos multivariados:** los métodos estadísticos aplicados fueron: (1) análisis de grupo; y (2) análisis discriminante con el fin de validar estadísticamente los resultados del análisis de grupo (en modo -Q). El Análisis de Grupo multivariado de carácter exploratorio para datos en modo Q (muestra vs muestra) permite definir las facies y provincias entre las localidades (muestras) que se caracterizan por tener una fuerte correlación entre sí por su contenido mineral y textural (Carriquiry, 1985; Leinen y Pisas,

1984). La significancia estadística de las facies y provincias fue corroborada por análisis discriminante, calculando una varianza a partir de las distancias cuadradas de Mahalanobi (El-Ella y Coleman, 1985; Ali *et al.*, 1976).

**×Modelo de transporte sedimentario:** en el presente estudio se utilizó el modelo propuesto Gao y Collins (1994) que se basa en los cambios espaciales de las características texturales de los sedimentos, permitiendo con ello determinar el patrón residual de transporte de los sedimentos. El procedimiento consiste en definir el “vector de tendencia” por comparación de cada muestra con su estación “vecina”. Para identificar una estación “vecina”, es necesario establecer una distancia característica ( $D_{\sigma}$ ), representada por la máximo intervalo espacial de muestreo. Si la distancia entre dos sitios de muestreo es menor a la  $D_{\sigma}$  son considerados sitios “vecinos” y sus parámetros texturales (media, clasificación y asimetría) son comparados. La dirección del “vector de tendencia” va del sitio con pobre clasificación a el sitio de mejor dispersión. Los “vectores de tendencias” son sumados para producir un vector resultante para aquellas estaciones con más de un vector tendencia identificado del primer paso. Finalmente una operación de filtrado es aplicada para reducir el ruido (definido como los vectores que no están en concordancia con el patrón general de transporte residual).

## RESULTADOS

### ➤ Sedimentología del Norte del Golfo de California

#### ×Características litológicas

En la descripción regional de los sedimentos superficiales del NGC se aplicó la clasificación textural propuesta por Shepard (1954). Cuatro grupos texturales dominan las características sedimentarias en el NGC: (1) arenas finas; (2) arenas con limo y/o arcillas; (3) arcillas con arenas y/o limos; y (4) limos con arenas y/o arcillas. Litologías con sedimentos superficiales conteniendo únicamente arcillas y/o limos son raras.

De manera general, los grupos sedimentarios se encuentran espacialmente bien definidos (Fig. 3). Los sedimentos arcillosos conteniendo limos y/o arenas cubren la margen oeste del NGC, incluyendo la Cuenca Delfin. Adyacente a este depósito, no excediendo los 200 m de profundidad, arenas limosas o arcillosas cubren la zona norte de la margen este y la porción central del NGC.

La región sur del NGC (entre las grandes islas y la costa Sur de Sonora) presenta dos poblaciones sedimentarias: una de ellas arenosa, localizada en las zonas cercanas a la costa y estaciones relativamente profundas [e.g., estación KP03N con 783 m (Figs. 2 y 3)]. Esta población arenosa delimita a un segundo grupo con limo arenosos y/o arcillosos, localizado en la porción central del sur del NGC, extendiéndose hacia al norte de la margen este de la región. Fuera de la desembocadura del Río Concepción se presenta una pequeña población arenosa.

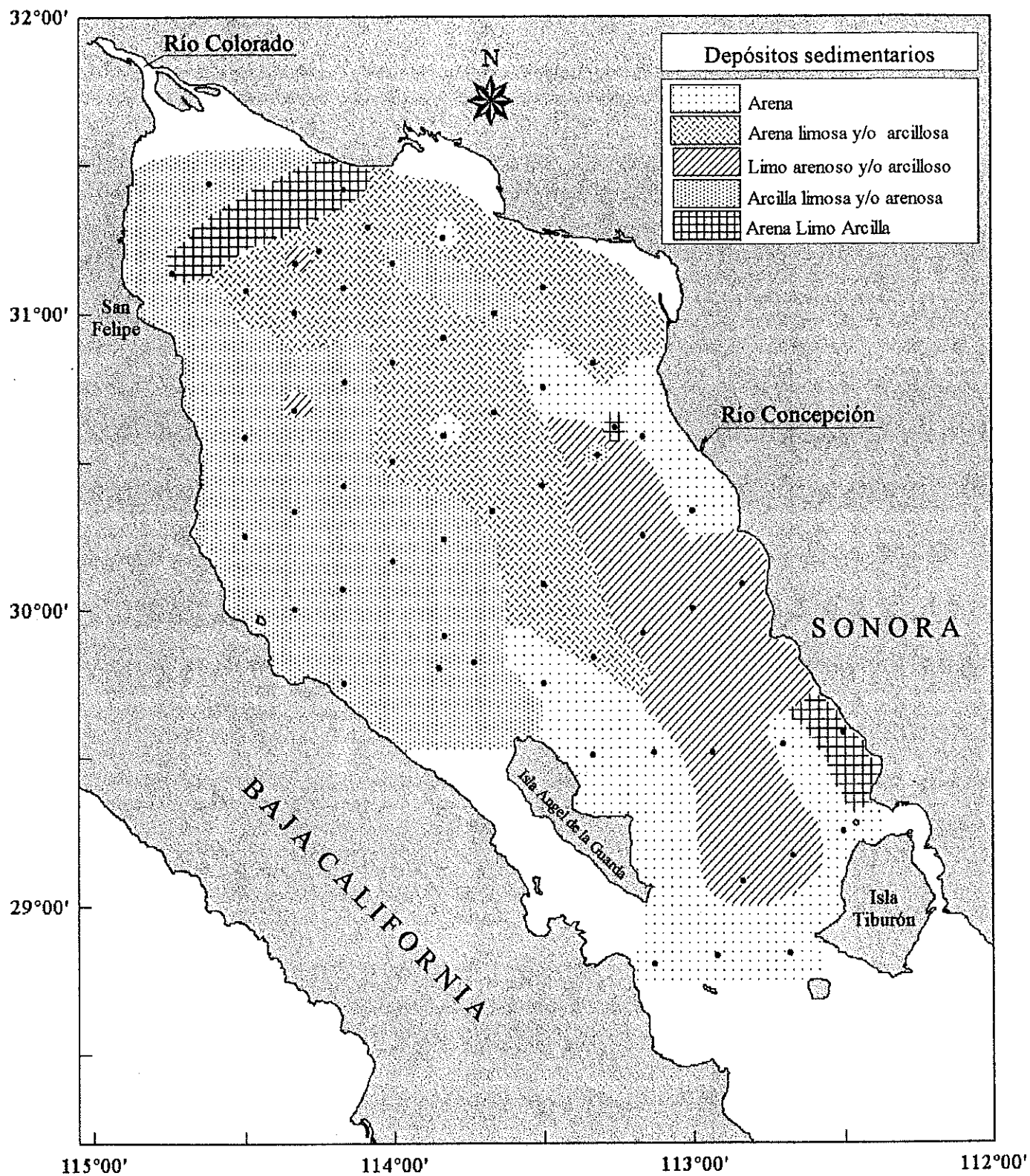


Figura 3. Distribución espacial de los depósitos sedimentarios en el Norte del Golfo de California, de acuerdo a las características texturales del sedimento.

✱**Grupos sedimentarios.** La comparación gráfica de la media vs clasificación-asimetría ha sido utilizada eficazmente para delinear grupos sedimentarios (McManus, 1988; Ashley, 1978; Reineck y Singh, 1975). En base a ello, se obtuvo que en el NGC existen tres grupos sedimentarios bien definidos (Figs. 4a y b) cuya distribución espacial se muestra en la Figura 5.

*Grupo I:* sedimentos muy finos, con un tamaño de grano medio promedio ( $\bar{M}$ ) de 8.21  $\phi$ , moderadamente bien clasificados y una fuerte asimetría hacia los gruesos. Este grupo se localiza a lo largo de la margen oeste del NGC.

*Grupo II:* material sedimentario con una  $\bar{M} = 3.26 \phi$ , pobremente clasificados y asimetría hacia los finos. Se distribuyen desde la zona norte de la margen este del NGC hasta la región de las grandes islas. Es el grupo de mayor extensión espacial.

*Grupo III:* sedimentos con una  $\bar{M} = 5.98 \phi$ , casi simétricos con una clasificación de pobre a moderada. Este grupo cubre las plataformas y pendientes de la costa sonorensis y la isla Ángel de la Guarda.

✱**Facies sedimentarias.** Los resultados obtenidos mediante la clasificación textural de Shepard como por los diagramas de dispersión de los parámetros texturales (media vs clasificación-asimetría) mostraron una gran coherencia, produciendo grupos sedimentarios con una distribución espacial muy similar. Para dar mayor peso a estos resultados, se realizó un análisis de grupo multivariado en modo-Q, donde se incluyeron todas las



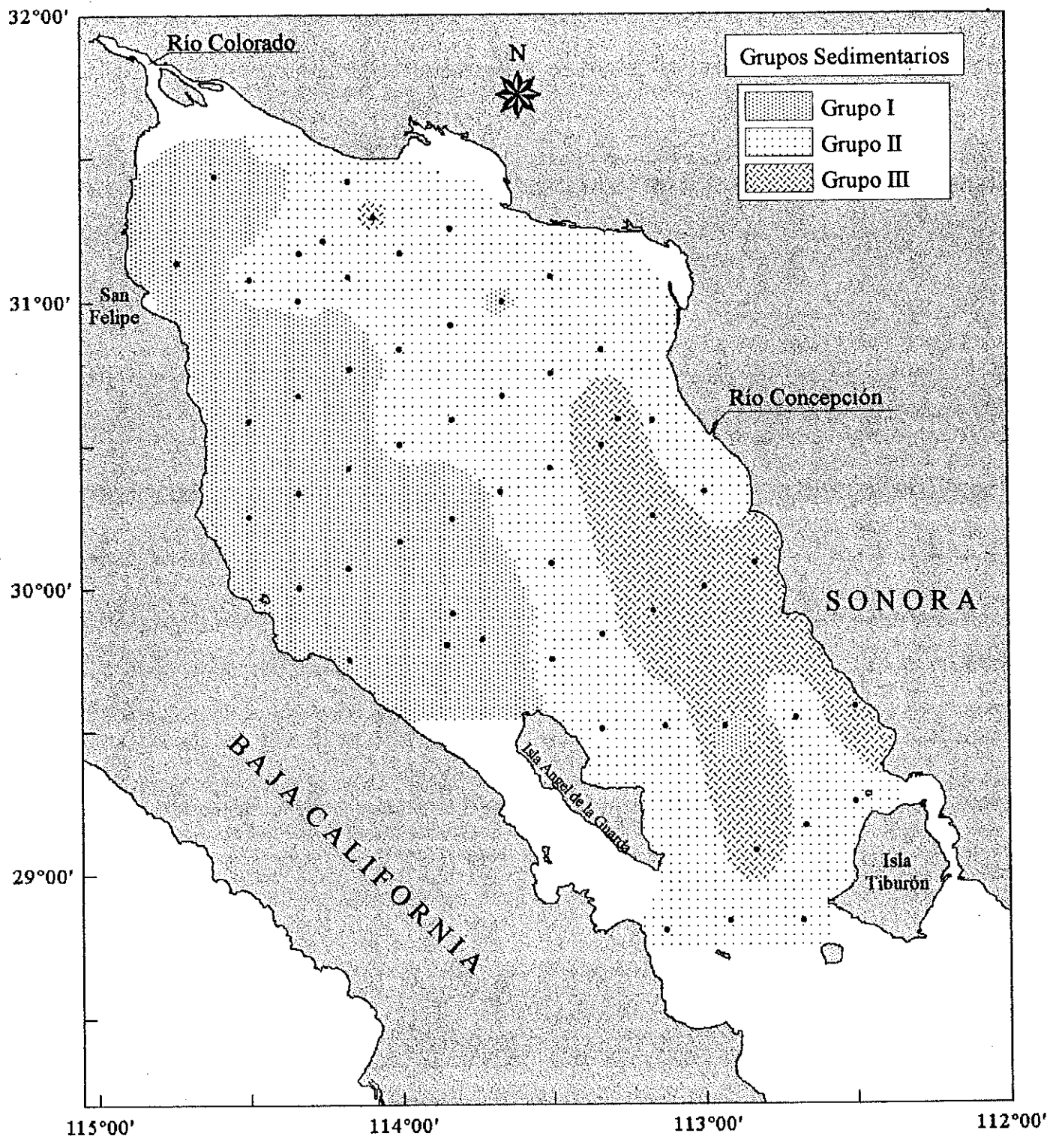


Figura 5. Distribución espacial de los grupos sedimentarios en el Norte del Golfo de California, a partir de la comparación gráfica de los parámetros texturales (Figs. 4a,b)

variables anteriores. Los resultados denotaron, de nuevo, la existencia de tres facies sedimentarias (Fig. 6), corroborando los patrones de distribución sedimentológica (Fig. 7). Un análisis discriminante fue realizado con la finalidad de evaluar las diferencias texturales de las facies sedimentarias. Por comparación de las mismas una F de Snedecor fue obtenida de la distancias cuadradas de Mahalanobi ( $D^2$ , una medida de la separación de los grupos) estimando una varianza. El resultado del análisis discriminante reveló que el análisis de grupo separó correctamente las tres facies sedimentarias, proporcionando un método robusto para establecer que estos presentan diferencias estadísticamente significativas en su composición textural (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de las  $D^2$  de Mahalanobi y F de Snedecor obtenidas del análisis discriminante de las facies sedimentarias previamente definidas del análisis de grupo multivariado.

Facies	$D^2$		F (g.l. 4, 53)		p *	
	Arcillosa	Arena fina	Arcillosa	Arena fina	Arcillosa	Arena fina
Arena fina	94.11		232.28		0	
Limo Ar-Ar	54.14	26.29	90.11	51.69	0	0

$D^2$ : valor  $D^2$  de Mahalanobi; F: valor de la F de Snedecor; g.l.: grados de libertad; p\*: nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

*FACIES ARCILLOSA*: sedimentos con una  $\bar{M} = 8.17 \sigma$ , asimétricamente negativos y pobremente clasificados. Localizados a lo largo de la plataforma, pendiente y cuenca profundas de la margen oeste del NGC.

*FACIES ARENAS FINAS*: material sedimentario arenosos con poco contenido de limos y arcillas, una  $\bar{M} = 2.52 \sigma$ , pobremente clasificados y asimétricamente positivos. Su cobertura espacial va de la margen este del AGC y hasta la región sur del NGC.

