



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

03084
1
225

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
UNIDAD ACADÉMICA DE LOS CICLOS PROFESIONALES
Y DE POSGRADO

ESTUDIO GEOQUÍMICO Y DE PROCEDENCIA DE
LAS ARENAS FOSFÁTICAS EN LA MARGEN COSTERA
SUROESTE DE LA PENINSULA DE BAJA
CALIFORNIA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS DEL MAR
(OCEANOGRAFIA GEOLOGICA)

P R E S E N T A :

ALEJANDRO DANIEL ALVAREZ ARELLANO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Este trabajo se realizó bajo la dirección del Dr. Federico Páez Osuna, en el Laboratorio de Química Marina, de la Estación Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM y en el Laboratorio de Química de Suelos y Agua de la UABCS con el apoyo financiero de la Universidad Autónoma de Baja California Sur a través de su Programa Institucional de Investigación y de la Secretaría de Educación Pública.

Dedico este trabajo a mi familia que de muchas formas me apoyó para su realización: a Doris, mi esposa, a Citlali y Olín, mis hijos, a Oscar, mi sobrino.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	iv
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
ÁREA DE ESTUDIO.....	9
Geología continental.....	9
Geología marina	12
Relieve subaéreo y subacuático.....	15
Oceanografía.....	22
METODOLOGÍA.....	26
Regionalización.....	26
Obtención y preparación de muestras.....	28
Textura y distribución textural.....	32
Química.....	33
Mineralogía.....	35
Procesamiento de datos.....	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
Geomorfología y estructuras regionales...	41
Geomorfología y ambientes sedimentarios costeros.....	47
Textura y distribución textural.....	51
Química.....	62
Mineralogía.....	107
CONCLUSIONES.....	129
AGRADECIMIENTOS.....	135
LITERATURA CITADA.....	136
ANEXOS.....	148

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del área de estudio.....	10
Figura 2. Mapa geológico generalizado de la región.....	11
Figura 3. Batimetría del sur de la península.....	17
Figura 4. Batimetría de la parte sur del área de estudio.....	19
Figura 5. Batimetría de la parte central del área de estudio...	20
Figura 6. Batimetría de la parte norte del área de estudio.....	23
Figura 7. Regionalización del área de estudio.....	27
Figura 8. Localización de las estaciones de muestreo.....	29
Figura 9. Modelo característico de difracción de las especies minerales identificadas.....	37
Figura 10. Mapa estructural generalizado del área de estudio...	43
Figura 11. Cuencas hidrológicas del área.....	44
Figura 12. Mapa geomorfológico costero.....	50
Figura 13. Histogramas de distribución de tamaño de grano de las muestras típicas de los grupos 1 y 2.....	52
Figura 14. Histogramas de distribución de tamaño de grano de las muestras típicas de los grupos 3 y 4.....	53
Figura 15. Histogramas de distribución de tamaño de grano de las muestras típicas de los grupos 5 y 6.....	54
Figura 16. Isolíneas de tamaño promedio de sedimentos en las regiones I, II y III.....	57
Figura 17. Isolíneas de grado de selección de sedimentos en las regiones I, II y III.....	59
Figura 18. Diagrama de dispersión de Tamaño de grano promedio: Grado de selección y de Tamaño de grano promedio: Curtosis.....	61
Figura 19. Diagrama de dispersión de los factores 1 y 2.....	72
Figura 20. Correlación Fe:Mn.....	72
Figura 21. Diagrama ternario P-Fe-(Cd+Cr+Cu).....	74
Figura 22. Isolíneas de distribución de P (regiones I, II, III).	75
Figura 23. Isolíneas de distribución de Fe (regiones I, II, III)	76
Figura 24. Isolíneas de distribución de Cd (regiones I, II, III)	77

Figura 25. Diagrama de dispersión de las carga de los factores para los datos totales.....	79
Figura 26. Diagrama de dispersión de las cargas de los factores para los datos depurados.....	82
Figura 27. Diagrama de dispersión de las cargas de los factores para la zona A1.....	87
Figura 28. Modelo de regresión múltiple.....	88
Figura 29. Concentración de Ca por intervalo de tamaño en muestras lagunares y de plataforma.....	95
Figura 30. Concentración de P por intervalo de tamaño en muestras lagunares y de plataforma.....	96
Figura 31. Concentración de Fe por intervalo de tamaño en muestras lagunares y de plataforma.....	98
Figura 32. Concentración de Cd por intervalo de tamaño en muestras lagunares y de plataforma.....	99
Figura 33. Concentración de Cr por intervalo de tamaño en muestras lagunares y de plataforma.....	100
Figura 34. Concentración de V por intervalo de tamaño en muestras lagunares y de plataforma.....	101
Figura 35. Diagrama de dispersión de componentes principales para concentrados sedimentarios.....	106
Figura 36. Difractogramas de las muestras 64, 71 y 77.....	110
Figura 37. Difractogramas de las muestras 72, 89 y 98.....	111
Figura 38. Difractogramas de las muestras 42, 48 y 49.....	113
Figura 39. Diagrama de dispersión de componentes principales...	115
Figura 40. Diagrama de dispersión de relaciones mineralógicas..	117
Figura 41. Fotomicrografías de secciones delgadas (región I)...	121
Figura 42. Fotomicrografías de secciones delgadas (región II)...	123
Figura 43. Fotomicrografías de secciones delgadas (región III)..	124
Figura 44. Fotomicrografías de secciones delgadas (región IV)...	125
Figura 45. Fotomicrografías estereoscópicas (región I).....	126
Figura 46. Fotomicrografías estereoscópicas (región IV).....	127
Figura 47. Modelo de distribución de los sedimentos superficiales.....	130
Figura 48. Modelo de evolución de los depósitos sedimentarios..	133

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Localización de sitios de muestreo y tipo de muestras.	30
Tabla 2. Angulos de difracción y distancias interplanares de las especies minerales identificadas.....	36
Tabla 3. Descargas de sedimentos por cuenca de drenaje.....	46
Tabla 4. Análisis de agrupamiento (Cluster) por el método de sembrado.....	55
Tabla 5. Composición química de las muestras.....	63
Tabla 6. Concentración promedio de metales en el área de estudio y en otras localidades.....	68
Tabla 7. Análisis de factores.....	71
Tabla 8. Concentraciones promedio de datos totales y depurados.	82
Tabla 9. Composición química promedio de sedimentos por zonas..	84
Tabla 10. Cargas de factores para la zona A1.....	86
Tabla 11. Correlación entre elementos analizados de la zona A1.	89
Tabla 12. Composición geoquímica por intervalo de tamaño.....	91
Tabla 13. Composición geoquímica de concentrados sedimentarios.	103
Tabla 14. Composición de fosforitas y de sedimentos de área de estudio (zona A1 y concentrados).....	104
Tabla 15. Análisis de componentes principales para muestras concentradas.....	105
Tabla 16. Composición mineralógica por el método de difracción de rayos X.....	108
Tabla 17. Análisis de componentes principales.....	114
Tabla 18. Relaciones mineralógicas.....	116
Tabla 19. Análisis mineralógico con microscopio petrográfico...	120

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Distribución porcentual de tamaño de sedimentos por intervalo de clase.....	149
Anexo 2. Parámetros texturales de las muestras sedimentarias...	152
Anexo 3. Cargas de factores (Factor Scores) de las muestras totales.....	155
Anexo 4. Cargas de factores (Factor Scores) de las muestras depuradas.....	158

RESUMEN

Se estudiaron química, mineralógica y texturalmente sedimentos superficiales de la costa suroeste de la península de Baja California para caracterizarlos geoquímicamente y conocer los procesos sedimentarios marinos y/o continentales que pudieran explicar su enriquecimiento en fósforo y forma de distribución.

Químicamente se analizaron doce elementos: tres de ellos constituyentes mayores y nueve metales pesados que han sido señalados como asociados a sedimentos enriquecidos en fósforo. Las concentraciones promedio (e intervalos) fueron Ca (CaO) 5.3% (0.91-19.05), P (P₂O₅) 1.1% (<0.10-6.85), Fe (Fe₂O₃) 1.1% (0.21-6.40), Ag 1.2 ppm (<0.7-6.5), Cd 1.3 ppm (<0.1-4.3), Co 5.6 ppm (0.7-18.3), Cr 20 ppm (<0.2-127.2), Cu 6.0 ppm (<0.2-65.2), Mn 86.8 ppm (20-750), Ni 7.8 ppm (<0.2-99.1), V 23.1 ppm (<0.3-217.3) y Zn 16.6 ppm (4.2-63.3); la materia orgánica (MO) estimada como pérdidas por ignición fue en promedio de 2.1% (0.56-7.71).

Mineralógicamente se identificaron y estimaron por medio de difractogramas de rayos X (porcentajes promedio): cuarzo (28.9%), plagioclasa (30.0%) y feldespato potásico (15.7%) como los minerales principales; hornblenda (5.8%), magnetita (3.8%), diópsido (5.7%), apatita (2.5%) y calcita (4.4%) como minerales secundarios; zeolita, illita, serpentina y clorita están presentes en menos del 1% en promedio en regiones muy localizadas.

Haciendo uso de distintas técnicas numéricas se realizaron agrupamientos de los sedimentos que permiten distinguir dos fuentes de origen de las partículas fosfáticas: 1. Las fosforitas de edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior que afloran en diversos puntos de la vertiente occidental del sur de la península; 2. Las areniscas fosfáticas y paleodunas de edad pleistocénica que afloran sobre la línea de costa al norte y oriente del área de estudio. La primer fuente de suministro influye sobre la región meridional del área y la segunda sobre la parte central y norte donde se presenta un amplio sistema lagunar.

En base a los resultados obtenidos se propone que la transgresión holocénica ha erosionado acumulaciones marinas y continentales de edad pleistocénica redepositando estos sedimentos en los fondos lagunares actuales. Con la información disponible no es posible concluir que el proceso de fosfatización se esté llevando a cabo en estos fondos lagunares recientes.

INTRODUCCION

El término empleado de **arenas fosfáticas** tiene una connotación económica minera. Los niveles de concentración de fósforo (como P_2O_5) en estos materiales -arenas fosfáticas- pueden ir desde el orden de un dígito porcentual hasta casi el 40%. Las posibilidades de su explotación dependen de variables tales como: el tipo de yacimiento, la tecnología disponible para su extracción y procesamiento, las vías de comunicación con el yacimiento, de la oferta y demanda en el mercado mundial y de otros elementos económicos.

Las arenas fosfáticas de origen marino como roca dura o roca suave son recursos minerales de gran importancia como base de la industria de los fertilizantes. Estas arenas están constituidas principalmente por el mineral apatita acompañado de pequeñas cantidades de carbonato, flúor, hidroxil, cloro, uranio, estroncio, tierras raras y otros metales pesados. Su composición química puede ser expresada en términos generales como $Ca_{10}(PO_4CO_3)_6(F,OH)_{2-3}$ es decir un carbonato hidroxil flúor apatita. La estructura de este cristal tiene una gran capacidad de intercambio del ión Ca con elementos tales como U, Th, Sr, tierras raras y por otra parte la materia orgánica generalmente asociada a las masas fosfáticas es el vehículo a través del cual se incorporan la mayor parte de los metales pesados (Ag, Cd, Co, Cr, Ni, V, Zn) observados en estos materiales (Slansky, 1986). Los yacimientos fosfáticos más importantes del mundo se encuentran en el norte y occidente de Africa (Marruecos, Túnez, Senegal, Mauritania, Togo, Guinea Bissau); en Carolina del Norte y Florida en EUA, y en varias provincias de China y Rusia (Slansky, *op. cit.*).

El material sedimentario fosfático de origen marino ha sido estudiado desde diversos ángulos: su composición química, petrología, mineralogía, marco oceanográfico, tectónica, alteraciones, microestructuras, texturas, etc.. No obstante ello,

persisten problemas no resueltos relacionados con su origen y evolución. Sin lugar a dudas uno de los motivos que han activado el estudio de estos sedimentos es su importancia como materia prima en la industria de los fertilizantes. Los yacimientos fosfáticos explotados en la actualidad se ubican principalmente en formaciones no recientes ubicadas en afloramientos continentales como son los del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior de Baja California Sur (Galli-Olivier, 1993) y los que se citaron antes en varios países del mundo. El estudio de la edad de los sedimentos fosfáticos que hoy se encuentran en fondos marinos ha sido relevante ya que encontrar los sitios donde se lleva a cabo la fosfatogénesis sedimentaria marina facilita el estudio en forma directa del marco geológico-oceanográfico de formación de estos depósitos en el pasado.