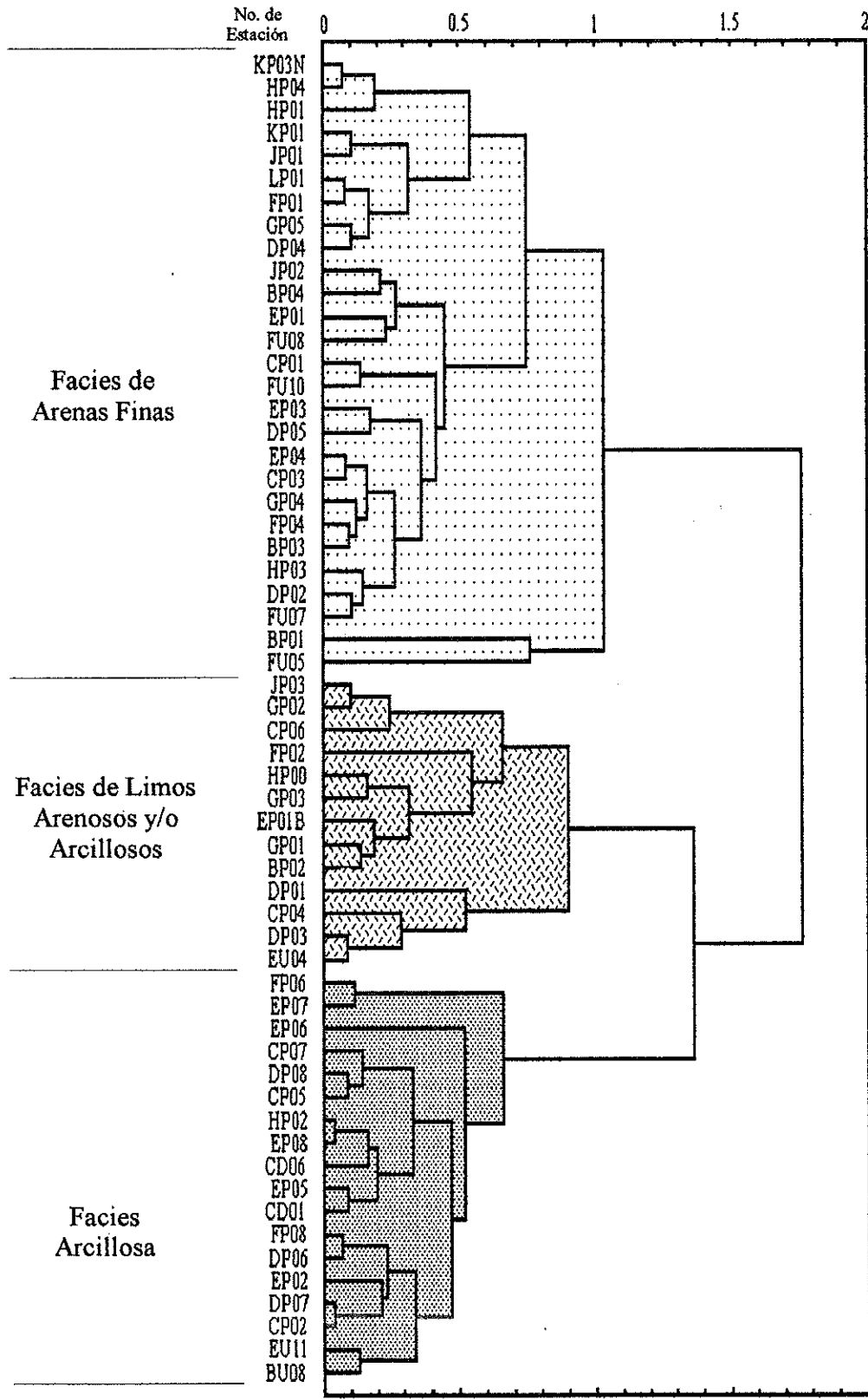


Figura 6. Facies sedimentarias en el Norte del Golfo de California, obtenidas del análisis de grupo en modo-Q, utilizando las características y parámetros texturales de los sedimentos superficiales (el corte se realizó a una distancia de 1.1)

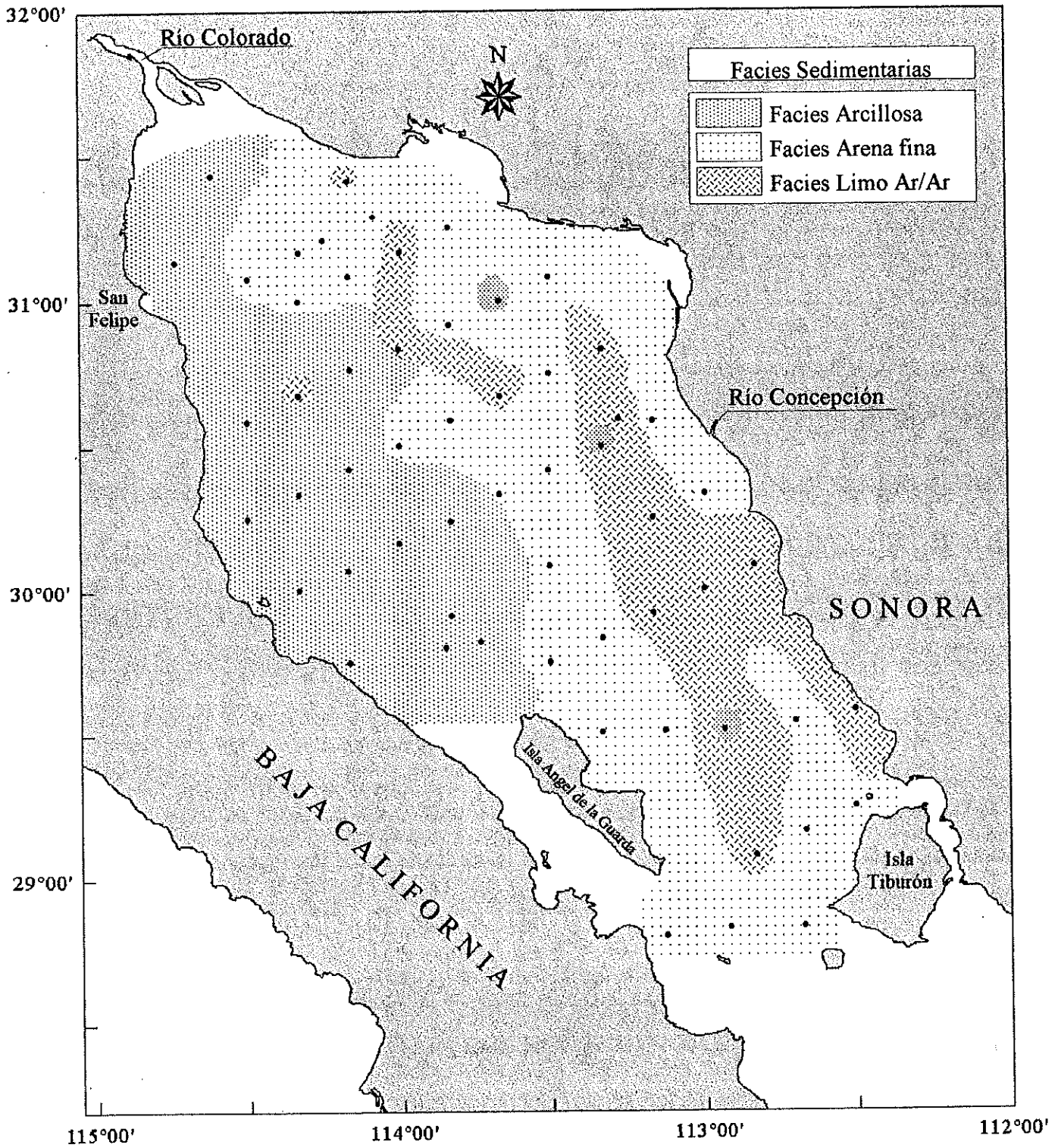


Figura 7. Facies sedimentarias en el Norte del Golfo de California, obtenidas mediante el análisis de grupo (modo -Q) de los datos texturales del sedimento (ver dendrograma en Fig. 6).

*FACIES LIMO AR-AR*: sedimentos limo arenosos o arcillosos, con una  $\overline{M} = 5.08 \phi$ , pobremente clasificados y asimetría que tiende hacia los finos. Esta facie cubre la plataforma y pendiente de la costa sonorenses y zona central del sur del NGC.

## ➤ Transporte y dispersión de los sedimentos

### ✱Tendencias texturales

El patrón de distribución del tamaño de grano medio (Fig. 8) de los sedimentos en el AGC y la parte norte del NGC muestra que estos son relativamente más finos hacia la costa baja californiana. Sin embargo, entre las grandes islas y la costa de Sonora se observa una tendencia inversa a la anterior, con sedimentos haciéndose más finos de SW  $\Rightarrow$  NE. También, en la región más sureña del presente estudio, entre las islas Ángel de la Guarda y Tiburón, los sedimentos muestran una tendencia a hacerse más finos hacia la zona central.

Los sedimentos mejor clasificados se presentan en la costa norte de Sonora y entre la región de Puertecitos y al norte San Luis Gonzaga. De manera general, los sedimentos son de moderada a pobremente clasificados (Fig. 9). Asimetrías con valores negativos se encuentran asociadas a sedimentos finos (Fig. 10), estos grupos son emplazados a lo largo de la margen oeste del NGC (incluyendo a la Cuenca Delfin) y la zona central de la región sur del NGC (entre las grandes islas). Por el contrario, sedimentos con asimetrías positivas son relacionados a estaciones con coeficientes de clasificación relativamente altos y de mayor tamaño de grano (Fig. 10).

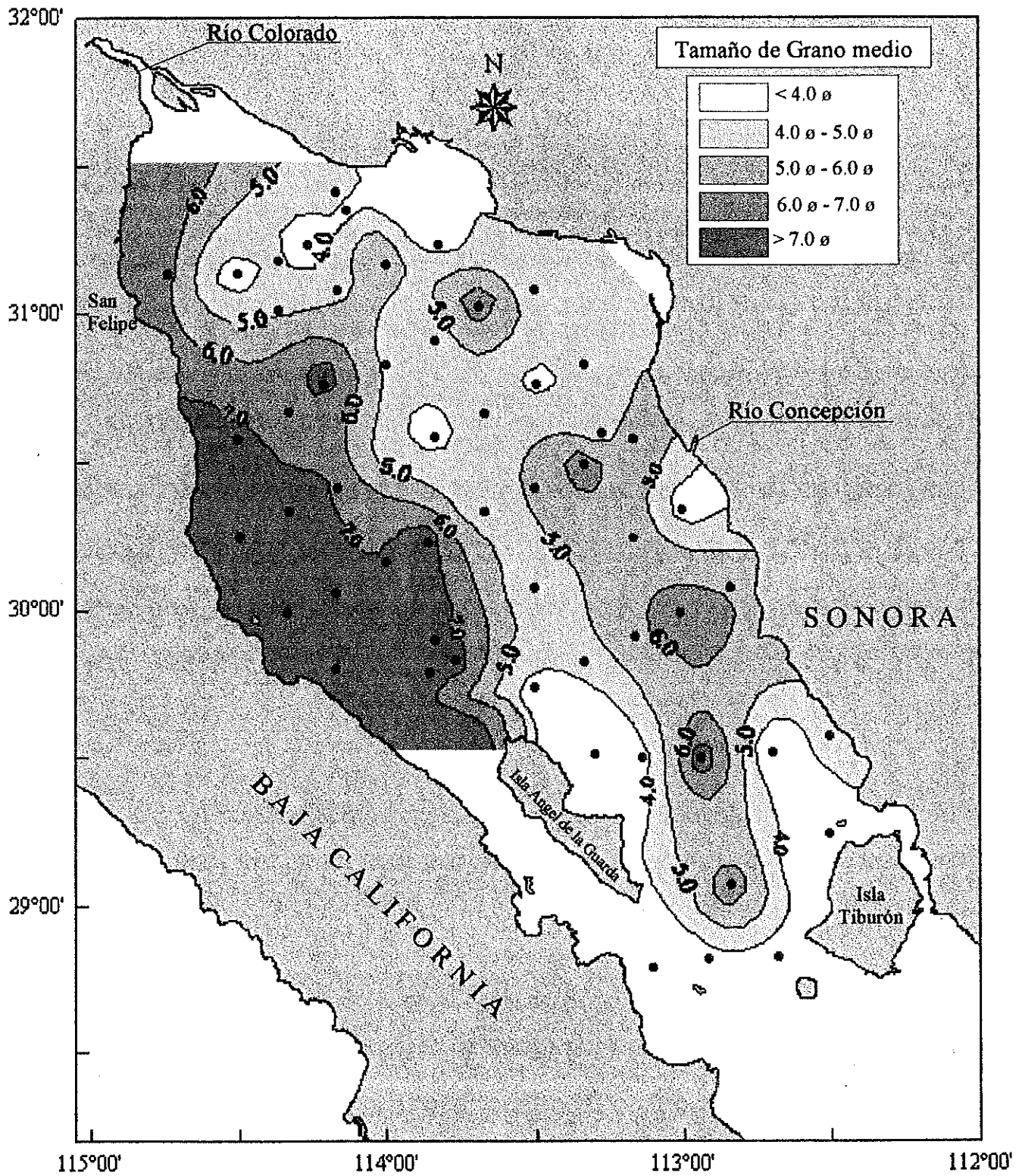


Figura 8. Distribución espacial del tamaño de grano medio (unidades phi) de los sedimentos superficiales en la región del Norte del Golfo de California.

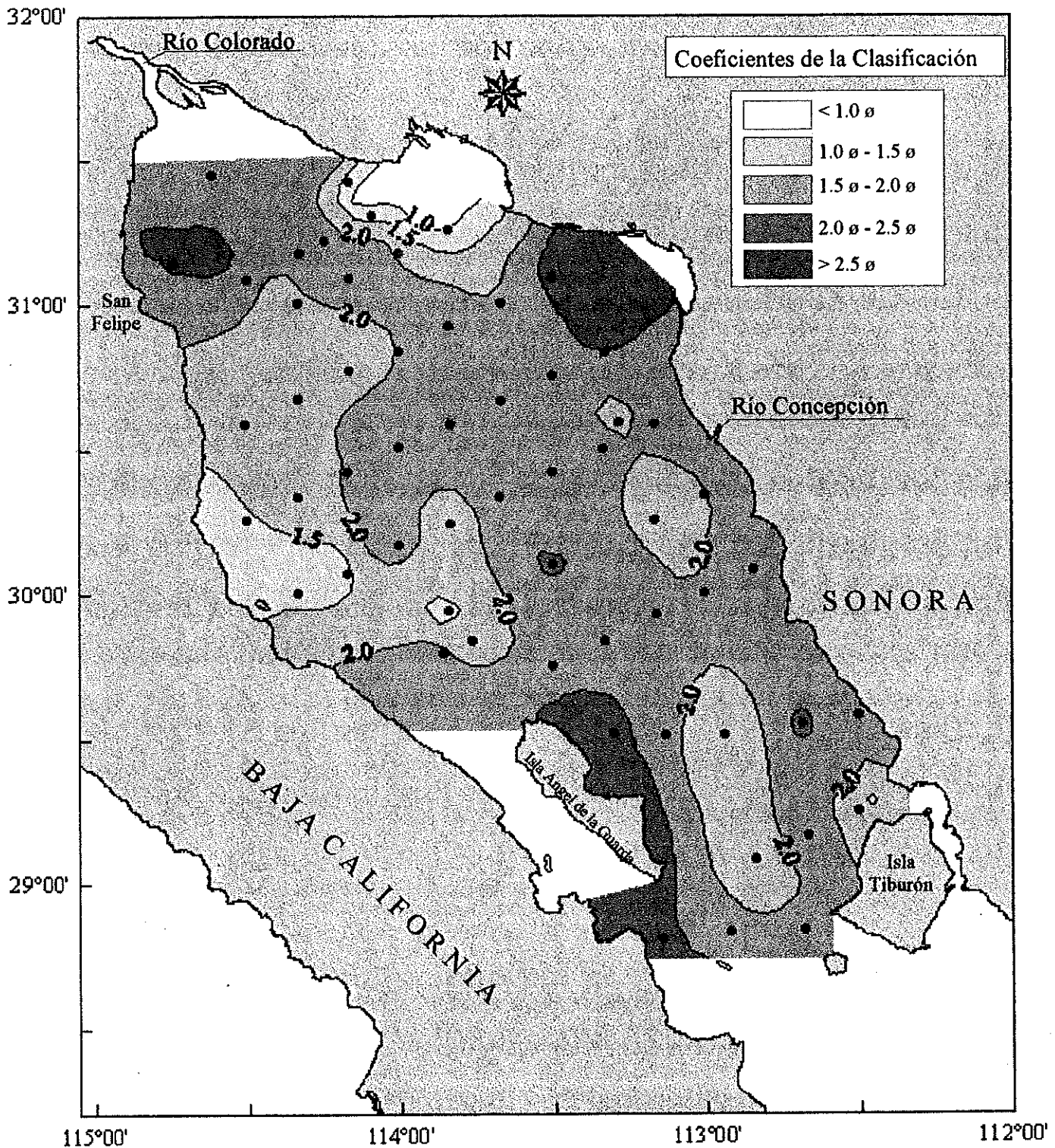


Figura 9. Distribución espacial de los coeficientes de la clasificación (unidades phi) de los sedimentos superficiales en la región del Norte del Golfo de California.

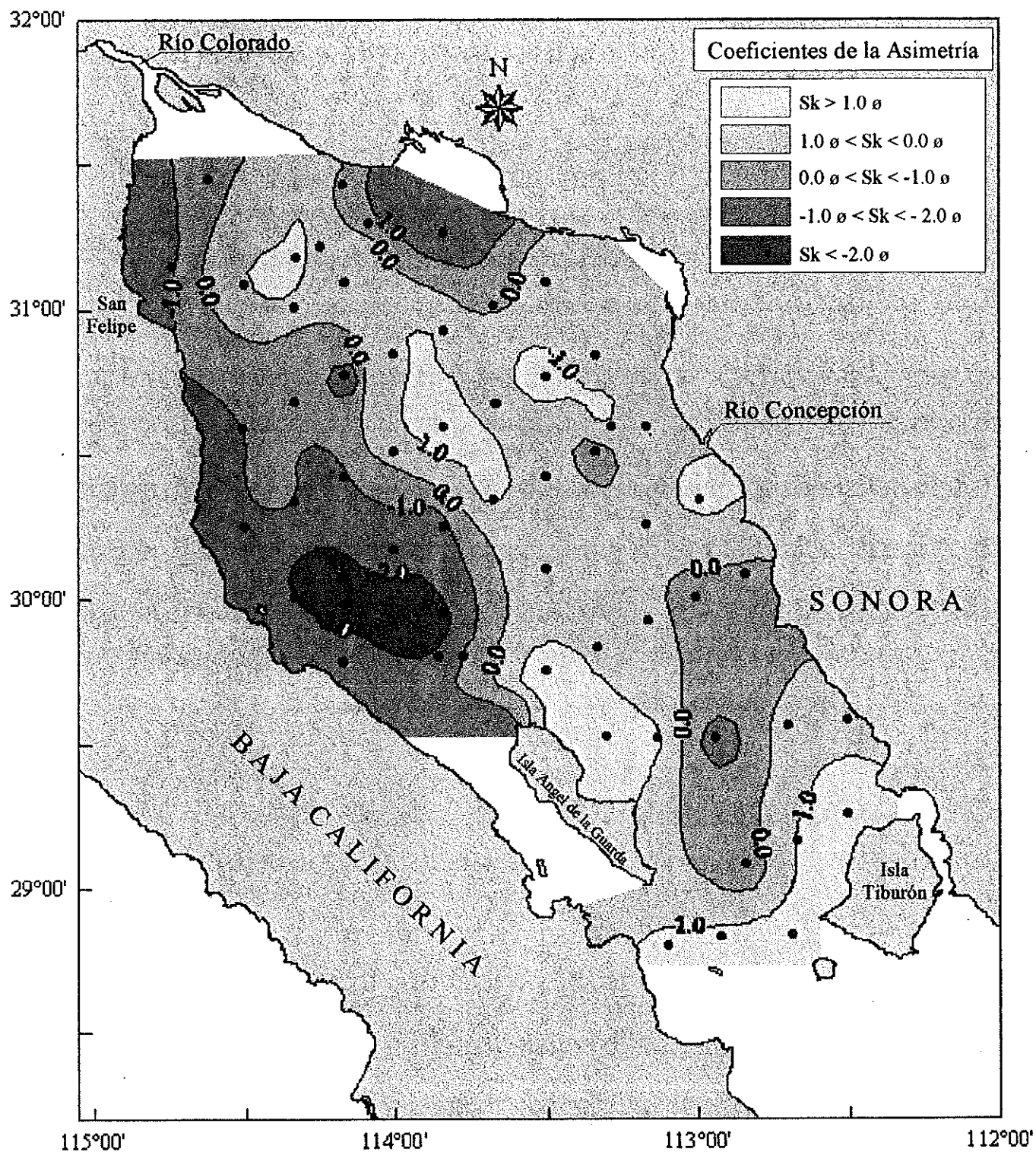


Figura 10. Distribución espacial de los coeficientes de la asimetría (unidades phi) de los sedimentos superficiales en la región del Norte del Golfo de California.

De manera general, las tendencias texturales de los sedimentos puede estar relacionada al relieve del fondo marino (*i.e.*, batimetría), a excepción de la zona sur del área donde las estaciones presentan sedimentos relativamente gruesos (umbral que separa al GC). La margen oeste y la zona central entre de las grandes islas presenta sedimentos finos con asimetrías negativas y moderadamente bien clasificados, mientras que los sedimentos de la margen este del AGC, la zona media del NGC y la zona sur del NGC son gruesos, pobremente clasificados y asimetrías positivas.

#### × Patrón residual de transporte de los sedimentos

Dos grandes patrones residuales de transporte sedimentario son identificados en el NGC (Fig. 11): (1) un transporte transversal de la costa sonorense a la costa baja californiana; y (2) un transporte longitudinal a lo largo de las margenes este y oeste, con dirección  $N \Rightarrow S$ .

En la región NW del NGC, el comportamiento del patrón residual es un tanto más complejo, debido a la interacción de las intensas corrientes de marea, el oleaje y a los flujos por convección vertical de masas de agua.

Existen cuatro zonas donde no se identificó un transporte neto de sedimentos, pero en las que convergen los vectores de transporte, evidenciando con ello depocentros activos: (1) Cuenca Delfin (estaciones CD01 y CD06); (2) región sur del NGC, entre las grandes islas (HP02); (3) Cuenca Tiburón (KP01); y (4) Cuenca Salsipuedes (KP03N)

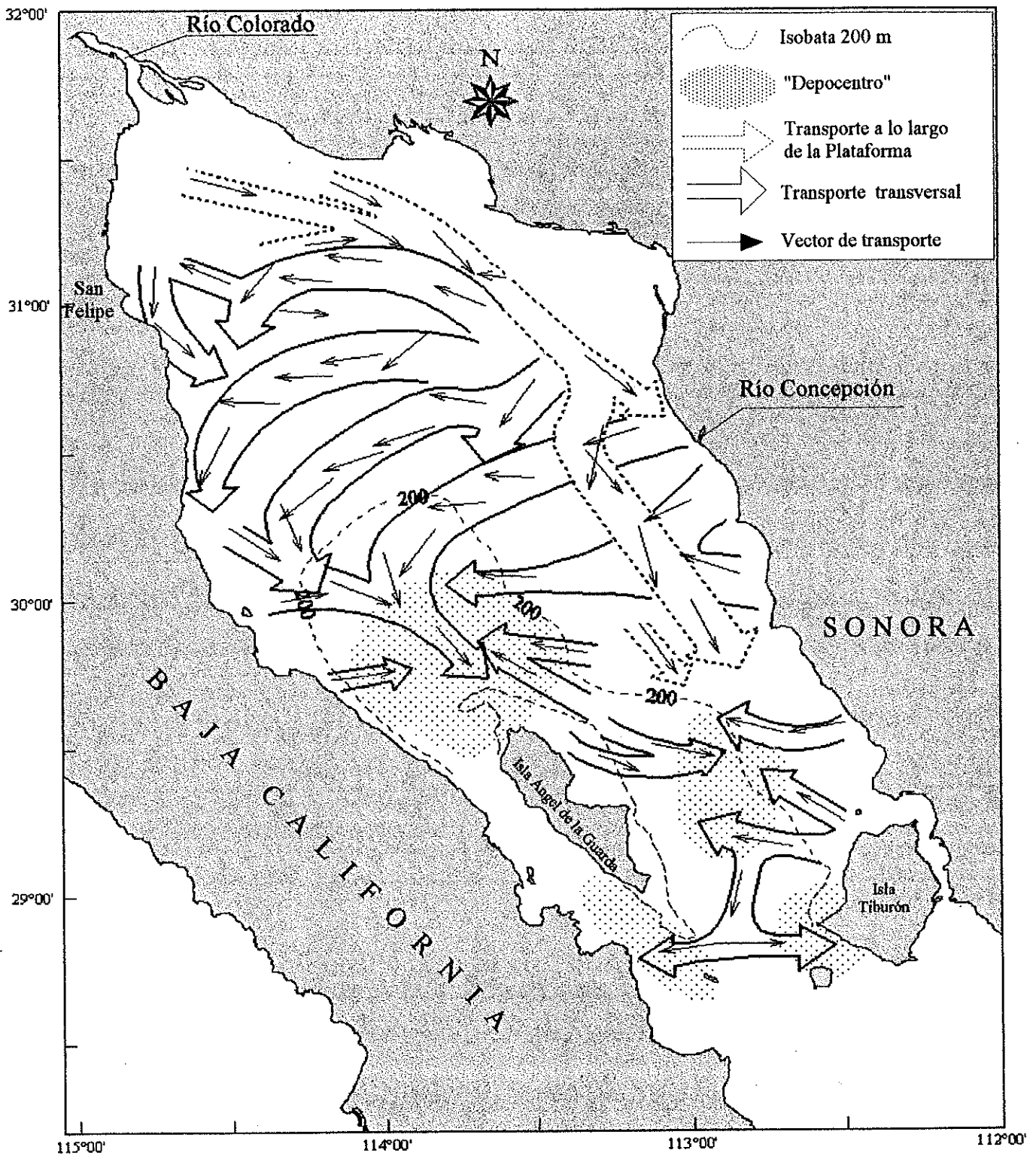


Figura 11. Patrón residual en el transporte de sedimentos superficiales en el Norte del Golfo de California.

## ➤ **Composición biogénica**

### **\*Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>)**

De manera general se presenta una zonación en la distribución espacial del CaCO<sub>3</sub> en los sedimentos superficiales del NGC (Fig. 12). Al sur del NGC se presenta una región con valores mayores al 10 % y que no exceden el 25 % (estación HP01). Al norte de la isla Ángel de la Guarda, el porcentaje de CaCO<sub>3</sub> aumenta gradualmente de un 5 % hasta un máximo de 10% en la estación más norteña, ubicada en la región del AGC.

### **\*Sílice (SiO<sub>2</sub>)**

El contenido de SiO<sub>2</sub> en sedimentos del NGC presenta dos máximos de concentración: uno localizado en el extremo norte (Cuenca Wagner) con valores máximos de 5 %, los cuales gradualmente disminuyen hacia sus márgenes y otro en la Cuenca Delfin con valores de 4 % (Fig. 13). La franja de mínima concentración de SiO<sub>2</sub> coincide con el área de sedimentos arenosos, donde las condiciones hidrodinámicas no permiten su depositación.

### **Materia Orgánica Total (MOT)**

La distribución espacial de la MOT muestra valores máximos (> 10 %) que se encuentran relacionados a las zonas de máxima profundidad, donde los sedimentos son más finos (Fig. 14). Los máximos de MOT coinciden con los máximos de SiO<sub>2</sub> y CaCO<sub>3</sub> para la Cuenca Delfin y la región de las grandes islas, respectivamente.

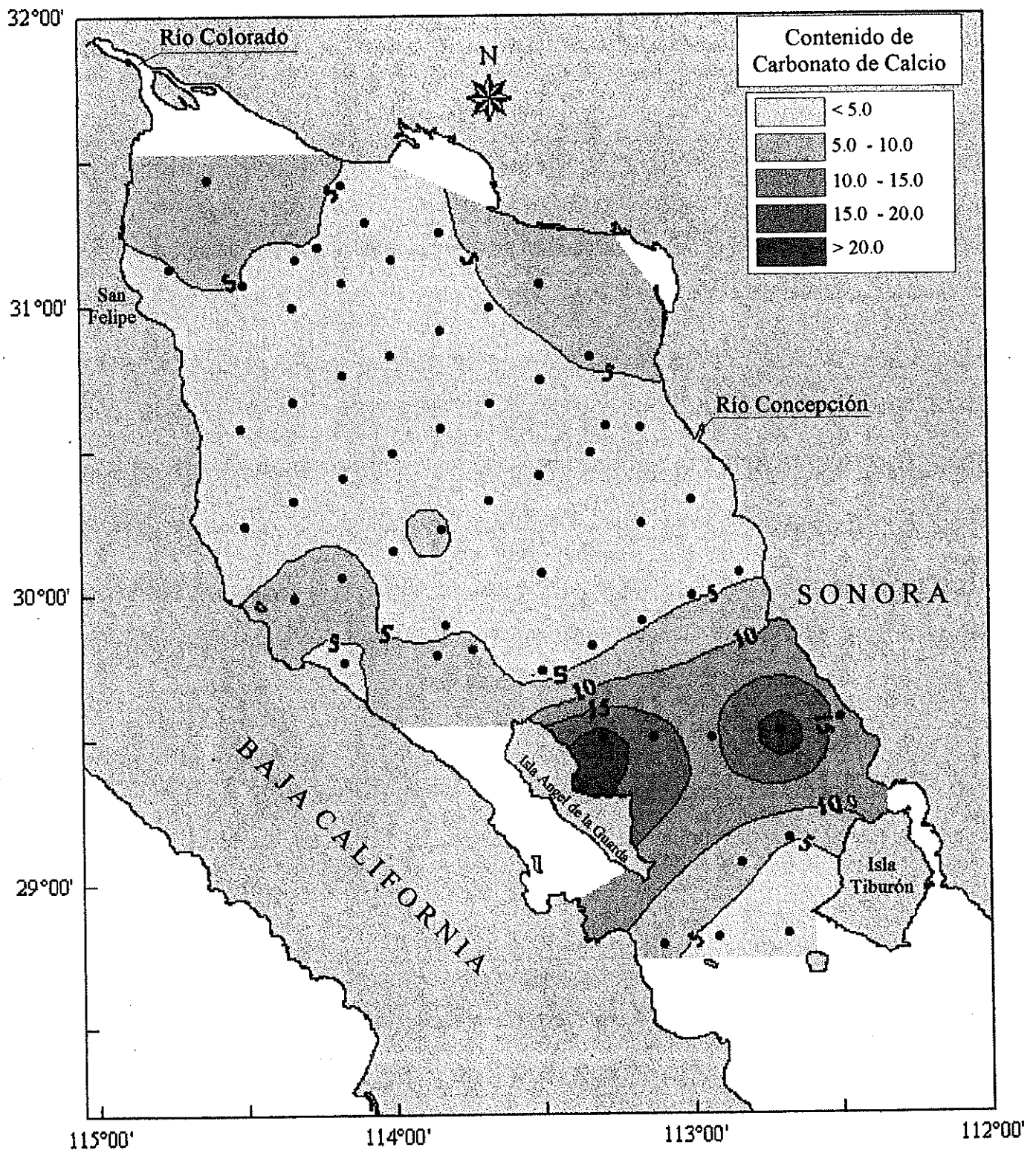


Figura 12. Variación espacial del contenido de carbonatos biogénicos (en porcentaje) en los sedimentos superficiales del Norte del Golfo de California.

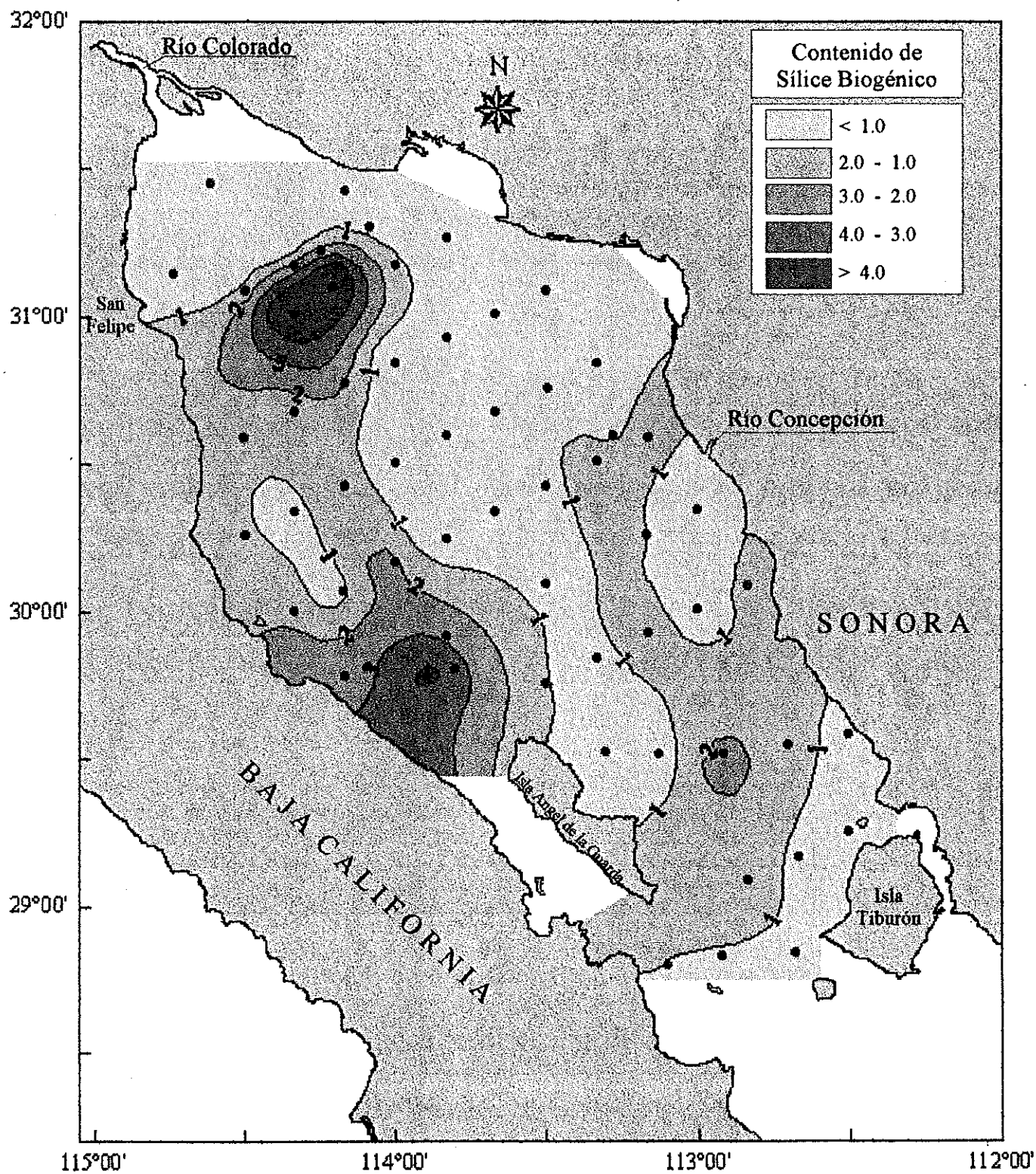


Figura 13. Variación espacial del contenido de sílice biogénicos (en porcentaje) en los sedimentos superficiales del Norte del Golfo de California.