Los depósitos fosfáticos oceánicos primarios (hidrogénicos) pueden explicarse a partir de dos procesos muy generales: uno, por precipitación química directa desde la columna de agua, en la interfase sedimento-agua o desde el agua intersticial; dos, como resultado de un reemplazamiento de material preexistente generalmente carbonatado (Riley y Chester, 1971). En la teoría de la precipitación química se parte de que el fosfato de las aguas oceánicas es tomado por el fitoplancton y de ahí es incorporado al resto de la cadena trófica, su retorno a la fase disuelta en la forma de iones de ortofosfato ocurre cuando los organismos mueren y sus tejidos son "remineralizados" a mayores profundidades del océano. En ciertas regiones del mar estas aguas así enriquecidas retornan a la superficie por medio de un proceso dinámico del océano (surgencias), que es acompañado de un decremento en la presión parcial de CO_2 y un consecuente incremento del pH en las capas más superficiales. En la sucesión repetida de este fenómeno llegan a alcanzarse niveles de saturación de fosfato disuelto que aunado a eventuales elevaciones de temperatura de las aguas someras puede conducir a la precipitación del fosfato mineral (Kazakov, 1937 en Riley y Chester, 1971; Bentor, 1980). Una de las objeciones

a la teoría anterior es que Martens y Harris (1970) descubrieron en el laboratorio que el magnesio presente en el agua oceánica es un inhibidor muy efectivo en la precipitación del mineral fosfático y sugieren en cambio que este proceso se realice bajo condiciones diagenéticas entre sedimentos ricos en materia orgánica y el agua intersticial ya que en este ambiente el magnesio disminuye notoriamente al formarse minerales que lo contienen. D'Anglejan (1967) discute ampliamente sobre el origen de fosforitas marinas en una porción del margen continental de Baja California y sugiere la existencia de un proceso de mineralización fosfórica intersticial relativamente reciente en esos sedimentos.

La teoría según la cual los minerales fosfáticos se originan por reemplazamiento de material carbonatado preexistente se basa en el hecho de que soluciones ricas en fosfatos pueden convertir la calcita en carbonato apatita en los sedimentos (Ames, 1959). Esto sucede por el reemplazamiento parcial de grupos del ión carbonato por grupos del ión fosfato pudiéndose llevar este proceso en la interfase sedimento-agua o en niveles subsuperficiales donde el fosfato esté saturando las aguas intersticiales. Baturin (1969, 1974 en Slansky, 1986) describe la fosfatización como un fenómeno diagenético que tiene lugar inicialmente en forma de un depósito de geles fosfatocálcicos a partir de soluciones intersticiales saturadas. Tanto la precipitación directa como el reemplazamiento pueden ser mecanismos involucrados en la fosfatogénesis (Riley y Chester, 1971).

Una tercera explicación para los depósitos fosfáticos en sedimentos marinos es su acumulación por efecto del retrabajo de partículas o rocas preexistentes. Esto es, por concentración mecánica secundaria como depósito de placer (Guilbert y Park, 1986; Slansky, 1986; Alvarez-Arellano, 1992). Esto es posible dado que la alta estabilidad química de los compuestos fosfatocálcicos ($K_{ps} = 10^{-60}$) (Krauskopf, 1979) y su relativamente alto peso específico ($G = 3.2$) les permiten acumularse por efecto selectivo de agentes

aluviales, eólicos, marinos o lagunares (Guilbert y Park, 1986). El caso de las formaciones fosfáticas de Florida, EUA, es típico de un depósito de retrabajo por transporte subaéreo y submarino durante el Plioceno a partir de rocas miocénicas (Riggs, 1979; Bentor, 1980).

Más recientemente se ha abordado el estudio del análisis del contenido de metales pesados en fosforitas marinas por razones económicas y científicas. Tanto la producción de uranio como de tierras raras a partir del ácido fosfórico así como la aplicación de tierras raras a problemas de fosfatogénesis demuestran la importancia de estos estudios (Altschuler, 1980).

El tema del origen de los sedimentos fosfáticos sigue siendo muy controversial y especulativo, y aunque las primeras hipótesis se basaron en el estudio de rocas fosfáticas antiguas de origen marino que afloran en el continente, en los últimos años ha cobrado más interés el estudio de fosforitas en fondos marinos actuales lo que ha ayudado a precisar más el tipo de variables que controlan el depósito de sedimentos fosfatados (Gulbrandsen, 1966; Burnett, 1977; Burnett, 1983). Como resultado de ello se ha llegado a coincidir de manera muy amplia en que este tipo de materiales se forman a través de procesos diagenéticos, en un ambiente marino reductor y en sedimentos ricos en materia orgánica, pero existen una gran cantidad de incógnitas por despejar tales como: definir el o los ambientes específicos de formación, las condiciones químicas para la precipitación de la Apatita, la asociación con otros elementos químicos, el marco oceanográfico y el marco geológico más favorable entre otras (Bentor, 1980).

Dentro de las aportaciones más recientes se propone que la fosfogénesis sea episódica, ocurriendo a intervalos discretos de tiempo probablemente asociada con fluctuaciones oceanográficas globales como son los cambios del nivel del mar, la intensificación de las surgencias y la modificación de los patrones generales de

circulación controlados climáticamente, tanto en profundidades de talud como de plataforma y aún en ambientes lagunares someros (Burnett, 1977; Sheldon, 1980; Riggs, 1984; Schwennicke, 1994).

En particular se ha documentado que tanto en fosforitas antiguas como en algunas que yacen en lechos marinos actuales, la fosfogénesis se correlaciona bien con altos niveles eustáticos del nivel del mar y que las condiciones para la precipitación de la apatita son más favorables durante los períodos cálidos interglaciales debido al incremento de la entrada de fósforo a los océanos y al amplio desarrollo de zonas de oxígeno mínimo en ellos. Se ha propuesto que en la transición de las condiciones cálidas y de alto nivel del mar hacia las condiciones frías con bajo nivel del mar, los gradientes de temperatura en la atmósfera se hacen más fuertes produciendo un aumento en la actividad del viento, y por lo tanto de las surgencias a lo largo de los márgenes orientales de los océanos, lo que favorece condiciones de sobresaturación de fosfato en el mar (Burnett, 1977; Burnett *et al.*, 1980).

También se ha citado el papel de las carpetas microbianas, como otro factor de control de la fosfogénesis. Se afirma que la actividad de las bacterias bentónicas filamentosas es la causa de la asimilación y cristalización inicial del fósforo, etapa que es seguida del crecimiento de estas 'protopartículas' fosfáticas por diagénesis en la interfase sedimento-agua. Las evidencias indican que estos microorganismos han tenido una función importante en la formación de micrita, nódulos y costras fosfáticas (Reimers *et al.*, 1990; Cook *et al.*, 1990; Lamboy, 1990).

Una de las provincias fosfogénicas de margen continental más importantes del mundo es la que se extiende desde el norte de California, EUA, hasta el sur de Baja California Sur, México (Mullins y Rasch, 1985). Además, en el margen costero emergido en el occidente de Baja California Sur existen unidades litológicas fosfáticas de origen marino de edad desde Oligoceno Superior hasta

el Reciente (D'Anglejan, 1987; Galli-Olivier *et al.*, 1990; Alvarez-Arellano, 1992; Maraver-Romero, 1992).

En el margen continental Pacífico de Baja California Sur se han realizado investigaciones de sedimentos fosfáticos que sugieren tres orígenes distintos de estas partículas: 1) D'Anglejan (1967) en estudios realizados en la provincia fosfogénica localizada entre las latitudes 24° y 26° norte, de la zona antes mencionada reporta que el depósito intersticial de fosfato regenerado dentro de los sedimentos es más importante que su precipitación directa desde la columna de agua. Considerando la cinética de mineralización y los diferentes intervalos de emersión de esta plataforma el mismo autor estima que el tiempo necesario para formar ese depósito puede ser entre dos y tres millones de años; 2) Jahnke *et al.* (1983) analizaron un núcleo de sedimentos y el agua intersticial asociada en el margen continental sur de la península de Baja California a 200 m de profundidad. En ese estudio concluyen que el depósito de mineral fosfático (francolita) es reciente y que particularmente tiene lugar entre los 6 y 7 cm de profundidad, donde detectaron concentraciones del orden de 3% de pentóxido de fósforo en los sedimentos, casi un orden de magnitud más grande en comparación con el resto del núcleo, coincidiendo con un máximo de fosfatos disueltos en el agua intersticial en ese mismo nivel subsuperficial; 3) Alvarez-Arellano (1992) detectó concentraciones altas de pentóxido de fósforo en las arenas de una aprte de la zona costera suroeste de la península de Baja California en ambientes de duna, playa y plataforma continental interna y dada la asociación de este depósito con las cuencas de drene continentales que "lavan" la formación fosfática San Gregorio que aflora en el continente afirma que este depósito corresponde a una acumulación tipo placer debido al retrabajo de las arenas de la formación mencionada.

En base a todo lo anterior, los objetivos principales del presente estudio fueron caracterizar geoquímicamente los sedimentos de la margen costera suroeste de la península de Baja California,

conocer el origen de su enriquecimiento fosfático y su distribución así como definir los procesos sedimentarios globales que afectan a esta región particular. Para ello se determinaron la composición química, mineralógica y las características texturales de dichos sedimentos y los procesos geomorfológicos del área continental adyacente.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está limitada dentro de las coordenadas 24° 00' y 25° 15' latitud norte y 111° 00' y 112° 15' longitud oeste, en la margen costera suroeste de la península de Baja California en colindancia con las aguas del océano Pacífico (Figura 1). Esta región, en su parte continental, está dentro de la provincia fisiográfica de la península de Baja California, subprovincia Tierras Bajas o Llano de Magdalena (Raiz, 1964). Su topografía es de planicies y lomeríos. El paisaje montañoso sólo se observa en las islas Margarita y Magdalena que alcanzan alturas máximas de 500 m. La parte sur del área de estudio es una costa frente a mar abierto. El centro y norte del área estudiada corresponden morfológicamente a tres cuerpos lagunares protegidos por las islas Magdalena y Margarita que son denominados, de acuerdo a las cartas geográficas, de norte a sur: laguna Soledad, bahía Magdalena y bahía Almejas-Santa Marina.

GEOLOGÍA CONTINENTAL

La subprovincia fisiográfica definida por Raiz (*op.cit.*) como Tierras Bajas ha sido definida geológicamente como Cuenca Iray-Magdalena (INEGI-UNAM, 1984), correspondiendo estructuralmente a un geosinclinal de orientación noroeste sureste relleno con rocas cretácicas y cenozoicas. En la margen occidental de esta región afloran las rocas más antiguas formando montañas "islas" (Lugo-Hubp, 1989) (islas Margarita y Magdalena) constituídas por un complejo ofiolítico y secuencias jurásico-cretácicas parcialmente metamorfizadas. Al norte, sur y oriente de esta región (Cuenca Iray-Magdalena) afloran rocas sedimentarias marinas terciarias que rellenan en su mayor parte la depresión estructural. La parte central de la cuenca está cubierta superficialmente por sedimentos cuaternarios fluviales, eólicos y aluviales. Al oriente de la cuenca aflora una secuencia vulcanosedimentaria terciaria que conforma la subprovincia sierra La Giganta (Figura 2).