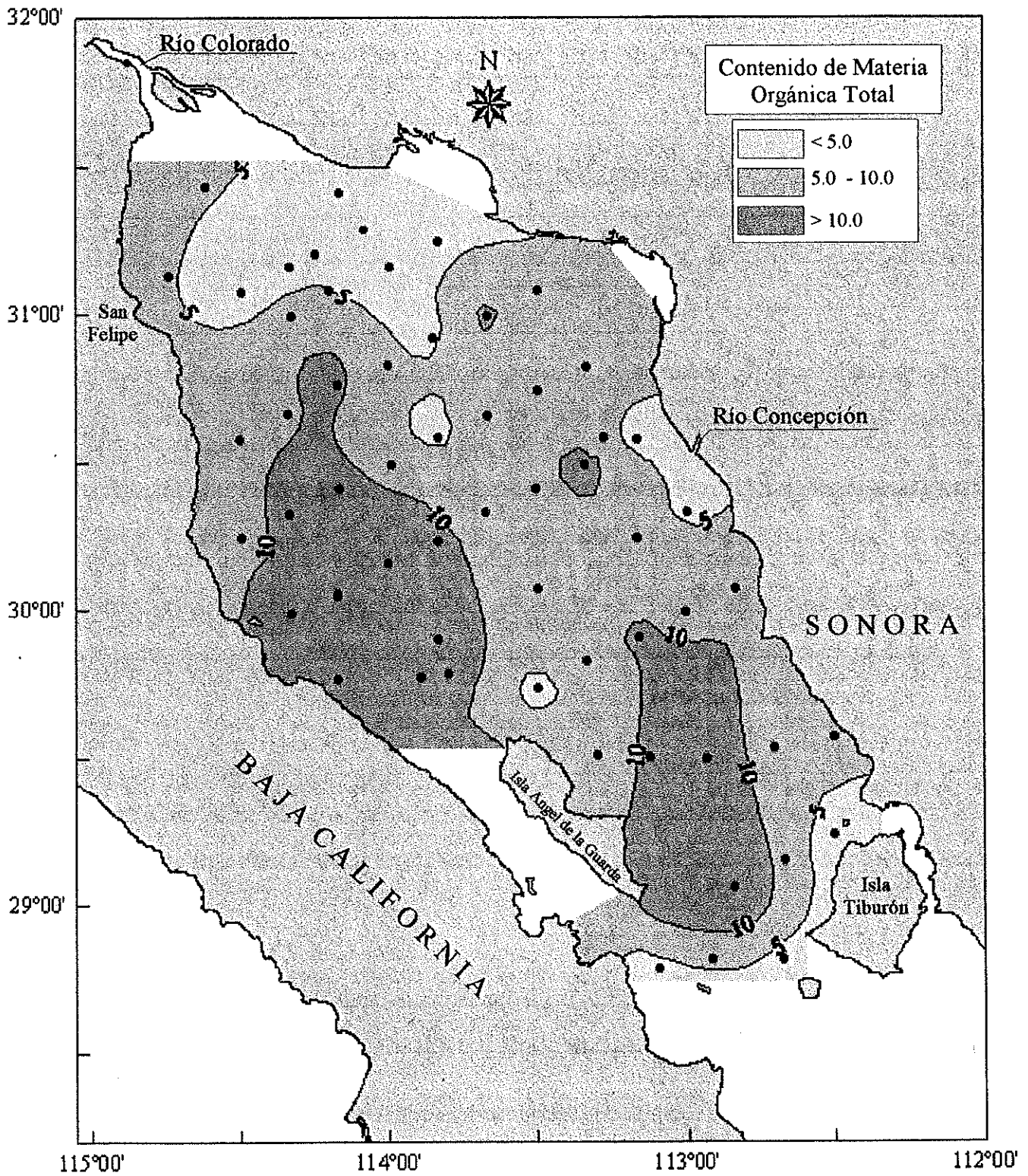


Figura 14. Variación espacial del contenido de MOT (en porcentaje) en los sedimentos superficiales del Norte del Golfo de California.

## ➤ Composición mineralógica

### \*Minerales Pesados

En base al concepto de provincia mineralógica sedimentaria, los criterios usados para determinar las asociaciones mineralógicas características se apoyaron en el análisis de la presencia/ausencia de ciertas especies minerales, así como en función de la covarianza de los minerales en el área de estudio (Morton, 1985).

Con la finalidad de manejar la mayor información posible con que se dispone, se creó una matriz con los valores porcentuales de cada especie mineral (Tabla I, apéndice) a partir de la cual se generó un dendrograma (modo -Q) que se presenta en la Figura 15. Dicho dendrograma indica la existencia de cuatro provincias mineralógicas, que al graficarlas en el espacio (Fig. 16) muestran una gran coherencia espaciales. Estas provincias son: (1) Río Concepción; (2) Delta del Río Colorado; (3) Transicional; y (4) Baja-Sonora. Cada una caracterizada por una asociación mineralógica específica (Tabla 2).

Tabla 2. Composición promedio de las asociaciones mineralógicas que caracterizan a las provincias mineralógicas en el norte del Golfo de California (PDRC: Provincia Delta del Río Colorado, PT: Provincia Transicional, PRC: Provincia Río Concepción, PBS: Provincia Baja-Sonora).

Provincia	Tr	Zr	Ap	Gr	Ep	An	Oh	Px	Ef	Ot
PDRC	2	7	2	3	20	43	3	15	3	3
PT	2	8	3	5	26	32	2	14	6	3
PRC	1	6	2	6	39	26	1	11	4	3
PBS	1	5	2	3	11	60	2	13	1	3

Tr: Turmalina, Zr: Zircón, Ap: Apatita, Gr: Granate, Ep: Epidota, An: Anfíbol, Oh: Oxihornblenda, Px: Piroxenos (Augita + Hiperstena), Ef: Esfena, Ot: Otros.

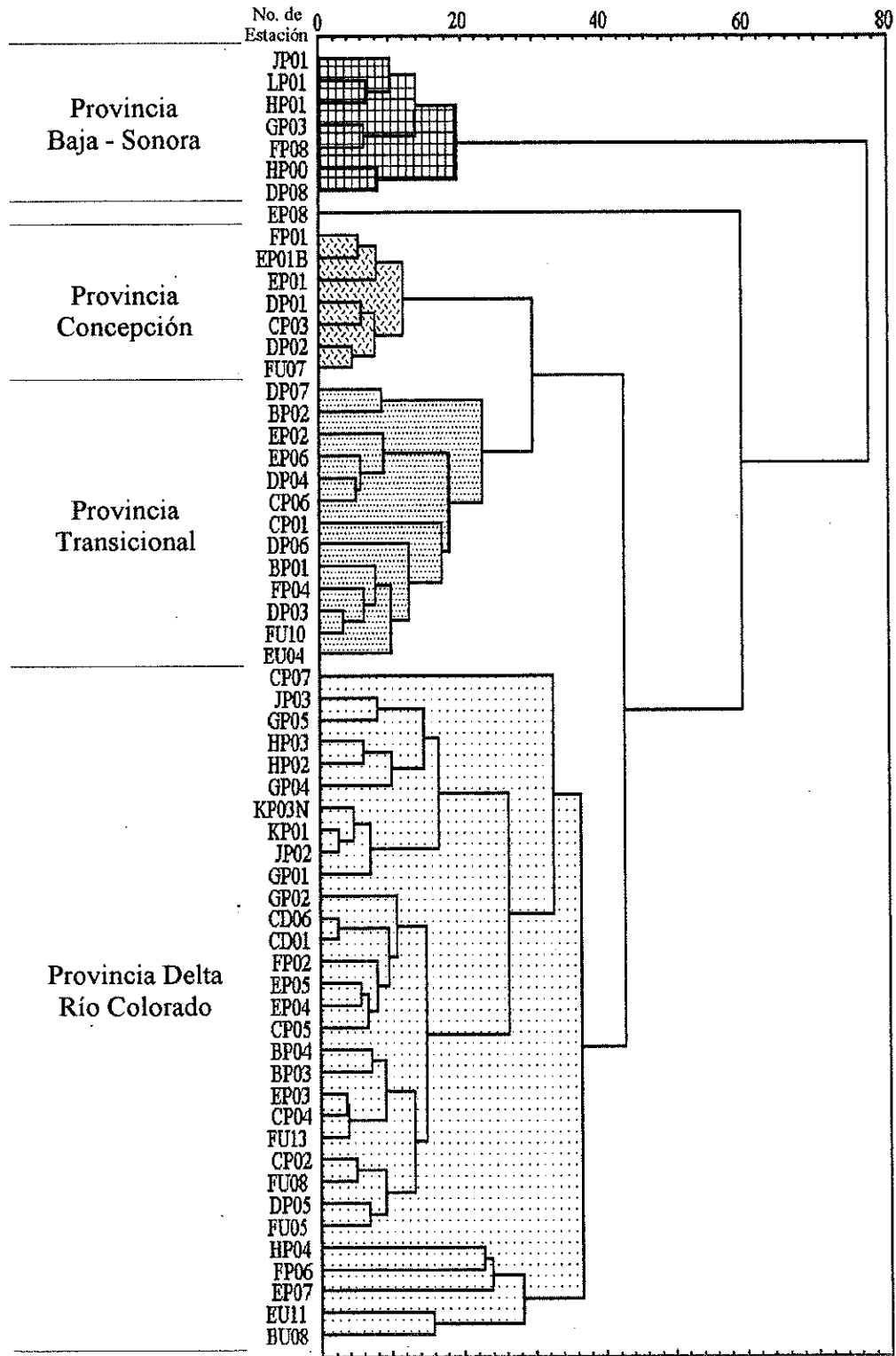


Figura 15. Provincias mineralógicas en el Norte del Golfo de California, obtenidas del análisis de grupo en modo-Q (el corte se realizó a una distancia de 40)

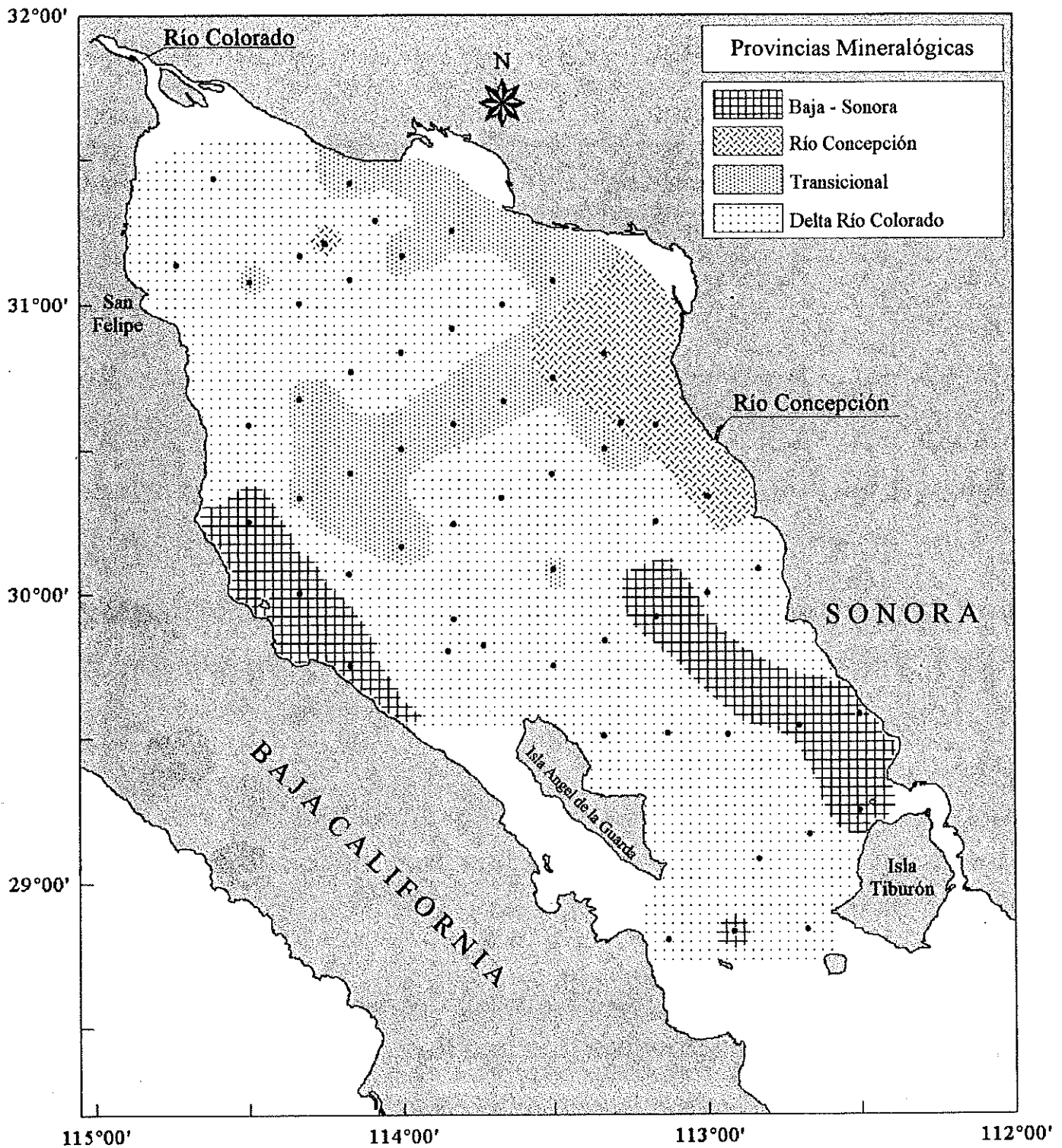


Figura 16. Provincias mineralógicas en el Norte del Golfo de California, obtenidas del dendrograma de la Figura 15.

Se realizó un análisis discriminante con la finalidad de detectar con pruebas estadísticas si existían diferencias composicionales entre las provincias mineralógicas. A partir las distancias cuadradas de Mahalanobi ( $D^2$ , una medida de la separación de las provincias) se calculó una F de Snedecor, obteniendo una varianza. El análisis discriminante reveló que las cuatro provincias mineralógicas fueron separadas correctamente, por lo cual presentan diferencias estadísticamente significativas en su composición mineral (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de las  $D^2$  de Mahalanobi y F de Snedecors obtenidas del análisis discriminante de las provincias mineralógicas previamente definidas del análisis de grupo multivariado.

Provincia	$D^2$			F (g.l. 4, 53)			p *		
	PDRC	PRC	PT	PDRC	PRC	PT	PDRC	PRC	PT
PRC	9.18			8.58			0		
PT	27.88	12.02		15.2	5.24		0	0	
PBS	11.84	38.85	67.85	7.33	18.74	23.91	0	0	0

$D^2$ : valor  $D^2$  de Mahalanobi; F: valor de la F de Snedecor; g.l.: grados de libertad; p\*: nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

La provincia del Río Concepción (PRC) se localiza frente a la desembocadura de este río, extendiéndose de manera muy limitada al NW y SE. La asociación mineralógica que caracteriza a la provincia es Epidota-Anfibol-Augita (Ep-An-Px).

Los sedimentos de la provincia mineralógica del Río Colorado (PDRC) están fuertemente dominados por la asociación Anfibol-Epidota-Piroxeno (An-Ep-Px) y presentan la mayor cobertura espacial, la cual se extiende desde AGC hasta las Cuencas

Tiburón y Salsipuedes. Aunque esta provincia presenta cierta similitud mineralógica con la PRC, esta última presenta un mayor contenido de epidota y mucho menor anfíbol.

La provincia Transicional (PT) presenta la misma mineralogía que las provincias anteriores, sólo que sus valores mineralógicos son intermedios a ambas provincias fluviales (PDRC y PRC); por ello, se infiere que la PT refleja "fuertes" procesos de mezcla entre provincias.

La mineralogía de la provincia Baja-Sonora (PBS) se caracteriza por un alto contenido de Anfíboles, cuyos valores alcanzan hasta un 60% del total y estos sedimentos reflejan aportes de las planicies costeras adyacentes.

#### **\*Razón Cuarzo/Feldespatos**

Debido a que las asociaciones de minerales pesados pueden no reflejar la petrografía de áreas fuentes a causa de una posible sobrerepresentación de componentes ígneos y metamórficos (Koldewijn, 1955; Van Andel, 1964), por ello es útil el análisis de minerales ligeros permitiendo reforzar las interpretaciones hechas con los minerales pesados.

Los sedimentos superficiales de la región en su mayor parte están caracterizados por una razón  $Q/F < 2$  (Fig. 17), existiendo variaciones contrastantes y de enriquecimiento en cuarzo en tres áreas: (1) al sur del Puerto de San Felipe con una razón  $Q/F > 5$ ; (2) al norte de la Isla Tiburón con una razón  $Q/F > 4$ ; y (3) frente a la desembocadura del Río Concepción.

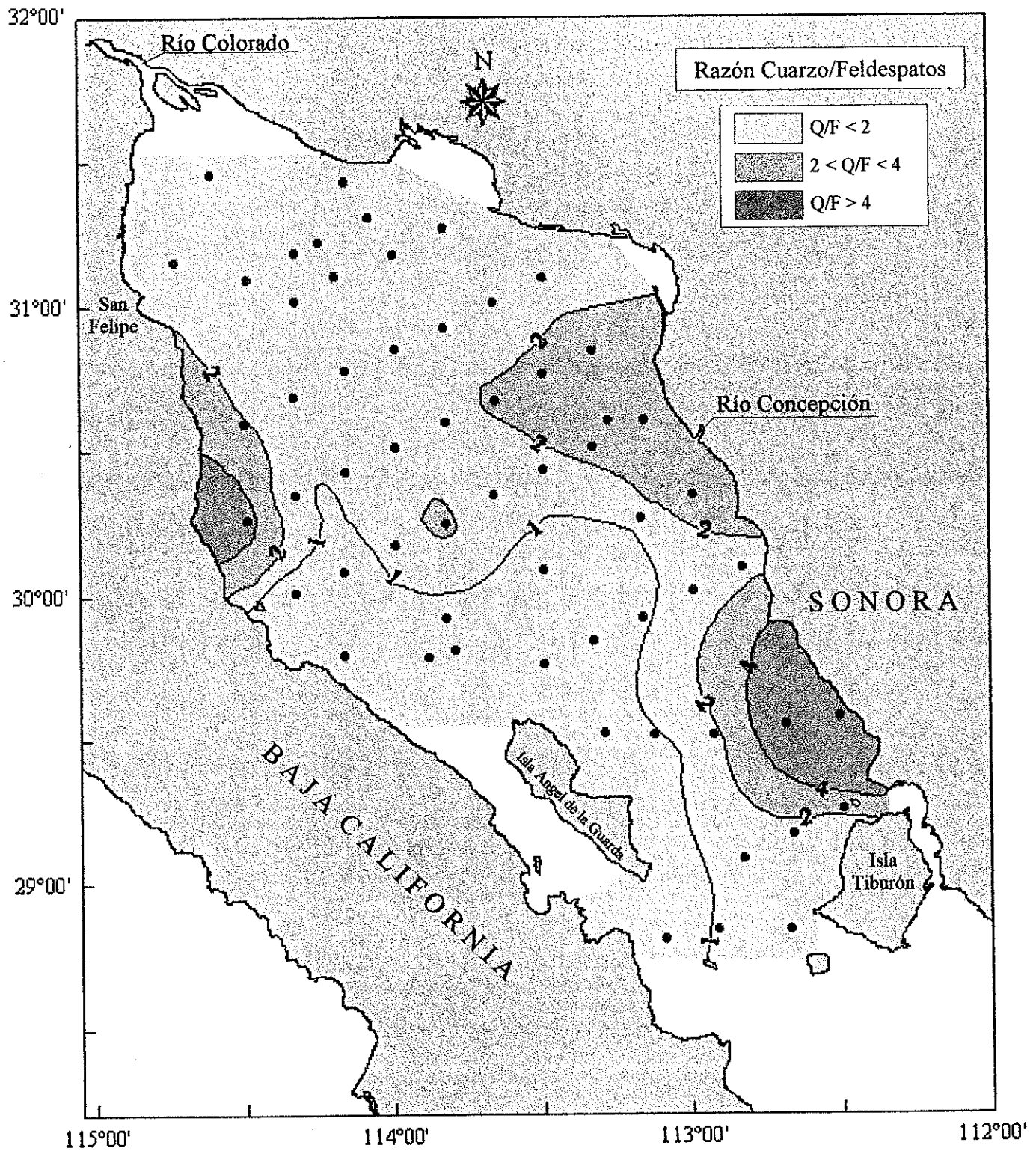


Figura 17. Variación espacial de la razón Q/F en los sedimentos superficiales del Norte del Golfo de California.

## DISCUSIÓN

Aunque han sido bien estudiados los procesos sedimentarios de las márgenes continentales y cuencas depositacionales en gran parte del mundo (*e.g.*, Wright y Nittrouer, 1995; Alexander *et al.*, 1991; Nittrouer *et al.*, 1986), existen algunos casos especiales para los cuales no hay muchos antecedentes, como puede ser la eliminación drástica de las descargas fluviales de ríos importantes a las márgenes continentales (Stanley, 1996; Milliman *et al.*, 1972). El NGC ha experimentado una reducción total del aporte fluvial y sedimentario por parte del Río Colorado cuya descarga anual era de  $160 \times 10^6$  toneladas de sedimentos (Meckel, 1975; van Andel, 1964). Por lo que consideramos que los procesos sedimentarios en la región han cambiado considerablemente, aún cuando el aporte de material clástico disminuyó significativamente a mediados del presente siglo.

Desde el punto de vista sedimentológico el cambio más significativo encontrado en el patrón de distribución de sedimentos en el NGC es la presencia, en cantidades importantes, de sedimentos finos en relación a estudios previos. De acuerdo a van Andel (1964) las arenas basales transgresivas cubrían el 70 % de las plataformas someras, estos depósitos se caracterizaban por contener más del 95 % de arenas, lo cual hace suponer que durante la última transgresión del Post-Pleistoceno no hubo cambios texturales importantes. Sin embargo, en los resultados del presente estudio se observa un decremento en el contenido de arenas, hasta en un 50 % con respecto a los depósitos arenosos transgresivos, implicando probablemente que el efecto del embalsamiento del Río Colorado haya contribuido de manera significativa a este cambio. Por tanto, los depósitos

sedimentarios conteniendo exclusivamente arenas se encuentran restringidos a la región sur del NGC y frente a la desembocadura del Río Concepción (Figs. 3 y 6).

La presencia de sedimentos relativamente gruesos con un alto contenido de  $\text{CaCO}_3$  en el Sur del NGC se asocia a la hidrodinámica y geomorfología de la región, donde las intensas corrientes de marea [ca.  $200 \text{ cm s}^{-1}$  (Bray y Robles, 1991; Badán-Dangón *et al.*, 1989)] no permiten la depositación de partículas finas (limos y arcillas), indicando con ello una zona donde la depositación es lenta y de partículas biogénicas más gruesas (van Andel, 1964; Byrne y Emery, 1960). Asimismo, el depósito arenoso frente a la desembocadura del Río Concepción probablemente sea un remanente de origen deltaico cuando el río tenía aportes de sedimentos a la línea de costa (van Andel, 1964). La permanencia espacial y temporal de este depósito se debe a los procesos de retrabajamiento ocasionados por el oleaje y las corrientes de marea que no permiten la depositación de sedimentos finos, indicando por esto una zona de baja o nula depositación, evidencia sustentada por la presencia de glauconita en cantidades considerables, ca. 2 % (Bornhold y Giresse, 1985; van Andel, 1964).

#### < FACIES SEDIMENTARIAS

Las propiedades de un grupo sedimentario pueden ser resumidas en facies, las cuales denotan un ambiente o grupos de subambientes interrelacionados (Ross, 1978; van Andel y Curray, 1960) y los elementos que las definen son principalmente sus atributos texturales. Sin embargo, para determinar más precisamente su origen e implicación

ambiental o paleogeográfica, es necesario evaluar sus componentes mineralógicos, biogénicos y paleontológicos, así como las características estructurales, topográficas e hidrodinámicas de la cuenca receptora (Alexander *et al.*, 1991; Alexander, 1990; Walker, 1985; Swift, 1985; Ross, 1978; Milliman *et al.*, 1972) obteniendo, por tanto, un grupo de subfacies o subambientes interrelacionados.

En base al contenido relativo de  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , MOT, glauconita y las propiedades texturales del sedimento (contenido de arenas, limos y arcillas, y los parámetros texturales), en el NGC existen cinco subfacies sedimentarias (Fig. 18), las cuales reflejan la importancia de los aportes abióticos y bióticos, y su relación a eventos paleogeográficos (Fagel *et al.*, 1994; Pujos *et al.*, 1990; Bornhold y Giresse, 1985). Las características elementales de cada subfacie son resumidas en la Tabla 4.

**Subfacies de Plataforma-Pendiente (SPP):** se encuentra representada por material clástico de grano fino con una media ( $\bar{M}$ ) de 6.2  $\phi$ , moderadamente bien clasificado y asimétricamente negativo; los porcentajes de ópalo biogénico y MOT promedian 0.8 y 7, respectivamente. La abundancia relativa de foraminíferos en la fracción arenosa y el contenido de MOT y  $\text{CaCO}_3$  de estos sedimentos indican una baja razón de depositación (van Andel, 1964; Byrne y Emery, 1960). El material sedimentario de esta subfacies es derivado de dos fuentes potenciales: la estructura deltáica del Río Colorado y el Gran Desierto de Sonora (GDS), que abastecen a las márgenes oeste y este del NGC. Las evidencias que soportan esta conclusión son: (1) las intensas corrientes de marea y el

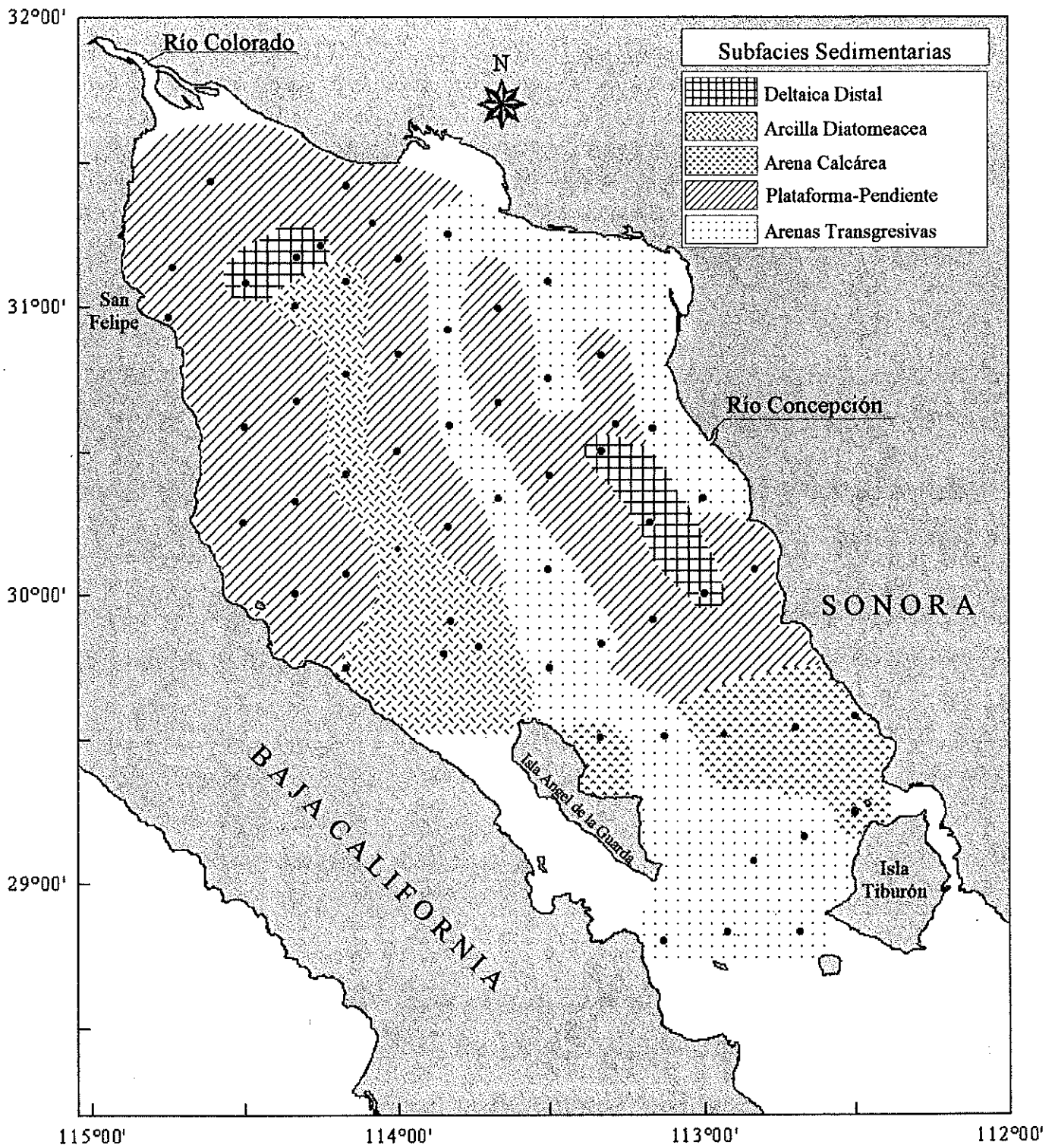


Figura 18. Distribución de subfacies depositacionales en el Norte del Golfo de California.

Tabla 4. Características texturales y composicionales de las subfacies en el Norte del Golfo de California.

Facie	% Ar	% Lim	% Arc	M	$\sigma$	Sk	CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MOT	Foras	Glauc
Deltáica distal	43	32	25	5.2	2.1	0.2	5	0.7	6	Traza	0.1
Arcilla Diatomeacea	23	22	55	6.8	1.9	-0.4	4	3.5	11	Pocos	0.2
Arena Calcárea	60	16	25	3.8	2.0	0.0	17	0.8	7	Traza	0.0
Plataforma-Pendiente	25	34	41	6.2	1.9	-0.1	4	0.8	8	Abundantes	0.2
Arenas Trangresivas	77	9	13	3.4	2.0	0.5	3	0.5	4	Pocos	1.2

% Ar: Arenas

% Li: Limos

% Arc: Arcillas

M: Tamaño de grano medio

$\sigma$ : Clasificación

Sk: Asimetría

CaCO<sub>3</sub>: Carbonato de calcio

SiO<sub>2</sub>: Sílice biogénico

MOT: Materia orgánica total

Foras: Foramíniferos

Glauc: Glauconita

oleaje generan erosión/resuspensión y retrabajamiento de la estructura deltaica y las márgenes costeras (Carriquiry y Sánchez-González, sometida; Cupul-Magaña, 1994; Carriquiry, 1993; Meckel, 1975); y (2) las partículas sedimentarias resuspendidas y de fondo salen del sistema estuarino del Río Colorado por el canal de Baja California, para posteriormente ser transportadas a lo largo de la costa por las corrientes oceánicas hacia las plataformas someras, incluyendo al AGC, y cuencas profundas del NGC (Carriquiry y Sánchez-González, sometida; Cupul-Magaña, 1994; Carriquiry, 1993).