FALLA DE ORIGEN

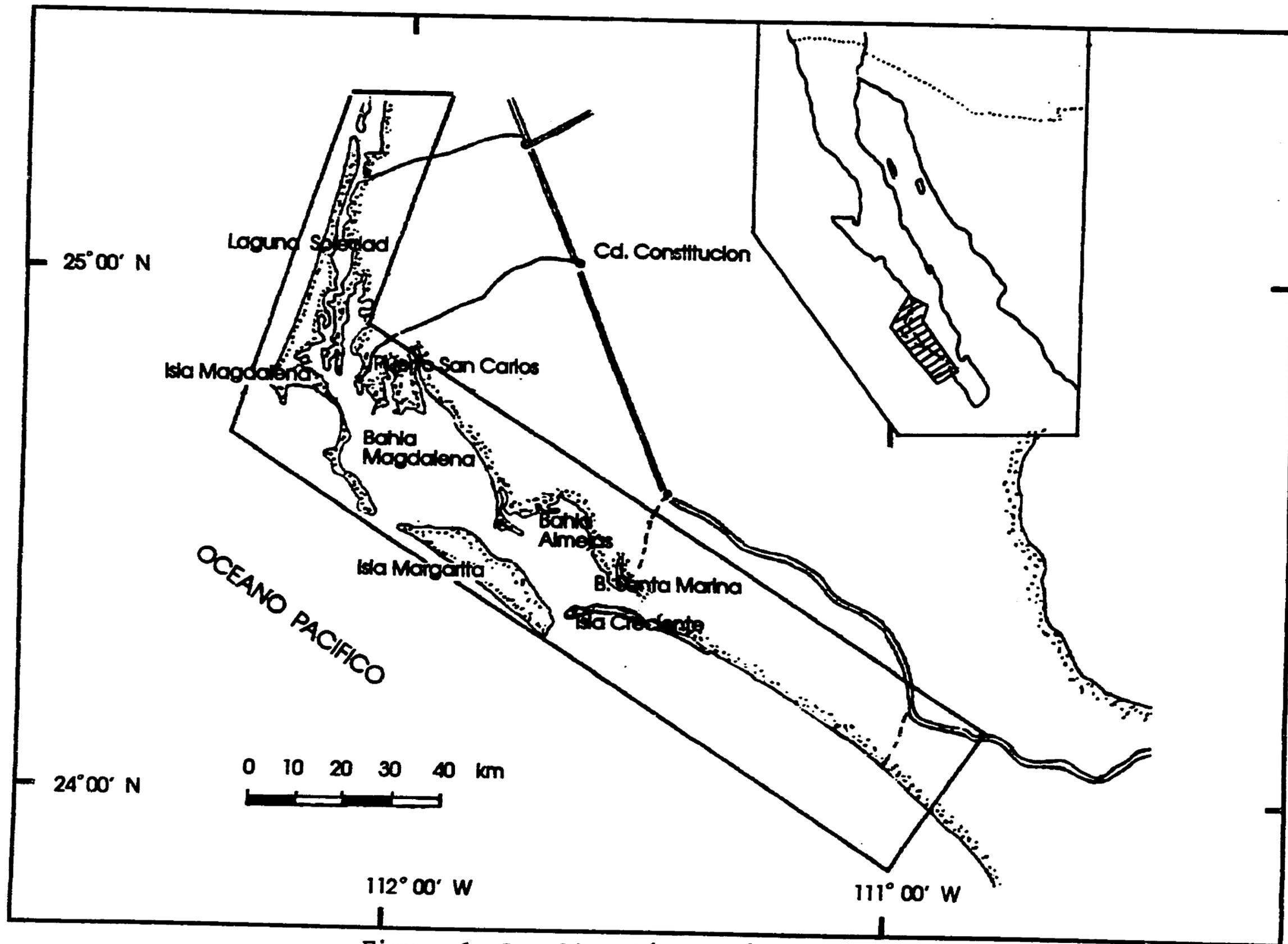


Figura 1. Localización del área de estudio

FALLA DE ORIGEN

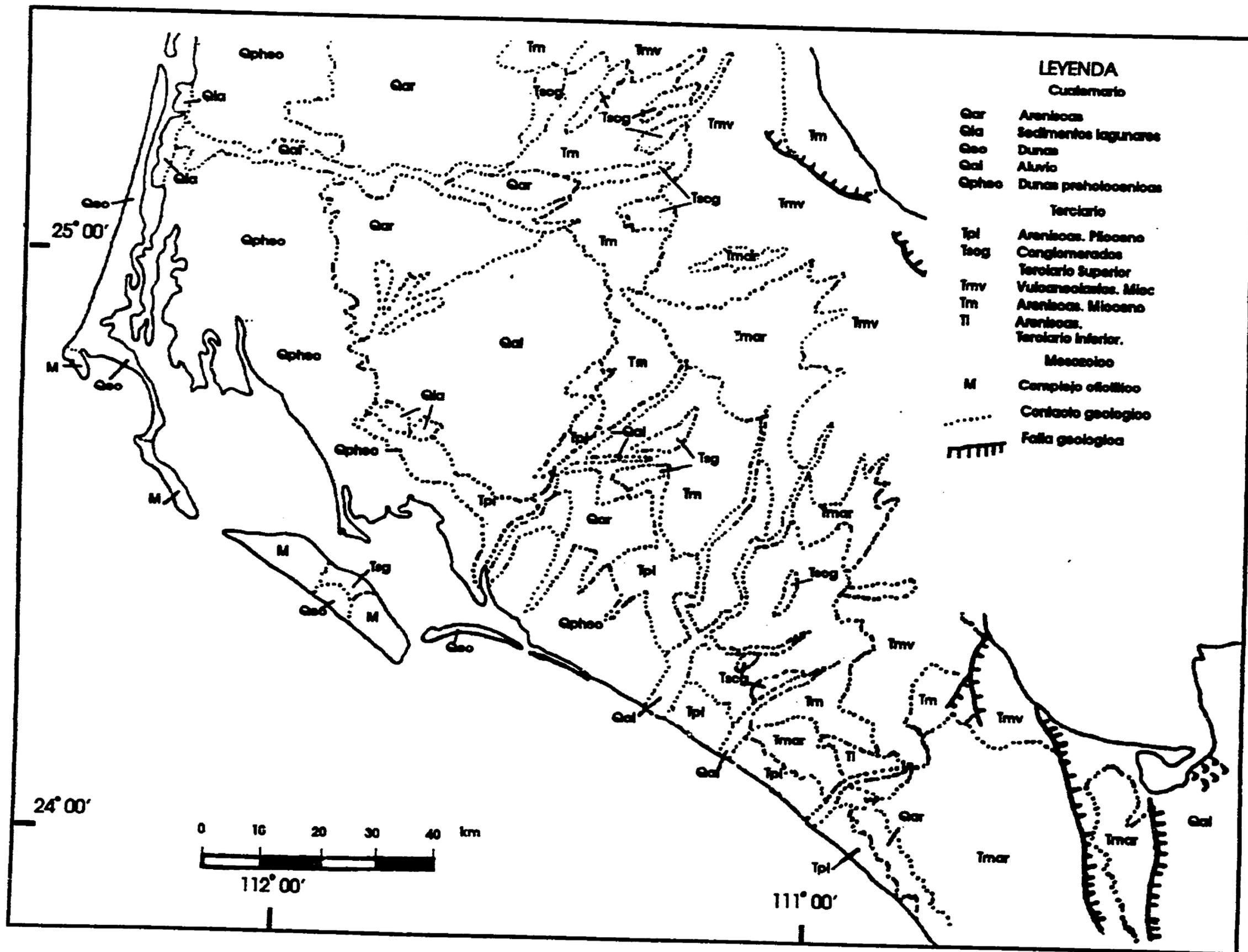


Figura 2. Mapa geológico generalizado (modificado de INEGI, 1984)

Estratigráficamente se presentan en la cuenca formaciones terciarias, en su mayor parte de origen marino, sobre un complejo ofiolítico compuesto de rocas máficas y ultramáficas metamorfizadas de edad Jurásico y metasedimentos cretácicos (Rangin, 1979; Blake *et al.*, 1984). Las unidades estratigráficas terciarias corresponden a las siguientes formaciones: Formación Tepetate de edad Paleoceno a Eoceno constituida por areniscas y arcillas turbidíticas muy fosilíferas de grano medio a fino poco consolidadas, de color verde claro a gris; Formación San Gregorio de edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior constituida por sedimentos silíceos (diatomitas), fosfáticos, calcáreos y tobáceos; Formación Isidro (Mioceno Medio) constituida por un miembro inferior de lutitas y uno superior de arenas finas a gruesas de color azul y verde correspondiente a ambientes transicionales alternando con capas de tobas; Formación Comondú (Mioceno Superior) formada por areniscas y conglomerados con fragmentos volcánicos subyaciendo a brechas volcánicas, ignimbritas, tobas y derrames de lava de composición intermedia (Heim, 1922; Beal, 1948; Mina, 1957; Lozano, 1975).

GEOLOGIA MARINA

La margen occidental de la península de Baja California se caracteriza por el desarrollo de costas primarias por depositación subaérea (costas con dunas), costas secundarias por erosión de oleaje y costas por depositación marina (costas con barreras arenosas) (Carranza-Edwards *et al.*, 1975). Las cuencas de drenaje hacia la costa son típicamente pequeñas, el clima es muy seco, semicálido a muy cálido (INEGI, 1982) y por tanto con manifestaciones de escurrimientos superficiales sólo durante las lluvias torrenciales; la energía de oleaje es alta en costas abiertas, y la energía mareal también es alta con mayores velocidades en las corrientes de reflujó; el patrón de mareas es típicamente semidiurno con una amplitud máxima de aproximadamente 2 m en Puerto San Carlos ubicado dentro de bahía Magdalena (Lankford, 1977).

Los procesos que afectan la costa de la península están muy relacionados con el régimen de oleaje incidente en la región que por una parte corresponde al mar de fondo ('swell') del Pacífico norte, más intenso de octubre a marzo, produciendo trenes de olas con dirección sureste, y por otra están las olas generadas por el viento local (Lankford, 1977). Los análisis de viento dominante muestran mayor energía en invierno, siendo en esta temporada también cuando es más intenso y persistente con claras componentes del oeste y noroeste, que se debilitan en verano (Reyes-Coca **et al.**, 1984). Entre bahía San Hipólito y bahía Magdalena, en Baja California Sur, se han reportado vientos intensos y dominantes del oeste y noroeste aún en los meses de junio y julio (García-Escobar, 1993). La suma del oleaje de fondo y el generado por el viento local dan un patrón dominante de energía descargando sobre la costa con una componente hacia el sur, de lo que se infiere que el transporte litoral neto es en esa dirección, esto parece confirmarlo la forma y disposición de las islas de barrera arenosas de las lagunas que se desarrollan en el área de estudio.

El modelo de formación de las lagunas está asociado a la transgresión holocénica del nivel del mar iniciada aproximadamente hace 18 000 años antes del presente (AP) y estabilizada con una velocidad de ascenso menor hace aproximadamente 5 000 años AP (Kennet, 1982). El material sedimentario que forma el fondo de las lagunas, las barras e islas arenosas ha sido producido principalmene por la erosión de las areniscas, conglomerados y rocas volcánicas que afloran al oriente en el continente. En el Holoceno parte de este material depositado por los arroyos en las planicies costeras, que quedan descubiertas durante períodos glaciares (y que hoy parcialmente ocupan las lagunas), ha sido retrabajado y redepositado para constituir el relieve deposicional (barras, barreras e islas arenosas) que se manifiestan en el sistema lagunar (Lankford, 1977; Murillo **et al.**, 1994).

Texturalmente han sido reportados principalmente sedimentos

arenosos de grano fino a muy fino. La presencia de fragmentos biógenos calcáreos y líticos, y de bancos de fango en los manglares en algunas localidades, provocan cambios texturales bien diferenciables. Se ha registrado la presencia de coideos y peloides fosfáticos así como minerales pesados oscuros (Chávez-López y Sarracino-Ramírez, 1988; Alvarez-Arellano, 1992).

En el extremo norte del área de estudio sobre la margen costera emergida al oriente de la laguna Soledad se han explorado y parcialmente explotado yacimientos fosfáticos de origen marino correspondiendo a capas de areniscas y coquinas de ambientes someros con concentraciones de 2 a 8% de P_2O_5 . Estos han sido fechados como de edad Pleistoceno Superior (18 000 a 20 000 años AP) y se les ha detectado sobre la margen costera continental, desde +10 m hasta -16 m de altitud (el signo negativo indica niveles por debajo del nivel del mar) (Maraver-Romero, 1992). Por las características del yacimiento se infiere que las condiciones de su formación fueron mucho más someras que las descritas para los depósitos de plataforma y talud arriba citados. No obstante, está documentada también la formación de sedimentos fosfáticos en ambientes someros lagunares (Bushinsky, 1964; Schwennicke, 1993). Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1987) reportan concentraciones de P_2O_5 en sedimentos de la laguna de La Paz, BCS, del orden de 0.5% pero sugieren que este hecho se puede explicar por el transporte sedimentario litoral existente desde la zona noroccidental de la bahía de La Paz, donde afloran y se explotan rocas sedimentarias fosfatizadas, hacia la laguna del mismo nombre.

En los mares mexicanos se han identificado dos grandes áreas con depósitos de sedimentos fosfáticos: una al sur en la plataforma continental del Golfo de Tehuantepec asociada principalmente a la fracción de arenas y gravas, sobre bancos submarinos aproximadamente a 200 m de profundidad, con concentraciones de P_2O_5 hasta de 8% (Carranza-Edwards *et al.*, 1989); otra al norte, adyacente al área de estudio, entre los 24° y 26° de latitud norte,

también en profundidades de plataforma correspondiendo a capas de fosforita granular, pelets y bioclastos litológicamente asociados a sílice opalina (biogénica) y lodos finos de ambiente reductor lo que se asemeja mucho a las asociaciones litológicas de fosforitas en rocas viejas (D'Anglejan, 1967). En ambos casos las condiciones oceanográficas mantienen varias coincidencias: son zonas de intensas surgencias, alta productividad, con sedimentos fosfáticos influenciados por la capa de oxígeno mínimo y alta concentración de materia orgánica en el lecho sedimentario.

Fuera de estas regiones, las concentraciones de fósforo inorgánico en los sedimentos son mucho más bajas. En el Golfo de California se reportan concentraciones predominantemente debajo de 0.1% de P elemental, y las máximas sólo se presentan en parches con valores ligeramente mayores a 1% (P) en ambiente de plataforma, a mayores profundidades las concentraciones tienden a ser más bajas (Páez-Osuna *et al.*, 1991).

RELIEVE SUBAEREO Y SUBACUATICO

La formación del relieve subaéreo y subacuático del área se inició en el Cretácico Inferior por el empuje de la placa tectónica Farallón sobre la Norteamericana lo que produjo una zona de subducción de corteza oceánica. Este proceso subductivo deformó y metamorfizó rocas máficas, ultramáficas y sedimentarias dando lugar a un complejo ofiolítico que se levantaría durante el Cretácico Superior y Terciario Inferior sobre una amplia región que incluye actualmente afloramientos en isla Cedros, península de Vizcaíno y en el área de estudio, dando lugar al sistema de montañas islas que actualmente conforman gran parte de las islas Margarita y Magdalena. Al oriente de estas montañas durante gran parte del Terciario el área operó como cuenca marina de ambientes de talud y plataforma observándose facies sedimentarias de mares más someros ascendiendo estratigráficamente. Durante el Mioceno Medio y Superior se registró una intensa actividad volcánica como consecuencia de la continuidad del proceso subductivo formando un

arco volcánico cuyo remanente constituye el sistema montañoso de la sierra Giganta al oriente del área de estudio.

A partir del Plioceno, el desarrollo morfoestructural se caracterizó por el predominio de estructuras de bloques por fallas de distensión asociadas al proceso de apertura del Golfo de California generando lineamientos consistentes de dirección noroeste-sureste. Este estilo tectónico se ha combinado con movimientos verticales de ascenso cortical que ha expuesto las rocas sedimentarias marinas terciarias y cuaternarias.