El patrón de transporte sedimentario y el asentamiento de partículas finas en plataforma, pendiente y cuencas profundas del NGC (Figs. 7 y 11) apoyan en buena medida las conclusiones hechas por Baba *et al.* (1991a,b). En efecto, las cuencas profundas no han dejado de recibir materiales sedimentarios por parte del Río Colorado y su plataforma adyacente, aunque no se puede establecer si la razón de depositación de 2 a 4 cm año<sup>-1</sup> se ha mantenido constante en el último siglo, como lo proponen dichos autores. Sin embargo, estudios realizados en ambientes pericontinentales y epicontinentales demuestran que la razón de acumulación sedimentaria asociada a los principales sistemas fluviales del mundo [Amazonas, Ganges-Brahmaputra y Amarillo (>10<sup>8</sup> ton/año de descarga sedimentaria)] es de centímetros por año, mientras que sistemas fluviales similares al Río Colorado, (<10<sup>8</sup> ton/año de descarga sedimentaria) presentan una razón de depositación generalmente de milímetros por año (Alexander, 1990; Nittrouer *et al.*, 1985).

Alternativamente, la SPP localizada en la margen este del NGC pudiera ser abastecida de materiales por las descargas de los ríos Colorado, Concepción y Sonoita, y

los aportes eólicos del GDS. Los aportes fluviales de los ríos Concepción y Sonoita son poco probables ya que estos ríos tienen casi 30 años que han sido completamente embalsados, y en comparación con el Río Colorado su descarga era menor por dos ordenes de magnitud (van Andel, 1964), por lo cual no intervienen de manera relevante en el patrón de distribución textural de los sedimentos en el NGC (Baba *et al.*, 1991a). Por tanto, el delta Río Colorado pudiera estar contribuyendo de manera significativa con sedimentos finos hacia esta zona, los cuales son transportados a lo largo de la plataforma como se aprecia en la Figura 11.

Otra fuente adicional puede ser el GDS, caracterizado por sedimentos arenosos con un alto contenido de limos y arcillas (Sánchez-González, 1995). El aporte de sedimentos a la zona costera por parte de los desiertos es considerado importante en varias regiones oceánicas del mundo (Chester *et al.*, 1985; Janecek y Rea, 1983; Prospero, 1979) y localmente en el Golfo Central, donde las razones de depositación no han disminuido aún cuando los aportes de los ríos Yaqui y Mayo han sido completamente eliminados por represamiento (Baumgartner *et al.*, 1991; Baba *et al.*, 1991a,b). Blount y Lancaster (1990) establecen que los sedimentos del GDS pudieran contribuir con un 25 a 30% de los materiales depositados en el NGC, los cuales son transportados por acción eólica hacia regiones oceánicas. Sin embargo, para establecer la importancia del suministro sedimentario del GDS es necesario realizar un monitoreo utilizando trampas tal como se hace actualmente en el Mar de Arabia (Chester *et al.*, 1985).

**Subfacies Deltaica Distal (SDD):** su distribución se limita a la parte distal de los deltas de los ríos Concepción y Colorado, y se distinguen de la SPP por un cambio en el contenido de arenas-limos-arcillas (Tabla 4). La relativa abundancia de arenas, el poco contenido de MOT y  $\text{SiO}_2$ , y los foraminíferos en cantidades traza confirma las sospechas que estos depósitos son remanentes deltaicos o constituyen altos batimétricos donde no hay acumulación de sedimentos modernos (Lee *et al.*, 1988; van Andel, 1964). Este tipo de subfacies ha sido descrita en otras regiones costeras del mundo [*e.g.* Mar Amarillo (Alexander, 1990); Océano Atlántico y Bahía de Bengala (Kuehl, 1990); Golfo de México (Shepard, 1956)] y parecen estar relacionados a sedimentos transgresivos, y restringiéndose a estas áreas por efecto del transporte de sedimentos a lo largo de la plataforma (Alexander, 1990; Wright, 1985).

**Subfacies Arcillas Diatomeaceas (SAD):** El alto contenido de  $\text{SiO}_2$  (3.5 %) y de MOT (11 %) reflejan la alta productividad primaria (PP) relacionada a los florecimientos fitoplanctónicos de la región (Gaxiola-Castro *et al.*, 1995; Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991; Bray y Robles, 1991) los cuales se llevan a cabo principalmente en el AGC, la costa de Sonora y en la zona oceánica cercana a la I. Ángel de la Guarda (Bray y Robles, 1991). Sin embargo, la alta PP solo se ve reflejada en los sedimentos de las zonas más profundas del área de estudio. La ausencia de ópalo biogénico en la región del AGC puede deberse a las intensas corrientes de marea y al oleaje que no permiten su depositación y por tanto son llevados hacia zonas más profundas (*i.e.*, cuencas Delfin y Wagner). También sucede que los restos silíceos son fácilmente destruidos en zonas de sedimentos gruesos y por

tanto de alta energía (Haq y Boersma, 1984), características que suele presentarse en la costa sonoreense.

El material clástico de la presente facies se caracteriza por limos (22 %) y arcillas (55 %) con una  $\overline{M} = 7.2 \phi$ , el cual es abastecido por parte de la estructura deltaica del río Colorado, a través de los procesos explicados anteriormente en la SPP.

**Subfacies Arenas Transgresivas (SAT):** consistente principalmente de arenas (>77%) con poco contenido de limos y arcillas, una  $\overline{M} = 3.4 \phi$  (arenas finas), moderadamente bien clasificadas y asimetría positiva. Los componentes biogénicos son escasos, aunque con un mayor contenido de glauconita (Tabla 4). Los atributos anteriores nos permite definir un ambiente sedimentario de alta energía y poca depositación, análogo a ambientes costeros de playa y bajos topográficos (Pujos *et al.*, 1990; Lee *et al.*, 1988; van Andel, 1964). Estas evidencias nos hacen inferir que tales depósitos representan sedimentos litorales formados durante el ascenso del nivel del mar en el Post-Pleistoceno. Asimismo, estos depósitos parecen corresponder a aquellos descritos por van Andel (1964), los cuales en una gran extensión parecen estar siendo cubiertos por sedimentos de la SPP. De hecho en muchas regiones oceánicas del mundo, los sedimentos arenosos transgresivos están siendo cubiertos por limos y arcillas derivados de los aportes fluviales y eólicos [*e.g.*, Mar Amarillo (Alexander *et al.*, 1991); Mar de Arabia (Chester *et al.*, 1985)]

**Subfacies Arenas Calcáreas (SAC):** la margen este de la región sur del NGC está caracterizada por cantiles y puntas rocosas, y se encuentra cubierta por arenas bio-calcáreas (gasteropodos, pelecipodos, etc). La considerable cantidad de arenas y fragmentos esqueléticos del tamaño de arenas gruesas presuponen una razón de depositación muy baja, lo cual es atribuible a las intensas corrientes de marea que se producen por la restricción topográfica (Marinone y Lavin, 1997; Bray y Robles, 1991; Badán-Dangón *et al.*, 1989).

#### ◀ **PROCEDENCIA Y DISPERSIÓN SEDIMENTARIA**

Los procesos sedimentológicos e hidrodinámicos ocurridos en las márgenes continentales son evaluados a partir de la variación espacial de los parámetros texturales en respuesta a los agentes hidráulicos [*e.g.*, oleaje, corrientes (Friedman, 1979)], infiriendo con ello el patrón residual de transporte sedimentario (Gao y Collins, 1994; McLaren y Bowles, 1985; McCave, 1978; Pettijohn *et al.*, 1972). Asimismo, el análisis mineralógico de ligeros y pesados evita realizar interpretaciones erróneas sobre el origen de los depósitos sedimentarios (*e.g.*, Sánchez-González, 1995; Frihy, 1994; Stanley, 1989; Mazullo y Peterson, 1989 ; Morton, 1985; Carriquiry, 1985; Scheidegger y Krissek, 1982).

Los sedimentos superficiales del NGC tienen cuatro fuentes potenciales: (1) la estructura deltáica del Río Colorado y sus márgenes; (2) las planicies costeras de Baja

California y Sonora; (3) los aportes eólicos del GDS; y (4) las descargas fluviales de los ríos Concepción y Sonoita (Baumgartner *et al.*, 1991; Baba *et al.*, 1991a,b; van Andel, 1964; Byrne y Emery, 1960). Las cuatro provincias definidas para el NGC (Figs. 15 y 16) nos permiten identificar, en base a sus asociaciones mineralógicas (Tabla 2), la fuente dominante de sedimentos para el área.

La provincia del Delta del Río Colorado (PDRC) esta caracterizada por una asociación mineralógica de Anfíbol-Epidota-Piroxenos (An-Ep-Px) cuya fuente principal son los sedimentos derivados de la estructura deltáica del Río Colorado.

Es de llamar la atención que la PDRC continúe dominando de manera tan significativa la distribución regional de los sedimentos superficiales a pesar de que los aportes riverinos han sido completamente eliminados. Van Andel (1964) y Byrne y Emery, (1960) realizaron una serie de estudios a lo largo del GC, antes de que los principales ríos fueran completamente embalsados y su aporte eliminado. Estos autores determinaron que los sedimentos del NGC presentan una asociación de An-Ep-Px y probablemente fueron derivados de los aportes del Río Colorado. Adicionalmente, van Andel (1964) concluye que ante el desconocimiento de la geología del Cuaternario y las características sedimentológicas del delta del Río Colorado y su región oceánica, y el amplio espaciamiento entre sus estaciones, solo es posible dar consideraciones generales del patrón sedimentario en el NGC.

Estudios realizados por Thompson (1968) en el AGC, principalmente a lo largo de su margen oeste, revelaron que los sedimentos de esta región son caracterizados por una asociación de An-Ep-Px. De hecho, Carriquiry y Sánchez-González (sometida) reportan

que los sedimentos "actuales" de la cuenca estuarina del Río Colorado y sus márgenes, y la región del AGC presentan una asociación An-Ep-Px, concluyendo que estos son derivados de la misma estructura deltáica y transportados hacia las regiones oceánicas adyacentes por las condiciones hidrodinámicas del sistema, las cuales ocasionan un patrón residual de transporte sedimentario en sentido contrario a las manecillas del reloj tanto en la región estuarina como en el AGC (Carriquiry y Sánchez-González, sometida).

Por otra parte, la distribución espacial de la razón Q/F nos permite confirmar la fuente de abastecimiento sedimentario, ya que la región deltáica presenta consistentemente valores entre 1 y 2 (Sánchez-González, 1995). Asimismo, Baba *et al.* (1991a,b) reportan para el NGC una razón Q/F con valores promedio de 1.4, muy similares a lo encontrados en este estudio (Fig. 17).

Es relativamente sorprendente que exista una gran coincidencia entre el presente estudio y los realizados anteriormente, en relación a la composición mineralógica de los sedimentos en el NGC, AGC y delta del Río Colorado. A partir de esta similitud es posible confirmar el origen de los sedimentos que se depositan actualmente en el NGC, los cuales proceden de la erosión y retrabajamiento de la estructura deltáica y las plataformas someras del NGC (Carriquiry y Sánchez-González, sometida; Carriquiry, 1993; Baba *et al.*, 1991a,b; Meckel, 1975; Thompson, 1968; van Andel, 1964).

Los principales agentes hidrodinámicos que intervienen en la dispersión de los sedimentos, en mares epicontinentales son: las corrientes de marea, y en menor término el oleaje y las corrientes geostróficas (Alexander *et al.*, 1991; Swift *et al.*, 1985). Sin

embargo los flujos por convección vertical de masas de agua pueden contribuir significativamente en el transporte de partículas (Lavin *et al.*, 1995, Bray, 1988a,b).

De esta manera el transporte y dispersión de los sedimentos en la PDRC se debe a los siguientes mecanismos: (1) las intensas corrientes de marea erosionan y resuspenden el material sedimentario de la estructura deltáica y su plataforma adyacente (Cupul-Magaña, 1994; Carriquiry, 1993); (2) durante el reflujos de la marea, el sedimento resuspendido y de fondo sale del sistema estuarino, y es transportado a lo largo de la costa oeste del AGC hacia el NGC por las corrientes oceánicas (Carriquiry y Sánchez-González, *sometida*); (3) el material relativamente más grueso es depositado en la costa oeste AGC, mientras que las partículas más finas continúan en tránsito, asentándose a lo largo de la margen occidental del NGC (Carriquiry y Sánchez-González, *sometida*; Cupul-Magaña, 1994; Carriquiry, 1993; Meckel, 1975; Thompson, 1968); (4) el flujo por convección vertical de masas de agua, generado por la intensa evaporación en el AGC, favorece la dispersión de materiales hacia las pendientes y cuencas profundas del NGC (Lavin *et al.*, 1995, Bray, 1988a,b); y (5) una vez depositados los sedimentos en la región del NGC, las partículas son redistribuidas por las corrientes residuales de la marea y las corrientes geostróficas (Marinone y Lavin, 1997; Carrillo-Bribiesca, comunicación personal).

Aún cuando las corrientes residuales en el NGC presentan cambios estacionales en la dirección de las corrientes (*i.e.*, giros ciclónico y anticiclónicos) por efecto de los vientos dominantes en el transcurso del año (Marinone y Lavin, 1997), el patrón residual de transporte sedimentario nos hace pensar que el movimiento neto de las partículas asociadas a las corrientes residuales es preferentemente en sentido contrario a las

manecillas del reloj; esto es corroborado por los depocentros ubicados hacia la margen oeste del NGC.

El movimiento de los sedimentos en sentido contrario a las manecillas del reloj (Fig. 11) puede observarse sistemáticamente en las provincias Río Concepción (PRC) y Transicional (PT) las cuales se dispersan e intercalan al SW y W con sedimentos de la PDRC, siendo más evidente en la PT (Fig. 16), la cual comienza a “invadir” zonas previamente dominadas por sedimentos del Río Colorado.

Aunque no se tiene buen conocimiento de la dinámica hidrológica de las cuencas de drenajes de los Ríos Concepción y Sonoita, la PRC sigue estando presente en la zona costera adyacente a la desembocadura de estos ríos, manteniendo las mismas características mineralógicas después de haber sido descritas hace más de 30 años por van Andel (1964). La permanencia en el espacio y tiempo de la PRC se debe principalmente a la falta de aporte sedimentario por parte de los ríos y a los procesos de retrabajamiento, inducidos por el oleaje y las corrientes de marea (Baba *et al.*, 1991a,b; van Andel, 1964) no permitiendo el asentamiento de “nuevos” sedimentos. Esto es apoyado por la presencia de minerales glauconíticos, los cuales reflejan etapas de no-depositación (Fig. 18). La PRC difiere de la PDRC por presentar un mayor contenido de Epidota (de 2:1), y una razón  $Q/F > 2$  (Tabla 2, Fig. 17).

Es interesante resaltar que la fracción arenosa de la PRC es más rica en cuarzo, indicando posiblemente una destrucción selectiva de los feldespatos por efectos de abrasión durante los procesos de retrabajamiento en la cuenca receptora (*e.g.*, Mazullo y Peterson, 1989). De hecho, el material sedimentario del Río Concepción se caracteriza, en

su fracción fina (limos y arcillas), por un contenido mayor de feldespatos, y por tanto una razón  $Q/F < 0.2$  (Baba *et al.*, 1991a), lo cual confirma el proceso de destrucción selectiva de feldespatos en la fracción arenosa.

La PT está caracterizada por una composición mineralógica de Epidota-Anfibol-Piroxenos (Ep-An-Px), muy similar a las PDRC y PRC. Sin embargo la variación de cada especie mineral con respecto a las anteriores provincias (Tabla 2) indica que la PT presenta una composición intermedia entre las PDRC y PRC, haciendo más evidentes los procesos de mezcla.

Aunque se han mencionado las fuentes de abastecimiento sedimentario para las provincias PRC y PT, estas también pudieran recibir materiales del GDS los cuales se caracterizan por una asociación de Zircón-Granate (Blount y Lancaster, 1990). Para determinar los posibles aportes del GDS, se realizó un análisis comparativo de las especies minerales para cada una de las estaciones más costeras en la margen este del NGC [Fig. 1 (fu05, BP01, BP02, CP01, DP01, EP01, EP01B y FP01)]. Se observa que el contenido promedio de zircón incrementa en un factor de 4 y en menor proporción el granate por un factor de casi 2 relativo al estudio realizado por Van Andel (1964), indicando un menor contenido de estos minerales con respecto a nuestro muestreo.

Considerando la resuspensión y reabajamiento de los sedimentos por acción del oleaje a lo largo de la costa sonorese, así como el patrón de circulación y las fuertes corrientes de marea en el área, y el aporte eólico; todos los factores promueven una dispersión de sedimentos enriquecidos no solo en granate y zircon, sino también en epidota de la costa sonorese y el GDS hacia áreas previa y absolutamente dominadas por

sedimentos ricos en An-Ep-Px. Como resultado, los sedimentos de estas fuentes comienzan a ser mas importantes en el área, comenzando a “invadir” grandes áreas dominadas previamente por sedimentos del Río Colorado.