El área de estudio está conformada de diversas formas del relieve (geoformas) a diferente escala de observación. En el orden continental, se observa en el mapa batimétrico del sur de la península (Secretaría de Marina, 1987) (figura 3), que al sur del área de estudio, hay una plataforma estrecha seguida de un talud de pendiente pronunciada hasta los 500 m de profundidad donde se localiza la cuenca Tosco con una profundidad máxima de 800 m. Esta depresión tiene forma alargada de orientación noroeste-sureste formando un cañón submarino que apunta en dirección de las bahías Almejas-Santa Marina. Dentro del balance de sedimentos de la región este sitio debe ser una salida natural de sedimentos de los ambientes someros de plataforma hacia los ambientes profundos, más aún si se observa que el extremo norte del cañón submarino se aproxima hasta las latitudes donde desembocan los arroyos Colorado-San Hilario y Guadalupe-La Herradura. Dado que la forma del cauce del cañón se aprecia desde la isóbata de los 100 m, es probable que durante los períodos glaciares del Pleistoceno las corrientes fluviales antes citadas se hayan encauzado hasta el nacimiento de este cañón. Siguiendo hacia el norte de este rasgo estructural se manifiesta un cambio brusco en la dirección de las isóbatas de los 100 y 200 m que van en la parte sur hacia el noroeste y en las inmediaciones de isla Margarita viran hacia el suroeste un ángulo de 90° para después volver al rumbo inicial al noroeste hasta Cabo San Lázaro donde hay un nuevo cambio de dirección de la isóbata de

FALLA DE ORIGEN

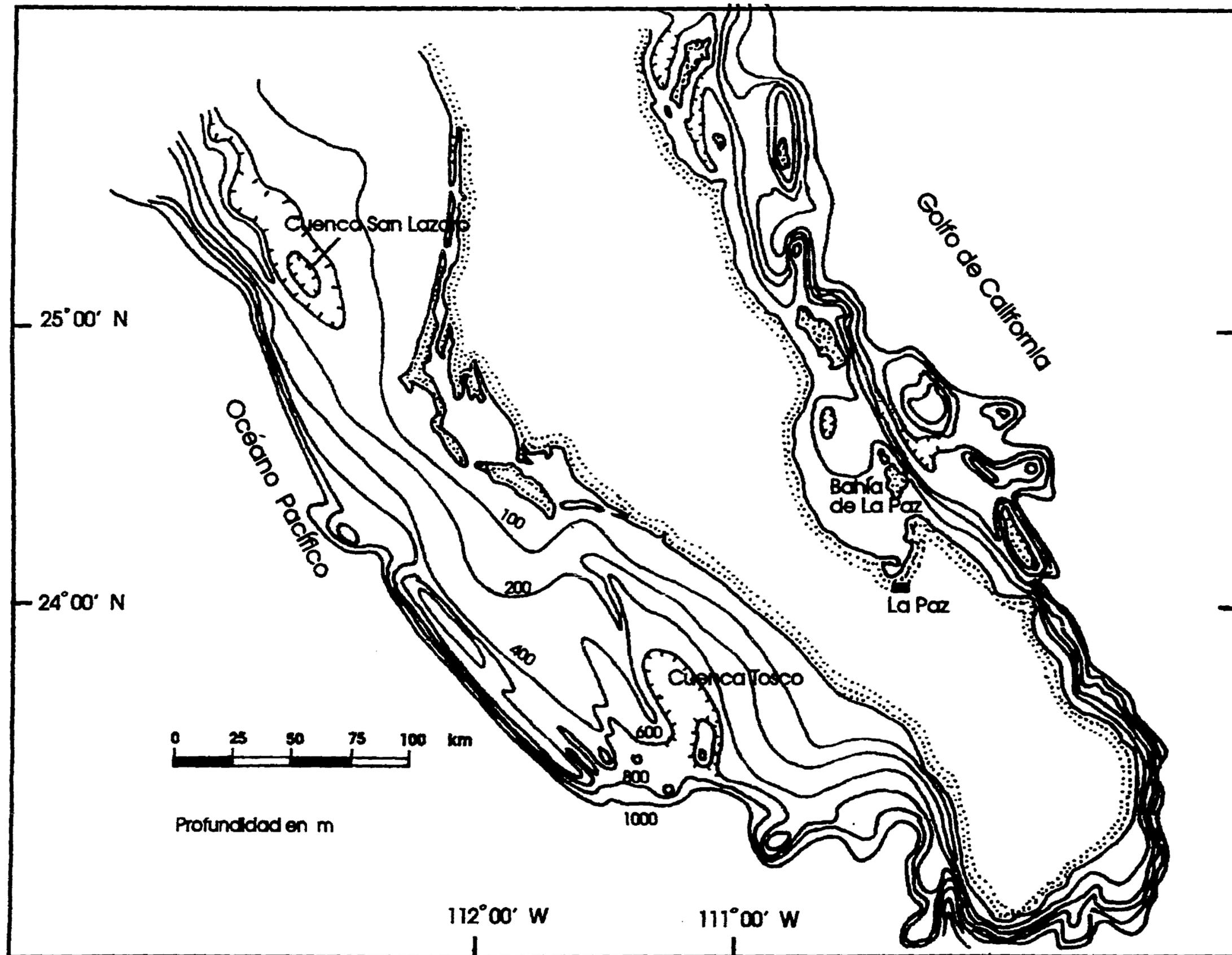


Figura 3. Mapa batimétrico del sur de la península (modificado de S.M., 1987)

100 m hacia el norte. Este comportamiento de las isóbatas parece reflejar la influencia de un bloque de gran magnitud cuya expresión emergida es el complejo ofiolítico que da lugar a las islas Margarita y Magdalena. En el extremo norte del área de estudio la plataforma continental se amplía, seguida de otra cuenca (San Lázaro) de 400 m de profundidad también de orientación noroeste-sureste. La línea de costa del área de estudio está muy influenciada por todo el sistema estructural antes descrito. Esto se denota en el abrigo de las lagunas por las islas (bloque ofiolítico) y el cambio de su orientación dominante noroeste-sureste a norte-sur a partir de Cabo San Lázaro aproximadamente, que es el límite norte del complejo ofiolítico. La dirección de los alineamientos estructurales de orden continental dominante en la península y mares adyacentes es noroeste-sureste .

A escala regional, basados en la interpolación de la información batimétrica de la carta bahía Magdalena (Defense Mapping Agency, 1976), en el extremo sur del área de estudio se puede observar como rasgo sobresaliente una inflexión costa afuera de la isóbata de las 50 brazas, lo que se interpreta como la expresión del delta del arroyo Colorado-San Hilario durante los períodos glaciares pleistocénicos (figura 4). Es probable que durante estos intervalos de bajo nivel del mar confluyan las cuencas del arroyo antes citado con el arroyo Guadalupe-La Herradura o se alcancen a traslapar los depósitos de ambos sistemas fluviales. Esta manifestación del depósito a la profundidad de 50 brazas parece ser un buen indicador del límite inferior del nivel del mar durante los períodos glaciares pleistocénicos o por lo menos del último ya que en el extremo norte del área de estudio se manifiesta nuevamente otra inflexión de la misma isóbata frente a los arroyos Bramonas y Santo Domingo que pudieran también llegar a confluir durante los períodos de bajo nivel del mar.

En la parte central del área de estudio (figura 5) se manifiestan lagunas con barreras de tipo tectónico y de depósito

FALLA DE ORIGEN

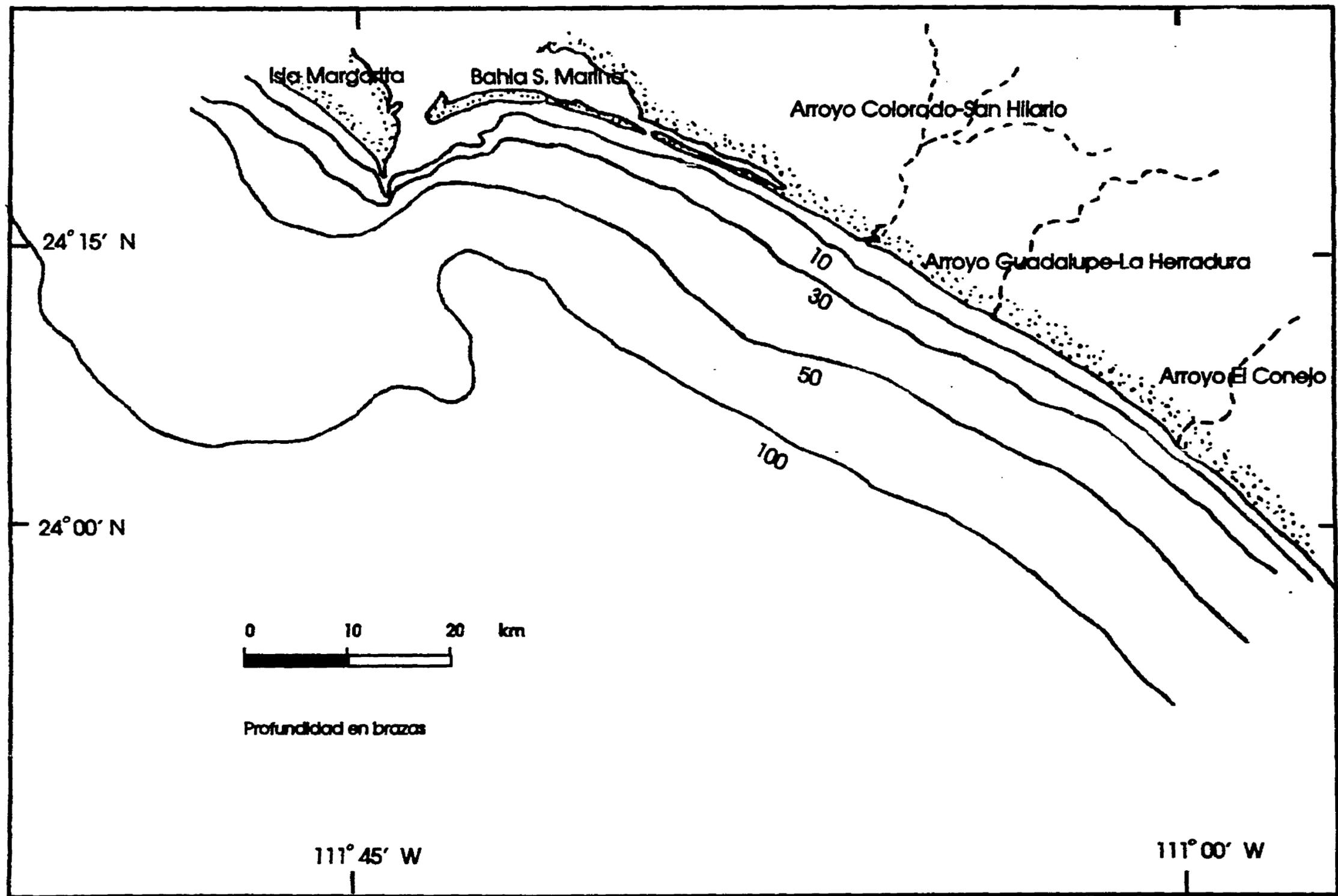


Figura 4. Mapa batimétrico de la parte sur del área de estudio (Región I)

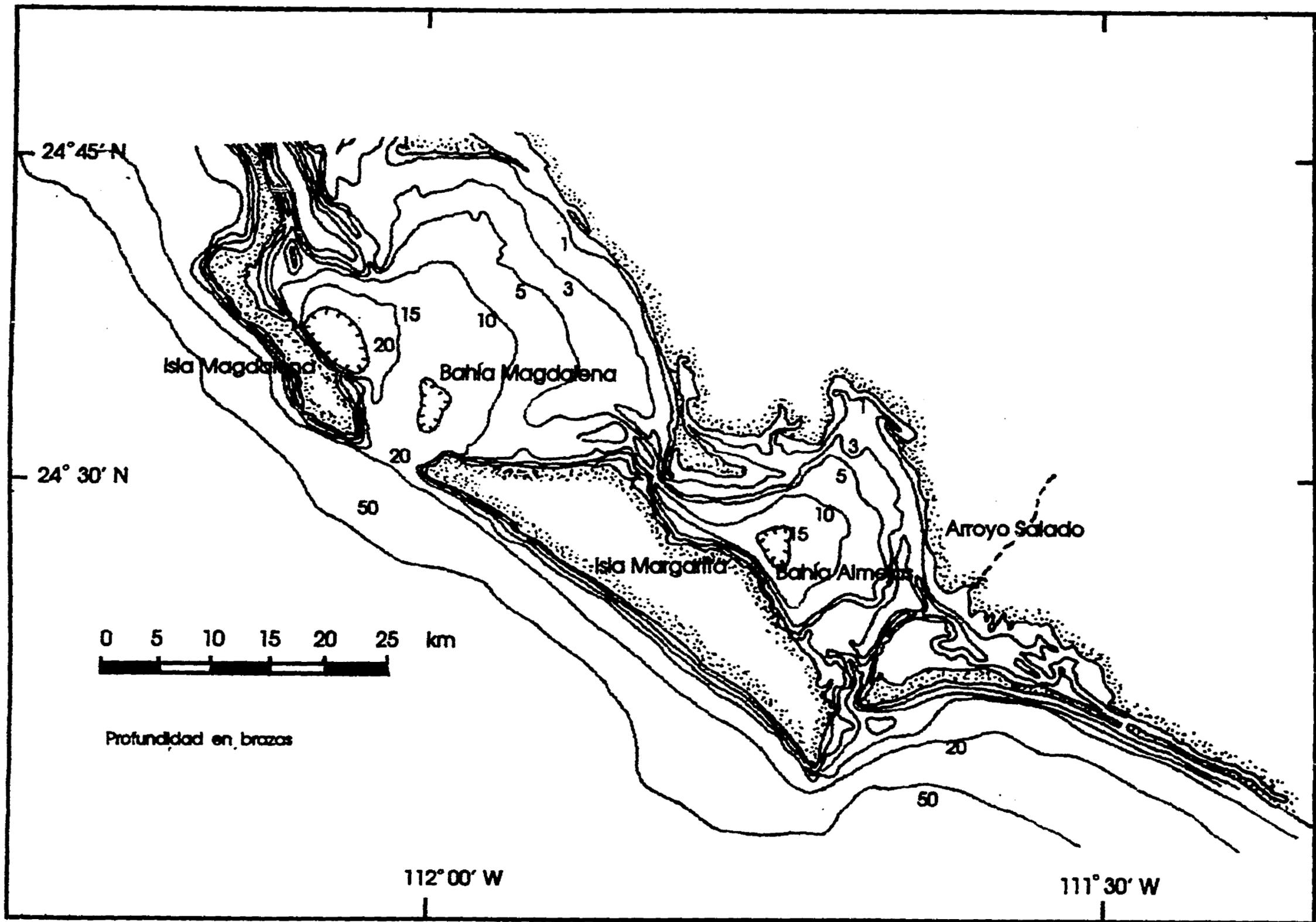


Figura 5. Mapa batimétrico de la parte central del área de estudio (Regiones II y III)

marino. En la parte sur se ha desarrollado la isla Creciente que corresponde a una barrera arenosa con crecimiento deposicional en forma de lengüeta de sur a norte. Este modelo de crecimiento parece ser producido por la refracción del oleaje que se da por la prominencia del extremo sur de isla Margarita. Esta refracción modifica el ángulo de incidencia del oleaje (dominante del noroeste) sobre la costa hasta producir una componente hacia el norte que es la que puede generar corrientes litorales en la dirección observada de crecimiento de esta isla. La laguna formada por las bahías Almejas-Santa Marina tiene forma de un rombo cuya diagonal menor es aproximadamente perpendicular a la línea de costa. En la parte sur de esta laguna desemboca el arroyo Salado que da lugar a un estrechamiento de la laguna debido a los depósitos en su desembocadura. En la parte central de la laguna hay una cuenca de aproximadamente 15 brazas de profundidad, desplazada hacia la margen con la isla Margarita, la cual alcanza alturas hasta de 500 m en las montañas de pendientes abruptas que se manifiestan en los extremos norte y sur de la misma. Entre las montañas hay depósitos marinos y continentales de edad Plioceno y Cuaternario. Hacia el norte de la laguna se han desarrollado depósitos arenosos en forma de ganchos y lenguas que denotan un crecimiento de norte a sur.

Bahía Magdalena es la más grande del sistema lagunar con aproximadamente 35 km de largo y 22 km de ancho en forma de una elipse con su eje mayor paralelo a la línea de costa, de dirección noroeste-sureste (figura 5). La mayor depresión es una cuenca de 20 brazas de profundidad adyacente a la margen de la isla Magdalena, que en este lugar está conformada por montañas de aproximadamente 300 m de altura constituidas también por un complejo ofiolítico. El desplazamiento de las cuencas hacia el borde con las islas denota el proceso natural de azolvamiento que va de continente hacia mar afuera y el buzamiento general del bloque peninsular hacia el oeste. Al norte del complejo ofiolítico de esta parte de la isla se ha desarrollado un tómbolo que llega a Cabo San Lázaro el cual

constituye la expresión más septentrional de las rocas jurásico-cretácicas metamorfizadas en el área de estudio. A partir de este punto hay un cambio de dirección del sistema lagunar hasta hacerse aproximadamente norte-sur en la laguna Soledad.

La laguna Soledad es alargada, paralela a la costa, angosta, con anchuras variables de 1 a 3 km, amplios desarrollos de bosques de manglar y canales paralelos a la laguna que morfológicamente parecen corresponder a valles inundados o a depresiones entre barreras antiguas. En el extremo norte de esta laguna desemboca el arroyo Bramonas cuyos depósitos han formado un depósito deltáico. Hacia el mar el límite de la laguna es una extensa barrera arenosa con campos de dunas muy desarrollados, esta barrera es la continuación al norte de la isla Magdalena (figura 6).

OCEANOGRAFIA

Sobre la margen occidental de la península de Baja California fluye hacia el sur la corriente de California. En el contexto de la circulación superficial de los océanos esta corriente es límite oriental del Pacífico en el hemisferio norte y como tal tiene las características generales de ser ancha (1000 km), poco profunda (de 100 a 500 m), con velocidades bajas (de 12 a 25 cm/seg) y de poco transporte (15 Sv) (Schwartzlose y Reid, 1972; Askren y Badan, 1978).

Dentro del sistema de corrientes que constituyen a la corriente de California, y en el intervalo latitudinal que comprende la península de Baja California, se identifica la contracorriente meridional de California la cual es angosta, subsuperficial (entre 150 y 400 m de profundidad), alejada de la costa, con dirección hacia el norte y está confinada a la plataforma y talud continentales (Christensen y Rodríguez, 1979; Pavlova, 1966, en Zárate-Vidal, 1991).

Un proceso oceanográfico característico de las aguas costeras

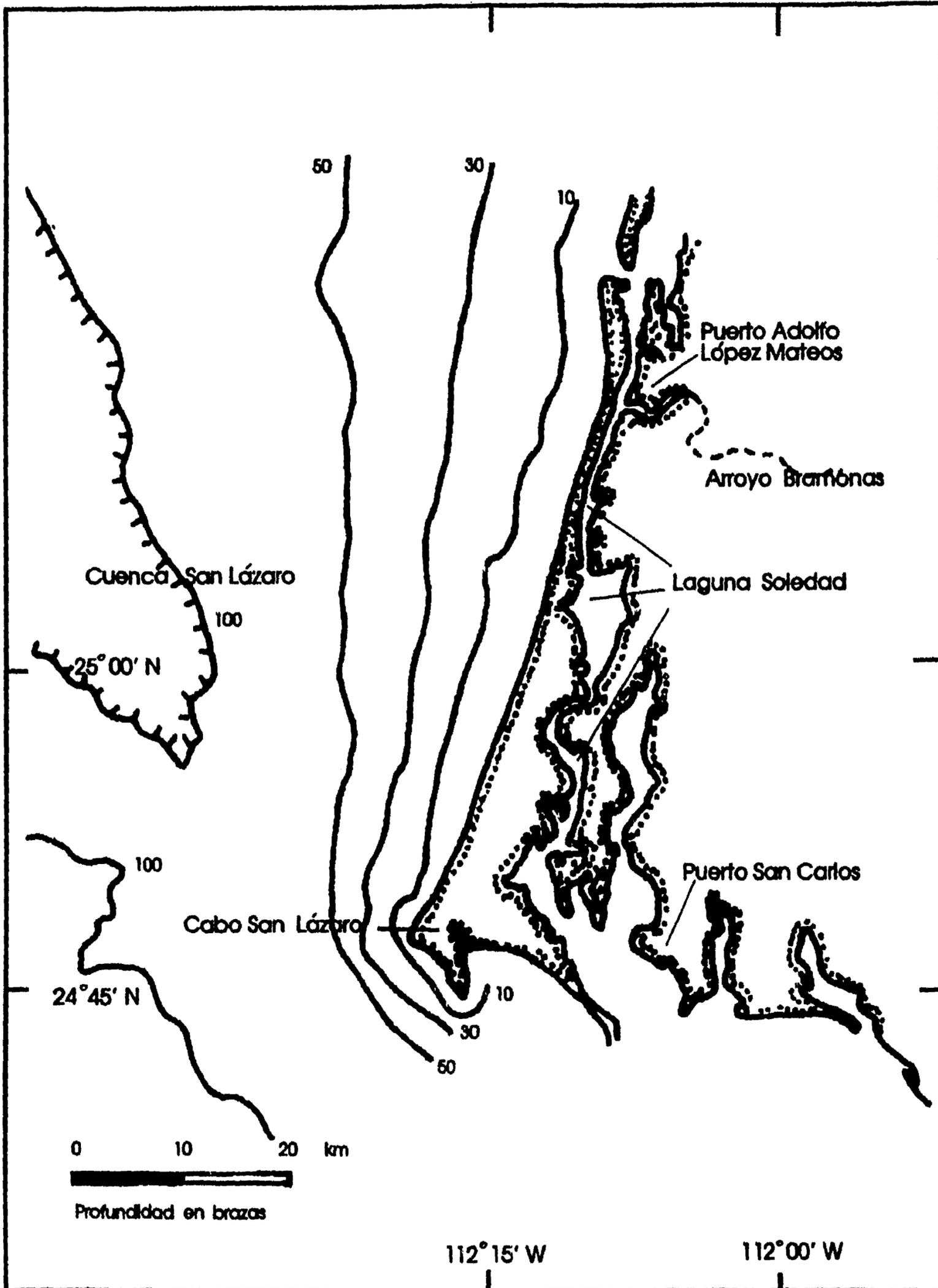


Figura 6. Mapa batimétrico de la parte norte del área de estudio (Región IV).

MAPA DE PROFUNDIDADES

de la península de Baja California es la generación de surgencias controladas principalmente por los vientos del noroeste que son muy persistentes en esta región. Estos afloramientos de aguas profundas llevan a la superficie agua fría con alto contenido de nutrientes. Los cambios de salinidad y temperatura de la costa de la península son atribuibles a las variaciones de la corriente y contracorriente de California y al fenómeno de surgencias (Gómez y Vélez, 1982; Salinas-González y Pinet-Plascencia, 1991).

En la porción costera que comprende el área de estudio la máxima intensidad de las surgencias se observa a principios de la primavera y estas aguas enriquecidas de nutrientes se intrusionan por advección al sistema lagunar bahía Magdalena-bahía Almejas durante los flujos de marea. También durante la primavera la corriente de California tiene su máxima extensión hacia el sur debido a los fuertes vientos del norte que la fortalecen (Wooster y Reid, 1963; Alvarez-Borrego et al., 1975; Gómez y Vélez, 1982).

Otro rasgo oceanográfico característico de las aguas en la costa occidental de la península es el descenso de la concentración de O_2 (hasta 0.25 ml/l) a partir de los 200 m de profundidad, este comportamiento se asocia también a la ocurrencia de surgencias cercanas a la costa ya que el patrón de la termoclina, haloclina, picnoclina y oxiclina denotan que éstas se hacen más someras al acercarse a la costa por lo que aquí se registran las aguas más frías, saladas, densas y con menos oxígeno (Gómez, 1984).

Bahía Magdalena se comporta como un sistema antitestuvarino, así se deduce de los máximos valores de S registrados durante el reflujos de mareas y los mínimos durante el flujo; por las altas concentraciones de clorofila "a" se sabe que es un cuerpo lagunar con elevada productividad; localmente en la parte occidental esta laguna presenta un fenómeno semejante a las condiciones de surgencia aumentando fuertemente su fertilidad, asociado a ello se produce agotamiento de nutrientes y una sobresaturación de oxígeno

en la superficie (Alvarez-Borrego , 1976; Acosta-Ruiz y Lara-Lara, 1978).

En el noroeste de México es característica la baja precipitación y los cambios extremos de temperatura. La península de Baja California se encuentra bajo la influencia del cinturón subtropical de altas presiones lo que limita el vapor de agua disponible, provoca poca nubosidad y largos períodos de insolación. El sur de la península de mayo a noviembre es afectada por tormentas tropicales (ciclones) que se desplazan generalmente a lo largo de la vertiente del Pacífico. En el norte de la península en cambio las lluvias son producidas por los vientos del oeste durante el invierno. Las mayores lluvias se registran en los extremos norte y sur de la península, siendo la parte central, donde se sitúa el área de estudio, la de más baja precipitación. Se ha encontrado que eventos de orden planetario como El Niño (Oscilación del Sur) tienen gran influencia sobre el clima de la península, particularmente sobre el régimen de precipitación tendiendo a aumentarlo (García y Mosiño, 1967; Reyes-Coca y Rojo-Salazar, 1985).

METODOLOGIA

REGIONALIZACION

El área de estudio fue dividida en cuatro regiones buscando establecer un marco geográfico inicial para el procesamiento de la información y basándose en las características tanto morfológicas como oceanográficas que a continuación se describen (figura 7).

La región I (R-I) se caracteriza por una línea de costa casi recta expuesta al oleaje de mar abierto ya que no está protegida por ningún tipo de barrera, de esta región proceden las muestras colectadas a mayor profundidad (hasta 104 m). Las regiones II, III y IV (R-II, R-III y R-IV) corresponden a lagunas con barreras tanto arenosas como de origen tectónico que protegen cuerpos de agua someros con profundidades máximas de 50 m, las muestras colectadas de estas regiones van de 2 a 24 m de profundidad.

La R-II corresponde a bahía Almejas-Santa Marina que es una laguna con dos barreras que la protegen; una, la isla Margarita, de origen tectónico con rocas sedimentarias e ígneas ultramáficas metamorfizadas (complejo ofiolítico) y, otra, la isla Creciente que es una barrera arenosa. La comunicación con mar abierto es a través de una boca (canal Rehusa) que se forma entre las islas Margarita y Creciente.