En efecto, el incremento mineralógico de zircón y granate no es exclusivo del NGC, sino también se presenta con el mismo comportamiento en el AGC, donde la costa de Sonora parece estar abastecida por materiales depósitos originados de los depósitos de la Mesa de Sonora (Carriquiry y Sánchez-González, sometida).

La provincia Baja-Sonora (PBS) se encuentra constituida por una asociación de Hornblenda-Epidota, cuyos sedimentos se derivan de granitos y granodioritas presentes en la península baja californiana y la costa sonorensis; la razón  $Q/F > 4$  confirma los aportes de rocas ígneas plutónicas.

La PBS se encuentra localizada en dos zonas: al SE de la margen oriental del NGC y en la zona entre Puertecitos y al sur de San Luis Gonzaga (Fig. 16). La dispersión de sedimentos en dirección  $SE \Rightarrow NW$ , en la región sureste del NGC corresponde con el patrón residual de transporte (Fig. 11), donde las corrientes de marea llevan los sedimentos hacia la parte central del sur del NGC, entre de las grandes islas. Por otra parte, los sedimentos en la porción media de la margen oeste del NGC son limitados hacia el NW y SE, debido al patrón de dispersión de los materiales derivados del AGC que tienden a depositarse preferencialmente en la plataforma y pendiente occidental del NGC.

## CONCLUSIONES

1) Los sedimentos de la región del NGC, en base a sus propiedades texturales, se distribuyen espacialmente en tres facies sedimentarias bien delimitadas. La facies Arcillosa, sedimentos con un tamaño de grano medio de  $8.17 \phi$ , asimétricamente negativos y pobremente clasificados. Localizados a lo largo de la margen oeste del NGC. La facies de arenas finas, material con poco contenido de limos y arcillas, un diámetro medio de grano de  $2.52 \phi$ , pobremente clasificados y asimetría positiva. Su cobertura espacial va de la margen este del AGC y hasta la región sur del NGC. La facies limo AR-AR, sedimentos con un tamaño de grano promedio de  $5.08 \phi$ , pobremente clasificados y asimetría positiva. Esta facies cubre la margen sonorese y zona central del sur del NGC.

2) El patrón residual de transporte de los sedimentos determinado en base al modelo propuesto por Gao y Collins (1994) nos indica la existencia de un transporte neto de sedimentos y materiales en dirección  $N \Rightarrow S$  a lo largo de las plataformas continentales oeste y este del NGC, y un movimiento dominante de sedimentos en dirección  $NE \Rightarrow SW$  del litoral sonorese a la costa bajacaliforniana. Es oportuno hacer notar que las direcciones de transporte son consistentes con la hidrodinámica de la zona.

3) Los sedimentos erosionados y resuspendidos de la estructura deltáica y su plataforma adyacente son depositados preferentemente a lo largo de la margen oeste del NGC, formando un depocentro materiales. La circulación ciclónica y el centro de atrapamiento de partículas ubicado en la Cuenca Delfin confirman esta conclusión. Otros

tres depocentros fueron identificados en la región sur del NGC, donde convergen los vectores de transporte de sedimento.

4) La dispersión de sedimentos dentro de la cuenca estuarina, así como en el AGC y NGC está controlada por las condiciones hidrodinámicas del sistema de corrientes y a la topografía submarina de la zona de estudio.

5) Cinco subfacies fueron definidas en el NGC. La subfacies Arcilla Diatomeacea refleja los aportes derivados de los florecimientos fitoplanctónicos, debido a la alta productividad primaria. El material biogénico se mezcla con los sedimentos finos de la estructura deltáica, esta subfacies es limitada en extensión por la subfacies de Plataforma-Pendiente, donde el contenido de foraminíferos, arenas y la relativa abundancia de glauconita, presuponen una razón de depositación muy baja. La cercana similitud de los componentes en la fracción arenosa de los depósitos de Plataforma-Pendiente y Arenas Transgresivas sugieren que los sedimentos de origen transgresivo están siendo cubiertos por materiales clásticos finos y actualmente son restringidos a zonas que corresponderían a líneas de costa recientes (antiguas: paleocosta). Las subfacies Deltáica Distal y de Arenas Calcáreas representan procesos muy locales, donde el régimen hidráulico y las razones de depositación relativamente bajas permiten su formación.

6) La composición mineralógica de los sedimentos en la región indica que los aportes históricos del Río Colorado siguen dominando la distribución regional de los sedimentos, sin embargo materiales derivados de las planicies costeras y el Gran Desierto comienzan a ser fuentes significativamente más importante de sedimentos a la región, empezando a dispersarse a áreas dominadas por sedimentos del Río Colorado. El régimen

hidrodinámico de la cuenca marina del NGC reportado por estudios previos parecen apoyar esta conclusión.

7) Los aportes eólicos del Gran Desierto pudieran contribuir al menos con el 30 % de los aportes sedimentarios al NGC (Blount y Lancaster, 1990), al menos se tienen evidencias de que las zonas más costeras presentan sedimentos derivados del desierto (sustentado por el enriquecimiento de zircón y granate en un factor de 4 y 2, con respecto a estudios previos). Sin embargo, para determinar la importancia de los aportes eólicos se requiere de estudios más específicos (*e.g.*, trampas eólicas sedimentarias).

## REFERENCIAS

- Alexander, C.R., 1990. **Modern sedimentation in the Yellow sea: application to geologic models of epicontinental shelf and macrotidal-mudflat environments.** Ph. D. Thesis. Graduate Faculty. North Carolina State University.
- Alexander, C.R., D.J. DeMaster y C.A. Nittrouer, 1991. Sediment accumulation in a modern epicontinental shelf setting: The Yellow Sea. *Mar. Geol.*, 98:51-72.
- Alvarez-Borrego, S. y J.R. Lara-Lara, 1991. The physical environment and productivity of the Gulf of California, pp. 555-567. *En: Dauphin, J.P. y B.R.T. Simoneit, (eds), The Gulf and Peninsular province of the Californias.* AAPG Memoir 47.
- Ali, S.A., R.H. Lindemann y P.H. Feldhausen, 1976. A multivariate sedimentary environmental analysis of Great South Bay and South Oyster Bay, New York. *J. Mathem. Geol.*, 8:283-304.
- Ashley, G., 1978. Interpretation of polymodal sediments. *J. of Geol.*, 86:411-421.
- Badán-Dangón, A., M.C. Hendershott y M.F. Lavin, 1989. Underway doppler current profiles in the Gulf of California. *EOS*, 71:1-11.
- Baba, J. Peterson, C.D. y Schrader, H.J., 1991a. Modern fine-grained sediment in the Gulf of California during the last century, pp. 569-587. *En: Dauphin, J.P. y B.R.T. Simoneit, (eds), The Gulf and Peninsular province of the Californias.* AAPG Memoir 47.
- Baba, J. Peterson, C.D. y Schrader, H.J., 1991b. Fine-grained terrigenous sediment supply and dispersal in the Gulf of California during the last century, pp. 589-602. *En: Dauphin, J.P. y B.R.T. Simoneit, (eds), The Gulf and Peninsular province of the Californias.* AAPG Memoir 47.
- Baumgartner, T.R., V.Ferreira y Schrader, 1991. Varve formation in the Central Gulf of the California: a reconsideration of the origin dark laminae from the 20th century varve record, pp.617-635. *En: Dauphin, J.P. y B.R.T. Simoneit, (eds), The Gulf and Peninsular province of the Californias.* AAPG Memoir 47.
- Bearman, G., 1989. **Waves, tides and shallow-water processes.** Pergamon Press.
- Bray, N.A., 1988a. Thermohaline circulation in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.*, 93:4993-5020.
- Bray, N.A., 1988b. Water mass formation in the Gulf of California. *J. Geophys Res.*, 93:9223-9240.
- Bray, N.A. y J.M. Robles, 1991. Physical oceanography of the Gulf of California. pp. 511-553. *En: Dauphin, J.P. y B.R.T. Simoneit, (eds), The Gulf and Peninsular province of the Californias.* AAPG Memoir 47.
- Blount, G. y N. Lancaster, 1990. Development of the Gran Desierto of Mexico. *Geol.*, 18: 724-728.
- Bornhold, B.D. y P. Giresse, 1985. Glauconitic sediments on the continental shelf off Vancouver island, British Columbia, Canada. *J. Sedim Petrol.*, 55:653-664.
- Byrne, J.V. y K.O. Emery, 1960. Sediments of the Gulf of California. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 71:983-1010.

- Callahan, J., 1987. A nontoxic heavy liquid and inexpensive filters for separation of minerals grain. *J. Sedim. Petrol.*, 57:765-766.
- Carriquiry, J.D., 1985. **Análisis de la distribución de los minerales pesados en los sedimentos clásticos de la Bahía de Todos Santos, B.C.** Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. U.A.B.C.
- Carriquiry, J.D., 1993. Dinámica de sedimentación en el sistema del delta del Río Colorado. II Reunión Internacional sobre la Geología de la Península de Baja California. Ensenada, B.C.
- Carriquiry, J.D. y Sánchez-González, 1997 (sometida). Dispersion and provenance of the recent sediments of the Colorado River Delta and adjacent platform. *Mar. Geol.*
- Chester, R., E.J. Sharples y G.S. Sanders, 1985. The concentration of particulate aluminum and clay minerals in aerosols from the northern Arabian sea. *J. Sedim. Petrol.*, 55:37-41.
- Commeau, J.A., L.J. Poppe y R.F. Commeau, 1991. Separation and identification of the silt -size heavy minerals fraction in the sediments. U.S. Geol. Survey Circular 1071, 13p.
- Cupul-Magaña, A.L., 1994. **Flujo de sedimentos en suspensión y nutrientes en la cuenca estuarina del Río Colorado.** Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. U.A.B.C.
- Dean, W.E., 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparason with other methods. *J. Sedim Petrol.*, 44:242 - 248.
- Dryden, A., 1935. Statistical method for the comparasion of heavy minerals suites. *Am. Jour. Sci.* 5th Ser., 29:393-408.
- El-Ella, A. y J.M. Coleman, 1985. Discrimination between depositional environments using grain-size analysis. *Sedimentology*, 32:743-748.
- Eggimann, D.W., F.T. Manheim y P.R. Betzer, 1980. Dissolution and analysis of amorphous silica in marine sediments. *J. Sedim. Petrol.*, 50:215 - 225.
- Fagel, N., P. Debrabant y L. Andre, 1994. Clay supplies in the central Indian Basin since the Late Miocene: climatic or tectonic control?. *Mar. Geol.*, 122:151-172.
- Friedman, G.M., 1979. Differences in size distributions of populations of particles among sands from various origins. *Sedimentology*, 26:3-32.
- Frihy, O.E., 1994. Discrimination of accreted and eroded coasts using heavy mineral compositions of the Nile delta beach sands, Egypt. *Sedimentology*, 41:905-912.
- Frihy, O.E. y P. D. Komar, 1991. Patterns of beach-sand sorting and shoreline erosion on the Nile delta. *J. Sedim. Petrol.*, 61:544-550
- Frihy, O.E. y P.D. Komar, 1993. Long-term shoreline changes and the concentration of heavy minerals beach sands of the Nile delta, Egypt. *Mar. Geol.*, 115:253-261.
- Galehouse, J., 1971. Sedimentation analysis. pp. 69-94. *En: Carver, R.E. (ed), Procedures in Sedimentary Petrology.* Wiley Interscience, N.Y..
- Gao, S. y M.B. Collins, 1994. Analysis of grain size trends, for defining sediment transport pathways in maerinbe environments. *J. Coast. Res.*, 10:70-78.

- Gaxiola-Castro, G., J. Garcia C., J.E. Valdez H. y M. Botello R., 1995. Spatial distribution of chlorophyll *a* and primary productivity in relation to winter physical structure in the Gulf of California. *Cont. Shelf Res.*, 15:1043-1059.
- Girty, H.G. y A. Armitage, 1989. Composition of Holocene Colorado river sand: an example of mixed provenance sand from multiple tectonic elements of the cordilleran continental margin. *J. Sedim. Petrol.*, 59:597 - 604.
- Haq, B.U. y A. Boersma, 1984. **Introduction to marine micropaleontology**. Elsevier, New York.
- Houghton, H.F., 1980. Refined techniques for staining plagioclase and alkali feldspars in thin section. *J. Sedim. Petrol.*, 50:629 - 631.
- Ingersoll, R.V., T.F. Bullard, R.C. Ford, S.P. Grimm, J.D. Pickle y S.W. Sares, 1984. The effect of grain size on detrital mode: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *J. Sedim. Petrol.*, 54: 103 - 116.
- Ingram, R.L., 1971. Sieve analysis, pp. 49-68. *En: Carver, R.E. (ed), Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley Interscience, N.Y..
- Janecek, T.R. y D.K. Rea, 1983. Eolian deposition in the northeast Pacific Ocean: Cenozoic history of atmospheric circulation. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 94:730-738.
- Koldewijn, B.W., 1955. An examination of the light fraction, part 2 of provenance, transport and deposition of Rhine sediments. *Geologie*, 17(2):37-45.
- Kuelh, S.A., T.A. Haiur y W.S. Moore, 1990. Shelf sedimentation off the Ganges-Brahmaputra river system: Evidence for sediment bypassing to the Bengal fan. *Geol.*, 17:1132-1135.
- Kuelh, S.A., C.A. Nittrouer y D.J. DeMaster, 1986. Nature of sediment accumulation on the Amazon continental shelf. *Cont. Shelf Res.*, 6:209-225.
- Lavin, M.F., G. Gaxiola C. y J.M. Robles, 1995. Winter masses and nutrients in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.*, 100:8587-8605.
- Leinen, M. y N. Pisas, 1984. An objective technique for determining end-member compositions and for partitioning sediments according to their sources. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, 48:47-62.
- Lee, H.J., K.S. Jeong, S.J. Han y K.S. Bahk, 1988. Heavy minerals indicative of Holocene transgression in the southeastern Yellow Sea. *Cont. Shelf Res.*, 8:255-266.
- Lonsdale, P. 1989. Geology and tectonic history of the Gulf of California, pp. 499-521. *En: Wintener, E.L., D.M. Hussong y R.W. Decker (Eds). The geology of North America*. Geol. Soc. Amer. vol. N.
- Maldonado, A., D.J.P. Swift, R.A. Young, G. Han, C.A. Nittrouer, D.J. DeMaster, J. Rey, C. Palma, J. Acosta, A. Ballester y J. Castellvi, 1983. Sedimentation on the Valencia continental shelf: preliminary results. *Cont. Shelf Res.*, 2:195-211.
- Marinone, S.G. y M.F. Lavin, 1997. Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California, pp. 117-144. *En: Lavin, M.F. (Ed.) Contribuciones a la Oceanografía en México*. Monografía No. 3. Union Geofísica Mexicana.
- Mazullo, J. y M. Peterson, 1989. Sources and dispersal of the late quaternary silt on the northern Gulf of Mexico continental shelf. *Mar. Geol.*, 86:15-26.