La R-III corresponde a bahía Magdalena que también es una laguna y está ubicada al norte de la bahía Almejas-Santa Marina. En este cuerpo lagunar se registran las mayores profundidades del sistema lagunar, se protege de mar abierto con la parte norte de la isla Margarita y con la parte sur de la isla Magdalena. La isla Magdalena en su parte sur y central (Cabo San Lázaro) es de origen tectónico muy similar litológicamente a isla Margarita, pero en su parte norte corresponde a una barrera arenosa muy desarrollada.

Bahía Magdalena se comunica al norte con la laguna Soledad (o

FALLA DE ORIGEN

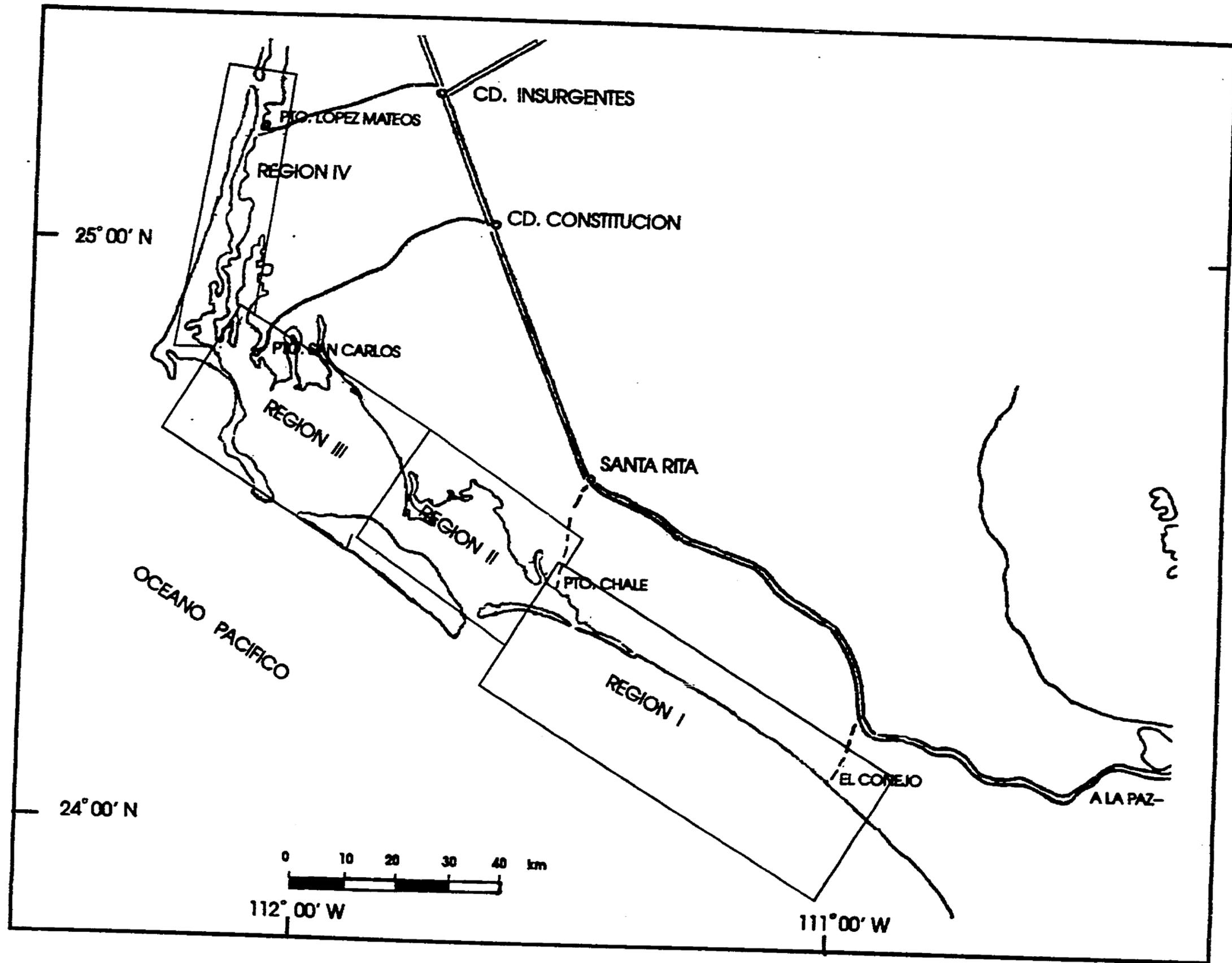


Figura 7. Regionalización del área de estudio

canal Soledad), que corresponde a la R-IV del área de estudio. Esta laguna es alargada y muy angosta en relación a las otras lagunas, se mantiene protegida por la parte norte de la isla Magdalena y se comunica con mar abierto a través de la boca La Soledad ubicada en el extremo norte de la isla Magdalena.

Las regiones II, III y IV están orientadas con un rumbo noroeste-sureste mientras que la R-IV está orientada aproximadamente con un rumbo norte-sur. El sistema lagunar continúa al norte con la laguna Santo Domingo fuera del área de estudio. La longitud total de las cuatro regiones es de aproximadamente 210 km con anchos variables que van de 1 a 20 km .

OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Mediante campañas de muestreo oceanográficas y terrestres se colectaron 110 muestras de sedimentos y rocas distribuidas a lo largo del área de estudio (figura 8, tabla 1). Las muestras marinas se obtuvieron de una red de 97 estaciones, con una draga tipo Van Veen de 2 litros de capacidad; la localización de las muestras marinas de la Región I se realizó mediante poseionador por satélite, la localización de las muestras lagunares y terrestres se realizó con sextante y brújula observando rasgos fisiográficos sobresalientes que aparecían en las cartas batimétricas y topográficas del área; durante el transcurso de la colecta y del transporte, las muestras se mantuvieron con hielo aproximadamente a 4°C, posteriormente se secaron de acuerdo a los procedimientos que se describen más adelante. Las muestras de sedimentos y rocas continentales se tomaron a lo largo de caminos de aquellos materiales que pudieran tener alguna influencia en los depósitos sedimentarios marinos costeros. Las muestras de material continental se obtuvieron para encontrar similitudes mineralógicas o geoquímicas que pudieran indicar trayectorias y fuentes de suministro hacia el ambiente costero. En particular se muestrearon rocas de las formaciones Salada y San Gregorio de edad Terciaria, y arenas de paleodunas y areniscas marinas pleistocénicas.

FALLA DE ORIGEN

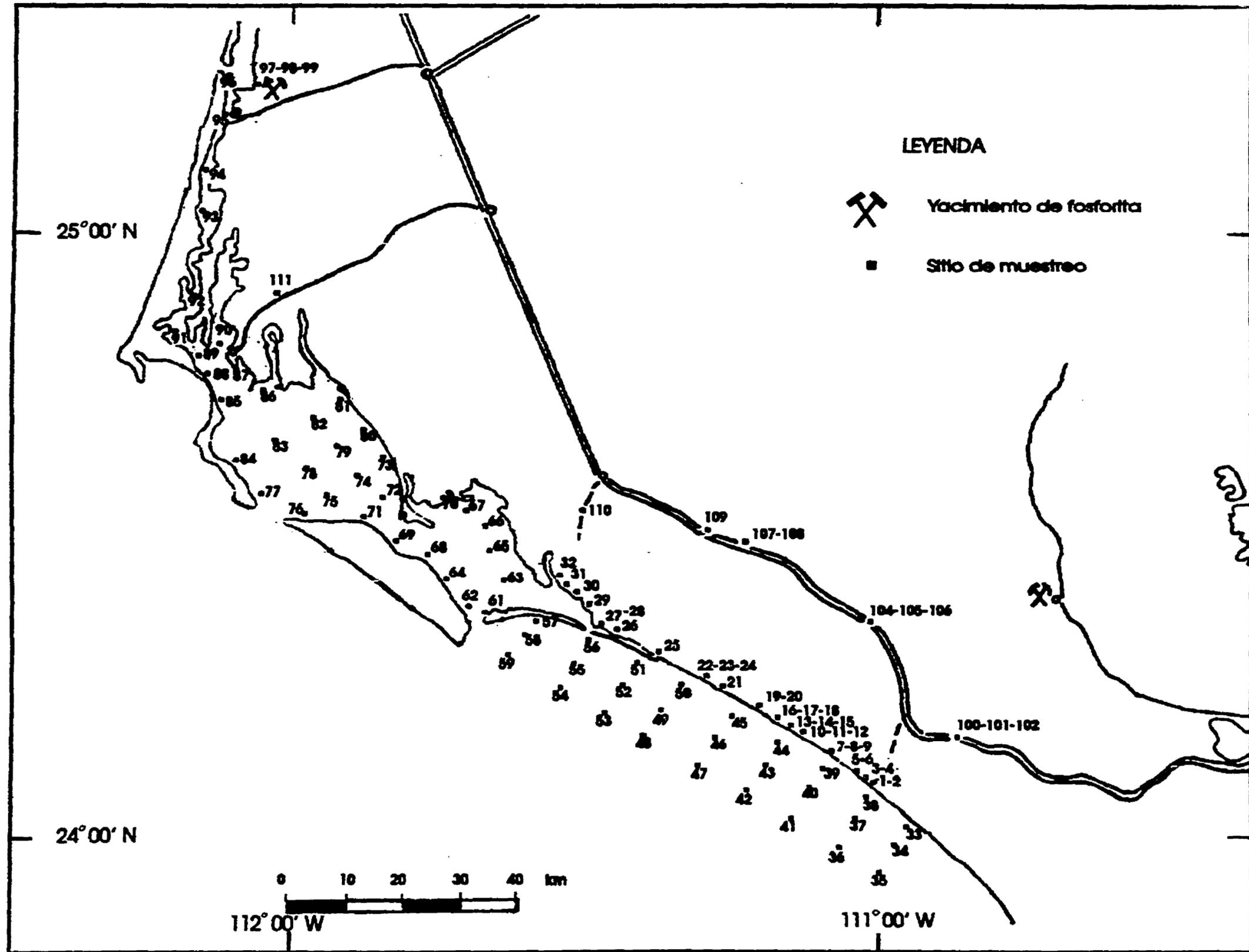


Figura 8. Localización de los sitios de muestreo.

TABLA 1.

Localización de los sitios de muestreo y tipo de muestras.

Número de muestra	Localización		Tipo de muestra	Profundidad (m)
	Latitud N	Longitud W		
1	24° 04'	111° 00'	ARROYO	-
2	24° 04'	111° 00'	PLAYA	-
3	24° 05'	111° 01'	DUNA	-
4	24° 05'	111° 01'	DUNA ANTIGUA	-
5	24° 06'	111° 02'	DUNA	-
6	24° 06'	111° 02'	PLAYA	-
7	24° 07'	111° 05'	PLAYA	-
8	24° 07'	111° 05'	DUNA	-
9	24° 07'	111° 05'	ARROYO	-
10	24° 11'	111° 08'	ARROYO	-
11	24° 11'	111° 08'	PLAYA	-
12	24° 11'	111° 08'	DUNA	-
13	24° 11'	111° 09'	PLAYA	-
14	24° 11'	111° 09'	DUNA	-
15	24° 11'	111° 09'	ARROYO	-
16	24° 12'	111° 11'	DUNA	-
17	24° 12'	111° 11'	PLAYA	-
18	24° 12'	111° 11'	ARROYO	-
19	24° 13'	111° 12'	DUNA	-
20	24° 13'	111° 12'	PLAYA	-
21	24° 14'	111° 16'	ARROYO	-
22	24° 15'	111° 18'	DUNA ANTIGUA	-
23	24° 15'	111° 18'	DUNA	-
24	24° 15'	111° 18'	PLAYA	-
25	24° 18'	111° 22'	MARISMA	-
26	24° 20'	111° 27'	PLAYA	-
27	24° 22'	111° 29'	PLAYA	-
28	24° 22'	111° 29'	DUNA	-
29	24° 23'	111° 30'	DUNA	-
30	24° 23'	111° 32'	DUNA ANTIGUA	-
31	24° 24'	111° 32'	PLAYA	-
32	24° 24'	111° 34'	DUNA	-
33	24° 01'	110° 57'	MARINO	12
34	23° 59'	110° 58'	MARINO	40
35	23° 56'	111° 00'	MARINO	90
36	23° 59'	111° 04'	MARINO	85
37	24° 02'	111° 02'	MARINO	35
38	24° 04'	111° 01'	MARINO	29
39	24° 07'	111° 05'	MARINO	30
40	24° 05'	111° 07'	MARINO	60
41	24° 03'	111° 08'	MARINO	100
42	24° 05'	111° 13'	MARINO	95
43	24° 07'	111° 11'	MARINO	43

Continúa Tabla 1

Número de muestra	Localización		Tipo de muestra	Profundidad (m)
	Latitud N	Longitud W		
44	24° 09'	111° 10'	MARINO	24
45	24° 12'	111° 15'	MARINO	34
46	24° 10'	111° 16'	MARINO	48
47	24° 06'	111° 18'	MARINO	88
48	24° 09'	111° 24'	MARINO	84
49	24° 12'	111° 21'	MARINO	45
50	24° 15'	111° 20'	MARINO	20
51	24° 18'	111° 24'	MARINO	20
52	24° 16'	111° 25'	MARINO	50
53	24° 12'	111° 28'	MARINO	104
54	24° 16'	111° 32'	MARINO	88
55	24° 18'	111° 30'	MARINO	50
56	24° 19'	111° 29'	MARINO	24
57	24° 21'	111° 35'	MARINO	30
58	24° 19'	111° 37'	MARINO	50
59	24° 17'	111° 38'	MARINO	100
60	24° 23'	111° 35'	MARINO	-
61	24° 22'	111° 40'	MARINO LAGUNAR	11
62	24° 23'	111° 42'	MARINO LAGUNAR	2
63	24° 25'	111° 38'	MARINO LAGUNAR	9
64	24° 26'	111° 44'	MARINO LAGUNAR	11
65	24° 27'	111° 39'	MARINO LAGUNAR	3
66	24° 31'	111° 40'	MARINO LAGUNAR	7
67	24° 32'	111° 43'	MARINO LAGUNAR	2
68	24° 27'	111° 46'	MARINO LAGUNAR	12
69	24° 29'	111° 49'	MARINO LAGUNAR	9
70	24° 34'	111° 45'	PLAYA	-
71	24° 32'	111° 53'	MARINO LAGUNAR	5
72	24° 34'	111° 51'	MARINO LAGUNAR	6
73	24° 38'	111° 51'	MARINO LAGUNAR	3
74	24° 36'	111° 54'	MARINO LAGUNAR	17
75	24° 34'	111° 55'	MARINO LAGUNAR	17
76	24° 32'	111° 59'	MARINO LAGUNAR	17
77	24° 34'	112° 03'	MARINO LAGUNAR	7
78	24° 37'	111° 59'	MARINO LAGUNAR	27
79	24° 39'	111° 55'	MARINO LAGUNAR	24
80	24° 40'	111° 53'	MARINO LAGUNAR	5
81	24° 44'	111° 55'	MARINO LAGUNAR	3
82	24° 41'	111° 58'	MARINO LAGUNAR	8
83	24° 39'	112° 02'	MARINO LAGUNAR	5
84	24° 38'	112° 06'	MARINO LAGUNAR	6
85	24° 44'	112° 08'	MARINO LAGUNAR	6
86	24° 44'	112° 03'	MARINO LAGUNAR	6
87	24° 47'	112° 06'	PLAYA	-
88	24° 46'	112° 09'	MARINO LAGUNAR	2
89	24° 48'	112° 10'	MARINO LAGUNAR	2

Continúa Tabla 1

Número de muestra	Localización		Tipo de muestra	Profundidad (m)
	Latitud N	Longitud W		
90	24° 49'	112° 08'	MARINO LAGUNAR	3
91	24° 49'	112° 12'	MARINO LAGUNAR	11
92	24° 54'	112° 10'	MARINO LAGUNAR	8
93	25° 03'	112° 10'	MARINO LAGUNAR	13
94	25° 07'	112° 10'	MARINO LAGUNAR	12
95	25° 12'	112° 08'	MARINO LAGUNAR	13
96	25° 15'	112° 08'	PLAYA	-
97	25° 16'	112° 04'	DUNA	-
98	25° 15'	112° 04'	ROCA SEDIMENTARIA	-
99	25° 15'	112° 04'	ROCA SEDIMENTARIA	-
100	24° 09'	110° 55'	ROCA SEDIMENTARIA	-
101	24° 09'	110° 55'	ROCA SEDIMENTARIA	-
102	24° 09'	110° 55'	ROCA SEDIMENTARIA	-
103	24° 09'	110° 55'	ROCA SEDIMENTARIA	-
104	24° 20'	111° 00'	ROCA SEDIMENTARIA	-
105	24° 20'	111° 00'	ROCA SEDIMENTARIA	-
106	24° 20'	111° 00'	ROCA SEDIMENTARIA	-
107	24° 29'	111° 13'	ROCA SEDIMENTARIA	-
108	24° 29'	111° 13'	ROCA SEDIMENTARIA	-
109	24° 30'	111° 18'	ROCA SEDIMENTARIA	-
110	24° 32'	111° 30'	ROCA SEDIMENTARIA	-
111	24° 54'	112° 03'	DUNA ANTIGUA	-

En general se trató de obtener aproximadamente 1 kg de muestra. Las muestras húmedas se secaron a temperatura ambiente (~30°C) y se disgregaron manualmente usando guantes de polietileno antes de cualquier tratamiento. Una vez secas y disgregadas se homogeneizaron para ser fraccionadas. El fraccionamiento consistió en cuartear el material separando una porción de aproximadamente 250 g para ser tamizada, otra porción de aproximadamente 50 g para ser pulverizada y el resto se conservó como reserva.

TEXTURA

La descripción de las variaciones de tamaño de grano y de los parámetros texturales se hizo basados en el uso de unidades Phi (ϕ) (Krumbein, 1936), donde:

$$\phi = -\log_2 (\text{diámetro de la partícula en mm})$$

Para la separación de tamaños de partículas se empleó una serie de tamices U.S. Standard de -2 a 4 ϕ (4 a 0.062 mm) a intervalos de 1 ϕ , con su tapa y plato. Una vez puesta la muestra en esta serie se colocó en un tamizador mecánico donde se agitó durante 10 minutos. Con los datos de los porcentajes relativos de sedimentos retenidos por intervalo de tamaño se aplicaron las fórmulas de los momentos estadísticos para datos agrupados para calcular los parámetros texturales (Friedman, 1967; Friedman y Sanders, 1978). El material retenido en el plato, para los fines de estos cálculos, se consideró centrado en 4.5 ϕ ya que esta fracción fue muy escasa y el interés del estudio residió en la fracción arenosa. La escala y clases de tamaño de sedimentos fue la propuesta por Wentworth (1922) y la clasificación de arenas de acuerdo a su grado de selección es la propuesta por Friedman (1962).

QUIMICA

La porción separada para el análisis químico, tanto de sedimento como de roca, fué molida en un pulverizador Bico Tipo UA con muelas de porcelana. Una vez pulverizada se homogeneizó y cuarteó para tomar una submuestra de aproximadamente 2 g. Esta submuestra se sometió a los siguientes procesos:

1. Secado a 90°C durante 12 h.
2. Pesado de una porción de entre 0.25 y 0.50 g.
3. Digestión ácida con 10 ml de agua regia invertida (HNO₃:HCl; 3:1) en contenedores de teflón cerrados herméticamente con la ayuda de placas de aluminio que por medio de tornillos de ajuste sujetaban a los contenedores. La digestión fue a 110°C durante 4 h con el equipo digestor descansando en una cama de arena sobre una placa de calentamiento.
4. El extracto resultante se centrifugó a 3500 rpm durante 10 minutos en tubos de vidrio de 50 ml.
5. Las soluciones resultantes se aforaron a volúmenes constantes entre 25 y 40 ml antes de realizar las lecturas de los metales en

un espectrómetro de Absorción Atómica (AA) Shimadzu AA-630-12.

El procedimiento analítico fue el descrito por Páez-Osuna y Osuna-López (1990). La exactitud de la técnica expresada como la diferencia en porcentaje de los niveles encontrados con respecto de la muestra de referencia (IAEA SD-N-1/2) y su precisión como desviación estándar (en paréntesis), para cada metal fueron como sigue: Ag 7% (0.01), Ca 6%(0.03), Cu 5%(0.01), Cd 8%(0.01), Co 5%(0.01), Cr 10%(0.01), Fe 5%(0.05), Mn 8%(0.05), Ni 4%(0.01), V 5% (0.08) y Zn 6%(0.01).

En todas las muestras se determinó la concentración de P, Ag, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, V y Zn. La materia orgánica (MO) se estimó por medio de las pérdidas por ignición a una temperatura de 550°C (Dean, 1974; Páez-Osuna *et al.*, 1984). La determinación analítica del fósforo fue realizada por un método espectrofotométrico mediante el procedimiento del azul de fosfomolibdeno (Páez-Osuna *et al.*, 1991).

Se seleccionó un grupo 20 muestras de sedimentos (muestras 13, 24, 42, 43, 44, 48, 49, 64, 66, 71, 72, 77, 78, 79, 80, 89, 90, 94, 96, 98) representativas de las cuatro regiones y de los diferentes ambientes de depósito, para relizar en ellas el análisis químico por intervalos de tamaño separados 1 •. Esto con la finalidad de descubrir si existían tendencias de algunos elementos para concentrarse en ciertas fracciones. Por último, se hicieron las determinaciones químicas en otro grupo de muestras (8, 19, 80, 87, 92, 96, 98) seleccionadas entre las que presentaron mayores niveles de P de las diferentes regiones, este grupo fue sometido a un proceso de concentrado de los minerales pesados por medio del líquido bromoformo ($G= 2.9$) y eliminación de minerales magnéticos por medio de un imán con el propósito de resaltar la proporción de los metales pesados en las masas fosfáticas eliminando los minerales ligeros (cuarzo y feldespatos principalmente) que son muy abundantes y tienden a diluir las concentraciones metálicas.

MINERALOGIA

La mineralogía se realizó por difracción de rayos X y por propiedades ópticas de los minerales con microscopio petrográfico en el mismo grupo de 20 muestras citadas en el apartado anterior.

El primer método fue usando la difracción de rayos X monocromáticos de polvos de la muestra problema. Se considera monocromático al componente $K\alpha$ característico de la radiación desde un tubo de rayos X arriba de un potencial de excitación K de la superficie de emisión (Cullity, 1959). El equipo empleado fue un difractómetro Phillips 1130/00 con monocromador de grafito y radiación $CuK\alpha$, atenuación de 2×10^3 , 30 Kv y 20 mA. Se obtuvieron patrones de difracción de las muestras (difractogramas) que indican la intensidad relativa de difracción vs. el ángulo de difracción (2θ).

La identificación de las especies minerales presentes en cada muestra se realizó usando tarjetas de datos de difracción publicadas por la American Society for Testing Materials (ASTM) y comparando los difractogramas obtenidos con algunos de material sedimentario fosfático publicados por diferentes autores (Fellows y Spears, 1978; Birch, 1980; Manheim *et al.*, 1980; Mullins y Rasch, 1985; Purnachandra-Rao, 1986; Zanin *et al.*, 1990).

En la tabla 2 se indican los ángulos de difracción (2θ) de los picos de máxima difracción y las distancias interplanares (d) en angstroms (Å) empleadas para la identificación de las especies minerales encontradas. En la figura 9 se presenta un modelo de difracción esquemático idealizado indicando los picos de máxima intensidad promedio de las especies minerales identificadas.

Tabla 2

Angulos de difracción máxima (2θ) y distancias interplanares (d) de las especies minerales identificadas.

Mineral	2θ	d (Å)
Cuarzo	26.7	3.34
Plagioclasa	28.0	4.27
Feldespato K	27.5	3.23
Hornblenda	10.7	8.41
Diópsido	30.3	2.94
Magnetita	35.8	2.53
Apatita	32.0	2.80
Calcita	29.6	3.03
Dolomita	31.0	2.89
Zeolita	9.9	8.90
Illita	8.9	10.2
Serpentina	12.2	7.24
Clorita	6.2	14.7

De acuerdo con Cullity (1959) se realizó una estimación cuantitativa de los minerales presentes basada en el hecho de que la intensidad del patrón de difracción de una fase o mineral particular en una mezcla de fases o especies minerales depende de la concentración de esa fase en la mezcla, lo cual se puede expresar de la siguiente manera:

$$I_a = K C_a / u_m$$

donde I_a es una medida de la intensidad de difracción del mineral **a**; K es una constante; C_a es el volumen relativo del mineral **a** en la mezcla; y u_m es el coeficiente de absorción de la mezcla (Cullity, **op. cit**).