- McCave, y.N., 1978. Grain-size trends and transport along beaches: an example from eastern England. *Mar. Geol.*, 28:m43-m51.
- McLaren, P. y Bowles, D., 1985. The effects of sediment transport on grain size distributions. *J. Sedim. Petrol.*, 55:457 - 470.
- McManus, J., 1988. Grain size determination and interpretation, pp. 63-85. En:Tucker, M. (ed), **Techniques in sedimentology**. Blackwell, Oxford.
- Meckel, L.D., 1975. Holocene sand bodies in the Colorado delta area, Northern Gulf of California, pp. 239-265. En: Broussard, M.C. (ed), **Deltas, Models for exploration**. Houston Geol. Soc.
- Miall, A.D., 1984. Deltas, pp. 105-118. En: Walker, R.G. (ed), **Facies models**. Geosciences. Canada.
- Milliman, J.D. y R.H. Meade, 1987. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *J. Geol.*, 100:525-544.
- Milliman, J.D., O.H. Pilkey y D.A. Ross, 1972. Sediments of the continental margin off the Eastern United States. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 83:1315-1334.
- Milliman, J.D., U. Qin, M.E. Ren y Y. Saito, 1987. Man's influence on erosion and transport of sediment by Asian rivers. The Yellow river (Huanghe) example. *J. Geol.*, 95:751-762.
- Morton, A.C., 1985. Heavy minerals in provenance studies, pp. 249-277. En: Zuffa, G.G. (ed). **Provenance of arenites**. D. Reidel Publishing Co., Boston
- Muller, G., 1967, **Methods in sedimentary petrology**. Ed. Hafner Publish Co.
- Nittrouer, C.A., S.A. Kuehl, D.J. DeMaster, y R.O. Kowsmann, 1986. The deltaic nature of Amazon shelf sedimentation. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 97:444-458.
- Nittrouer, C.A., D.J. DeMaster, S.A. Kuehl, B.A. McKee y K.T. Thorbjarnarson, 1985. Some questions and answers about the accumulation of fine-grained sediment in continental margin environments. *Geo-Mar. Lett.*, 4:211-213.
- Nittrouer, C.A., S.A. Kuehl, J.M. Rine, A.G. Figueiredo, L.C.E. Faria, G.T.M. Dias, M.A.M. Silva, M.A. Allison, T.P. Pacioni, M.P. Segall, E.C. Underkoffler, H.V. Borges y O.F. Silveira, 1991. Sedimentology and stratigraphy of the Amazon continental shelf. *Oceanography* 4:33-38.
- Ortlieb, L., 1991. Quaternary shorelines along the northeastern Gulf of California; geochronological data and tectonics implications, pp. 95-120. *En* Perez-Segura, E y C. Jacques-Ayala (Eds). **Studies of Sonoran geology**, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Special Paper 254.
- Pettijohn, F.G., P.D. Potter y R. Siever, 1972. **Sand and sandstone**. Springer-Verlag, 618pp.
- Prospero, J.M., 1979. Mineral and sea salt aerosol concentrations in various ocean regions. *J. Geophys. Res.*, 84:725-731.
- Pujos, M., P. Bouysse y J.C. Pons, 1990. Sources and distribution of heavy minerals in Late Quaternary sediments of the French Guiana continental shelf. *Cont. Shelf Res.*, 10:59-79.
- Ramessan, V., 1966. Improved methods of heavy mineral separation and counting suitable for fine grained sandstone. *J. Sedim. Petrol.*, 36: 629-631.

- Reading, H.G., 1986. **Sedimentary environment and facies**. Black Sci. Publ., 615 p.
- Reineck, H.E., y y.B. Singh, 1975. **Depositional Sedimentary Environments**. Ed Springer-Verlag, 439 pp.
- Rittenhouse, G., 1943. Transportation and deposition of heavy minerals. Geol. Soc. Amer. Bull., 54:1725-1780.
- Ross, D.A., 1978. Sediments of the northern middle America trench. Geol. Soc. Amer. Bull., 82:302-322.
- Rusnak, G.A., R.C. Fisher y F.P. Shepard, 1964. Bathymetry and faults of Gulf of California pp. 59-75. *En*: Van Andel, T.J. y G.G. Shor (eds), **Marine Geology of the Gulf of California: A Symposium**. AAPG Memoir 3.
- Sánchez-Gonzalez, A., 1995. **Mineralogía de los sedimentos recientes en el Delta del Río Colorado**. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC.
- Scheidegger, K.F. y L.A. Krissek, 1982. Dispersal and deposition of the eolian and fluvial sediments off Peru and northern Chile. Geol. Soc. Amer. Bull., 93:150-162.
- Shepard, F.P., 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. J. Sedim. Petrol., 24: 152-157
- Shepard, F.P., 1956. Marginal sediments of Mississippi delta. AAPG, 40:2537-2623.
- Shepard, F.D., 1973. **Submarine Geology**, Harper & Row, New York.
- Shelley, D., 1985. **Optical mineralogy**. Elsevier, New York.
- Shideler, G.L., 1975. Physical parameter distribution patterns in bottom sediments of the lower Chesapeake bay estuary, Virginia. J. Sedim. Petrol., 45:728-737.
- Stanley, D.J., 1989. Sediment transport on the coast and shelf between the Nile delta and Israeli margin as determined by heavy minerals. J. Coast. Res., 5(4):813-828.
- Stanley, D.J., 1996. Nile delta: extreme case of sediment entrapment on a delta plain and consequent coastal land loss. Mar. Geol., 129:189-195.
- Swift, D.J.P., 1985. Fluid and sediment dynamics on continental shelves, pp. 47-113. *En*: Tillman R.W., D.J.P. Swift y R.G. Walker (Eds). **Shelf sands and sandstone reservoirs**. Curso corto presentado por SEPM No. 13.
- Thompson, R.W., 1968. **Tidal flat sedimentation on the Colorado river delta, Northwestern Gulf of California**. Geol. Soc. Amer. Bull., Memoir 107, 133p.
- Thompson, R.W., 1979. Tidal-flat sediments of the Colorado river delta, northwestern Gulf of California, pp. 57-65. *En*: Ginsburg, R.N. (ed) **Tidal Deposits**. Springer-Verlag, New York.
- Tillman, R.W., 1985. A spectrum of shelf sand and sandstone, pp. 1-46. *En*: Tillman R.W., D.J.P. Swift y R.G. Walker (Eds). **Shelf sands and sandstone reservoirs**. Curso corto presentado por SEPM No. 13.
- Van Andel, T.H. y J.R. Curray, 1960. Regional aspects of modern sedimentation in northern Gulf of Mexico and similar basins, and paleogeographic significance, pp. 345-364. *En*: Curray, J.R. (Ed). **Recent sediments, Northwestern Gulf of Mexico**, AAPG.

- Van Andel, T.H., 1964. Recent marine sediments of the Gulf of California, pp. 216-310. *En*: Van Andel, T.J. y G.G. Shor (eds), **Marine Geology of the Gulf of California: A Symposium**. AAPG Memoir 3.
- Walker, R.G., 1985. Geological evidence for storm transportation and deposition on ancient shelves, pp. 243-302. *En*: Tillman R.W., D.J.P. Swift y R.G. Walker (Eds). **Shelf sands and sandstone reservores**. Curso corto presentado por SEPM No. 13.
- Wright, L.D., 1985. River deltas, pp. 1-75. *En*: Davis, R.A. (Ed), **Coastal Sedimentary Environments**. Springer-Verlag, New York.
- Wright, L.D. y C.A. Nittrouer, 1995. Dispersal of river sediments in coastal seas: six contrasting cases. *Estuaries*, 18:494-508.

# APÉNDICE

Tabla I. Porcentaje relativo de los minerales translucidos (matriz 3.0  $\phi$  + 3.5 $\phi$ ) en los sedimentos superficiales del Norte del Golfo de California. Las especies minerales identificadas aparecen abreviadas y en la parte inferior de la tabla se da su descripción.

Estación	Tur	Zr	Apat	Gr	Ep	An	Oxihb	Aug	Hipers	Esf	Andal	Estau	Glauc	Silim	Mona	Otr
bu08	0.62	13.37	4.12	5.56	8.64	29.01	13.58	13.37	2.47	5.56	0.00	0.00	0.00	1.85	1.85	0.00
eu04	3.78	5.05	3.42	10.45	20.36	33.87	1.98	10.27	1.44	6.31	0.00	0.00	0.00	0.90	1.44	0.72
eu10	0.60	18.75	5.95	3.27	9.23	36.31	3.57	6.25	4.76	5.36	0.00	0.00	0.00	3.27	2.08	0.60
fu05	2.17	7.50	3.75	3.55	24.26	34.91	2.17	10.65	1.58	6.90	0.00	0.00	0.00	0.99	1.58	0.00
fu07	1.68	4.36	2.85	4.03	35.23	28.52	0.67	12.25	1.68	4.87	0.00	0.84	0.34	0.84	1.85	0.00
fu08	0.56	6.18	1.87	2.43	29.78	39.70	3.00	10.86	1.50	2.62	0.00	0.75	0.00	0.75	0.00	0.00
fu10	2.70	5.59	3.60	6.67	21.98	32.61	2.16	12.79	4.68	3.24	0.00	0.54	0.00	1.98	1.26	0.18
fu13	1.87	6.74	2.15	1.87	21.95	46.34	1.72	10.62	1.43	2.73	0.00	0.57	0.00	0.86	1.15	0.00
BP01	2.52	7.32	4.58	8.24	24.94	27.46	1.37	13.96	2.97	3.20	0.00	0.23	0.00	1.60	1.60	0.00
BP02	1.00	11.33	5.33	1.67	20.33	33.67	3.33	4.33	1.33	16.00	0.00	0.00	0.33	1.00	0.33	0.00
BP03	1.60	5.44	0.48	1.44	29.28	44.80	0.80	11.52	1.60	1.60	0.00	0.00	0.00	1.12	0.00	0.32
BP04	1.46	7.54	0.97	1.95	27.74	43.07	2.68	6.81	1.70	5.35	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00	0.24
CP01	0.00	10.64	0.43	13.62	28.51	25.32	0.85	8.30	0.85	8.94	0.00	0.43	0.00	1.49	0.64	0.00
CP02	1.06	4.96	2.48	4.43	30.50	37.59	3.19	7.62	1.24	3.72	0.00	0.71	0.00	0.89	0.71	0.89
CP03	1.56	7.51	0.78	8.61	35.21	29.73	1.10	9.55	1.72	3.29	0.00	0.31	0.00	0.63	0.00	0.00
CP04	1.21	4.44	2.02	1.21	22.98	46.17	2.42	12.70	1.61	3.43	0.00	1.01	0.00	0.81	0.00	0.00
CP05	2.22	5.00	2.22	3.89	21.11	40.00	2.78	10.56	5.00	1.67	0.00	1.11	0.56	1.11	0.00	2.78
CP06	1.21	4.40	2.43	4.55	27.77	32.47	2.88	16.39	1.82	3.95	0.00	0.61	0.00	0.91	0.61	0.00
CP07	1.69	30.34	0.00	1.12	16.29	41.57	1.12	1.69	0.00	3.93	0.00	0.00	2.25	0.00	0.00	0.00
CD01	0.96	10.12	0.48	3.86	21.93	38.80	2.65	8.92	3.37	6.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.89
CD06	1.12	9.17	0.67	3.58	21.25	39.60	2.46	10.74	3.13	5.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.68
DP01	1.76	5.93	1.76	9.29	36.38	25.16	1.28	9.78	1.44	4.01	0.00	0.00	0.00	0.16	2.88	0.16
DP02	1.75	3.33	3.49	5.08	37.94	27.14	0.95	9.84	2.54	6.19	0.00	0.00	0.00	0.95	0.79	0.00
DP03	2.28	6.50	3.51	5.45	23.55	33.22	1.76	13.36	2.99	2.81	0.00	1.58	0.00	1.05	1.41	0.53
DP04	1.99	5.83	1.38	4.45	28.53	33.59	1.53	13.04	2.76	1.84	0.15	1.69	0.00	1.38	1.23	0.61
DP05	0.97	4.08	2.91	2.52	25.63	37.09	2.52	13.20	2.91	3.30	0.00	1.36	0.00	1.75	1.75	0.00
DP06	2.73	13.28	1.95	1.95	20.70	32.03	1.56	13.67	0.39	6.64	0.78	0.78	1.17	0.39	0.39	1.56
DP07	0.27	11.94	1.59	0.53	27.85	32.10	4.51	4.24	0.80	14.85	0.00	0.27	0.00	1.06	0.00	0.00
DP08	0.42	4.66	0.85	2.12	8.47	66.10	4.24	5.08	5.93	1.27	0.00	0.00	0.00	0.42	0.42	0.00

Tabla I continua...

EP01	1.06	7.86	3.82	3.40	40.76	21.66	1.70	10.19	1.06	4.67	0.64	2.76	0.42	0.00	0.00	0.00
EP01B	0.34	5.11	1.19	4.26	43.95	25.89	3.58	10.05	1.53	2.21	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	0.17
EP02	1.23	2.58	3.07	2.09	34.23	30.31	3.44	11.90	2.09	2.94	0.00	2.45	0.00	1.35	0.74	1.60
EP03	1.57	5.77	1.22	1.75	22.55	43.88	3.67	11.19	1.92	3.85	0.00	0.70	0.00	1.22	0.70	0.00
EP04	2.00	3.46	3.28	2.91	21.13	41.17	2.55	13.11	1.82	4.55	0.00	1.46	0.00	1.28	0.91	0.36
EP05	1.70	6.53	1.42	1.14	19.03	42.33	4.55	11.08	2.27	4.26	0.28	1.14	0.28	2.56	0.57	0.85
EP06	1.36	6.95	1.19	1.02	30.34	32.71	2.37	16.27	1.86	3.05	0.00	0.51	0.00	1.69	0.34	0.34
EP07	0.77	15.74	1.15	1.15	24.38	22.26	1.92	11.90	16.51	1.73	0.19	0.38	0.38	1.15	0.19	0.19
EP08	0.00	27.63	0.68	1.37	16.67	8.68	1.14	6.16	36.76	0.00	0.23	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00
FP01	1.82	4.64	1.82	6.62	41.06	26.66	0.99	8.28	1.66	2.81	0.00	0.66	0.00	1.49	1.32	0.17
FP02	2.96	5.19	2.47	2.47	17.28	42.72	3.70	8.15	1.48	3.70	0.99	1.23	0.00	1.98	1.48	4.20
FP04	1.64	8.04	1.79	6.85	24.11	33.93	0.30	15.92	2.23	1.64	0.00	0.30	0.00	1.49	1.04	0.74
FP06	1.00	6.97	1.00	1.00	22.39	33.83	1.99	26.37	4.48	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FP08	1.06	4.61	1.42	1.06	12.06	65.25	1.42	7.09	0.35	3.19	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00	1.77
GP01	1.67	3.80	2.43	2.74	18.69	50.61	2.74	8.97	2.13	3.04	0.15	0.91	0.00	0.61	1.37	0.15
GP02	3.98	3.59	3.19	4.78	22.71	40.64	5.18	5.18	1.99	1.99	0.40	0.80	0.00	3.59	0.40	1.59
GP03	1.29	3.86	2.58	0.86	13.73	59.66	3.00	8.15	0.00	3.00	0.00	0.43	0.00	0.86	0.86	1.72
GP04	2.06	2.92	3.09	9.26	14.92	41.17	1.20	7.03	12.69	1.20	0.34	0.34	0.69	1.54	0.17	1.37
GP05	2.06	3.67	1.61	5.96	10.55	47.94	0.92	8.26	14.45	1.38	0.23	0.46	0.00	1.38	1.15	0.00
HP00	1.21	3.64	1.21	1.62	8.10	72.06	2.43	5.67	0.81	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	2.43	0.00
HP01	1.21	4.23	1.51	2.42	13.60	59.21	0.91	6.65	5.14	0.30	0.00	0.30	0.00	3.02	1.51	0.00
HP02	1.24	4.35	2.28	6.83	17.39	48.65	1.04	6.42	7.45	0.62	0.21	0.41	0.00	1.66	1.45	0.00
HP03	1.13	4.36	2.75	9.37	19.87	43.94	0.97	5.82	8.56	0.81	0.16	0.16	0.00	0.97	1.13	0.00
HP04	0.90	2.71	2.26	1.81	13.57	38.46	2.71	14.03	19.91	1.36	0.00	0.00	0.00	2.26	0.00	0.00
JP01	1.42	9.74	1.83	2.64	8.32	55.17	1.01	11.56	4.26	0.81	0.20	0.00	0.00	1.83	1.22	0.00
JP02	1.29	4.78	0.92	1.84	18.20	53.49	0.92	9.74	6.99	0.92	0.00	0.00	0.00	0.37	0.37	0.18
JP03	1.45	6.10	0.29	2.33	11.63	50.87	2.91	11.63	10.17	0.87	0.00	0.00	0.00	0.29	1.45	0.00
KP01	1.58	2.99	0.53	1.58	17.75	53.60	1.58	11.07	7.03	1.41	0.18	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00
KP03N	1.64	3.45	0.99	0.82	20.69	51.07	2.46	10.51	5.25	1.31	0.33	0.16	0.00	0.49	0.82	0.00
LP01	0.88	5.80	0.88	1.93	10.37	58.17	1.23	10.37	7.91	1.23	0.00	0.00	0.00	0.35	0.88	0.00

Tur	turmalina	Gr	granate	Oxihb	oxihorblenda	Esf	esfena	Glauc	glauconita	Otr	otros
Zr	zircon	Ep	epidota	Aug	augita	Andal	andalucita	Silim	silimanita		
Apat	apatita	An	anfíbol	Hipers	hiperstena	Estau	estauroлита	Mona	monacita		