Dada la dificultad de elaborar una curva de calibración usando mezclas de composición conocida, para el caso que nos ocupa se probaron dos procedimientos empíricos (Páez-Osuna, comunicación personal), uno de ellos fue considerar el porcentaje estimado visualmente de una especie mineral bien identificable (por ejemplo cuarzo) en una lámina delgada de una muestra y usar este dato como

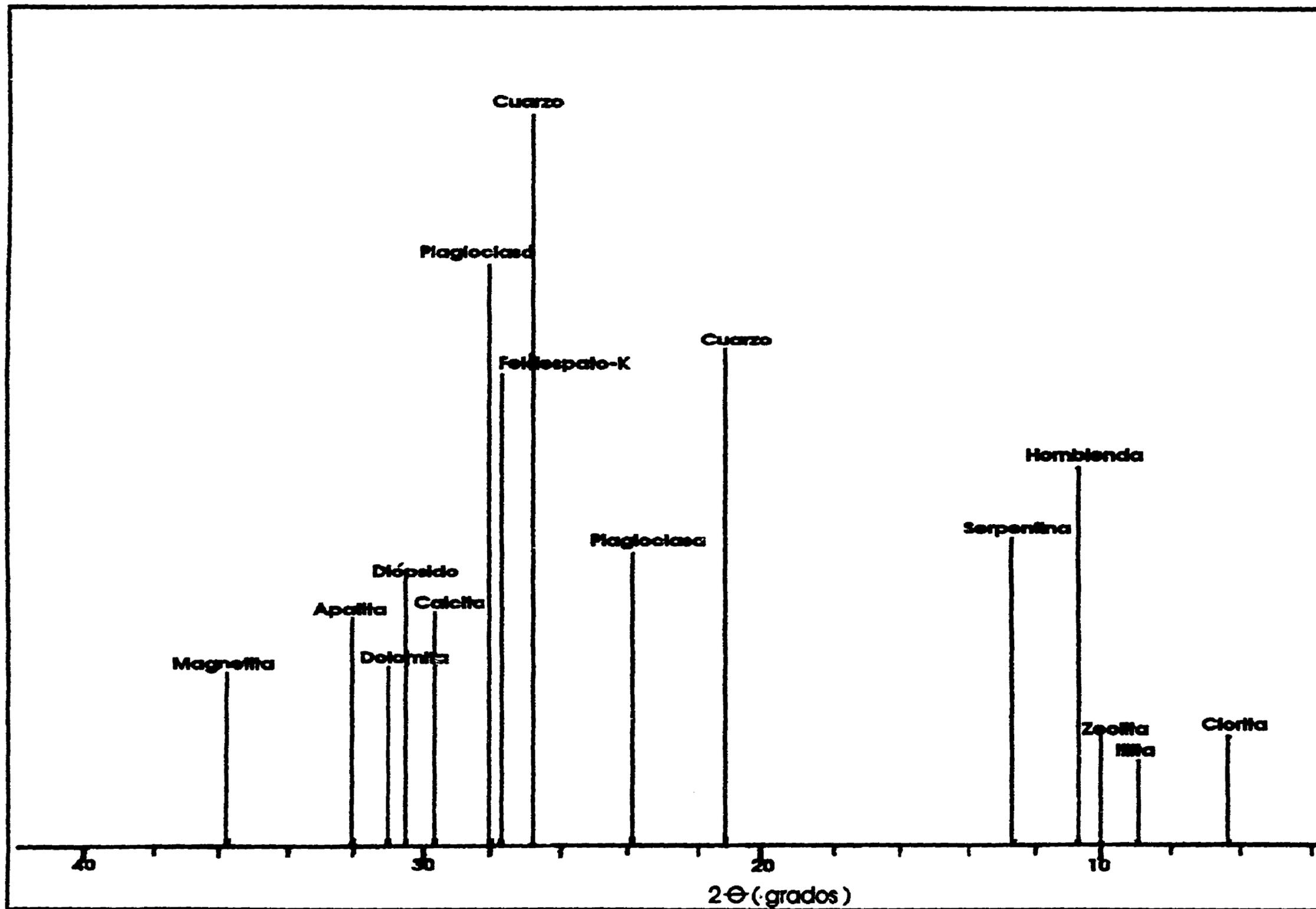


Figura 9. Modelo característico de difracción de las especies minerales identificadas

medida de calibración en el difractograma de dicha muestra. Este procedimiento arrojó resultados inconsistentes; el otro procedimiento aportó resultados más congruentes y se basó en estimar la concentración de un mineral dado para cada muestra midiendo la altura (h) de los picos máximos de los minerales identificados en el difractograma respectivo. El porcentaje de cada mineral se calculó de acuerdo a la fórmula:

$$(\% \text{ mineral}_x) = \Sigma h/h_x \times 100$$

donde Σh es la suma de las alturas de los picos de difracción máxima de los minerales identificados en una muestra dada y h_x es la altura del pico máximo de difracción del mineral x.

Para facilitar la identificación de los minerales pesados ($G > 2.9$) se prepararon muestras concentrando estos minerales con bromoformo en un embudo de separación.

Para realizar la identificación de minerales con microscopio petrográfico se elaboraron secciones delgadas de espesor estándar (0.03 mm) de los sedimentos de cada muestra, éstos fueron previamente lavados y tamizados para obtener finalmente sedimentos libres de limos y arcillas en un intervalo de tamaño de 124 a 500 μm . Esta fracción de sedimentos se embebió en resina epóxica contenida en pequeños cilindros de vidrio de 1 cm de diámetro y de 1 cm de altura. Una vez solidificada la resina se pulió uno de los extremos del cilindro para adherirlo a un portaobjetos y el otro extremo se cortó hasta aproximadamente 1 mm de espesor para iniciar el proceso de pulido con abrasivo (carborundum) hasta lograr alcanzar un espesor de 0.03 mm. La descripción e identificación de partículas sedimentarias y minerales se realizó de acuerdo a las guías de Heinrich (1965), Dana y Ford (1969), Williams *et al.* (1980), Mackenzie y Guilford (1980) y Adams *et al.* (1984). La estimación de abundancia de los minerales y partículas sedimentarias identificadas se realizó de acuerdo a los diagramas indicados por Flugel (1982).

PROCESAMIENTO DE DATOS

Como parte central de las técnicas empleadas en el procesamiento de los datos se empleó el análisis de factores (Factor Analysis) el cual se inscribe dentro del grupo de los procedimientos multivariados o de variables múltiples (Davis, 1973). El propósito de esta técnica es revelar la estructura de un conjunto de datos a partir de su matriz de varianza-covarianza o de correlación y simplificar su estudio estableciendo un número más reducido de nuevas "variables" o "muestras" (factores) que expliquen lo mejor posible la varianza de los datos originales.

Teniendo como base la matriz de correlación o la de varianza-covarianza se extraen los valores y vectores característicos (eigenvalores y eigenvectores); en esta fase del procedimiento se establece el número de factores (vectores ortogonales) que sintetizarán o agruparán ya sea las variables o las muestras. La determinación de este número de factores (siempre menor al número de variables o de muestras) es un elemento importante de la técnica aunque no hay un criterio único para establecerlo ya que en gran parte depende de los propósitos, tipo de datos y conocimiento que sobre ellos tenga quien hace uso de este análisis. Sin embargo se ha propuesto como guía determinar un número de factores igual al número de valores característicos cuyo valor sea igual o mayor de 1.5 (Davis, 1973).

Las matrices empleadas para la interpretación de los datos producto del análisis de factores en este trabajo y que son proporcionadas por el programa utilizado son: aquella cuya estructura indica la relevancia de cada variable en cada uno de factores elegidos y la matriz cuya estructura indica la relevancia de cada muestra también en cada uno de los factores elegidos. Genéricamente la primer matriz es conocida como el modo R y la segunda como el modo Q del análisis de factores. Para el caso del programa empleado estas matrices son nombradas como la matriz

rotada varimax y la matriz de carga de los factores respectivamente.

Otra técnica estadística multivariada que se empleó fue el análisis de agrupamiento (Cluster Analysis) por el método del sembrado (Seeded). En particular este procedimiento se utilizó para definir grupos de muestras texturalmente similares a partir de una matriz de datos conformada por m muestras y n variables, donde estas últimas, para el caso que se ocupa, estuvieron definidas por los porcentajes relativos de sedimento retenido en cada intervalo de clase, de tamaño de grano, por cada muestra. Con este arreglo se eligen de entre las muestras aquellas que conformarán las 'semillas' o muestras típicas alrededor de las cuales se formarán los grupos al irse comparando todas las muestras contra dichas referencias (Morrison 1967).

Los resultados de los análisis químico, mineralógico y textural se procesaron gráficamente para construir mapas de isolíneas con el programa Surfer 4.03 (Surfer Access System versión 4.03. Golden Software Inc. 1989), diagramas tipo X-Y e histogramas con el programa Quattro PRO 4.0 (Quattro PRO version 4.0. Borland International, Inc. 1992), rotulado y dibujo con el programa Coreldraw 3.0 (Corel Corp., 1992). También se aplicaron las técnicas de regresión simple, múltiple y correlación; el nivel de significancia en las pruebas de correlación y regresión se calculó mediante la prueba de t-Student (Davis, 1973); las técnicas de análisis multivariados usadas para dilucidar relaciones entre los parámetros texturales, la composición mineralógica y la composición química de las muestras, fueron ejecutadas con el programa Statgraphics 5.0 (Statistical Graphics System version 5.0. Graphic Software System, Inc. 1991).

RESULTADOS Y DISCUSION

GEOMORFOLOGIA Y ESTRUCTURAS REGIONALES

La porción continental adyacente al área de estudio muestra la morfología típica de un bloque con falla de gravedad acompañado de rotación del bloque hundido (Mattaver, 1976), con el escarpe de falla de pendientes muy pronunciadas conformando la costa hacia el Golfo de California y el bloque fallado basculando con un ángulo de bajo grado hacia el Océano Pacífico. Este modelo tectónico explica la combinación de fallamiento normal y capas basculadas que en el área de estudio se expresa con un desplazamiento del parteaguas peninsular hacia la costa del golfo, con muy reducidas cuencas de drenaje hacia esta vertiente (plano de falla) y una planicie costera amplia hacia la vertiente occidental (bloque fallado y basculado). La activación de este sistema de fallas está asociado al proceso de apertura del Golfo de California iniciado hace aproximadamente 5 millones de años (Moore y Curray, 1982).

A escala regional y observando el mapa de drenaje del área de estudio se revela en el área una divergencia en el ángulo de basculamiento entre la parte sur y norte. En el sur, los arroyos Colorado-San Hilario, Guadalupe-La Herradura y El Conejo fluyen con una pendiente general hacia el suroeste mientras que en la parte norte los arroyos Bramonas y Santo Domingo lo hacen hacia el oeste franco. En el región existente entre estos dos sistemas de flujo se expresa una cuenca endorréica con drenaje muy poco desarrollado. Aquí, un alto estructural de rocas sedimentarias pliocénicas funciona como frontera en el flujo hacia el mar de esta cuenca interior.

Ubicados en el punto de divergencia de los sistemas de drenaje y si se trazan líneas imaginarias a partir de este punto en las dos direcciones estructurales se forma una figura triangular donde el lado opuesto al punto de divergencia es el alineamiento del bloque ofiolítico. Este elemento sugiere el funcionamiento de este bloque como basamento relativamente estable que probablemente causó las

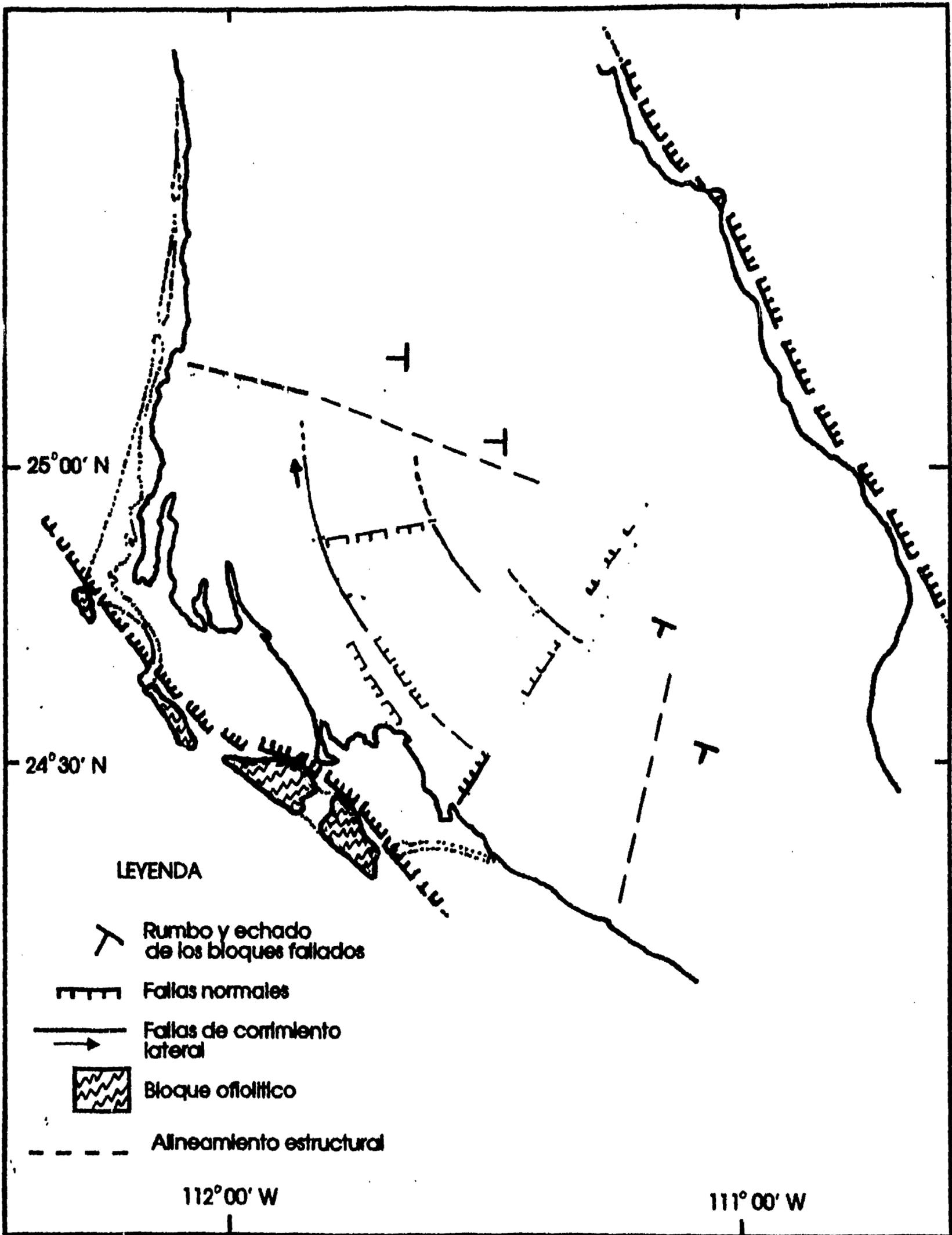


Figura 10. Mapa estructural generalizado del área.

FALLA DE ORIGEN

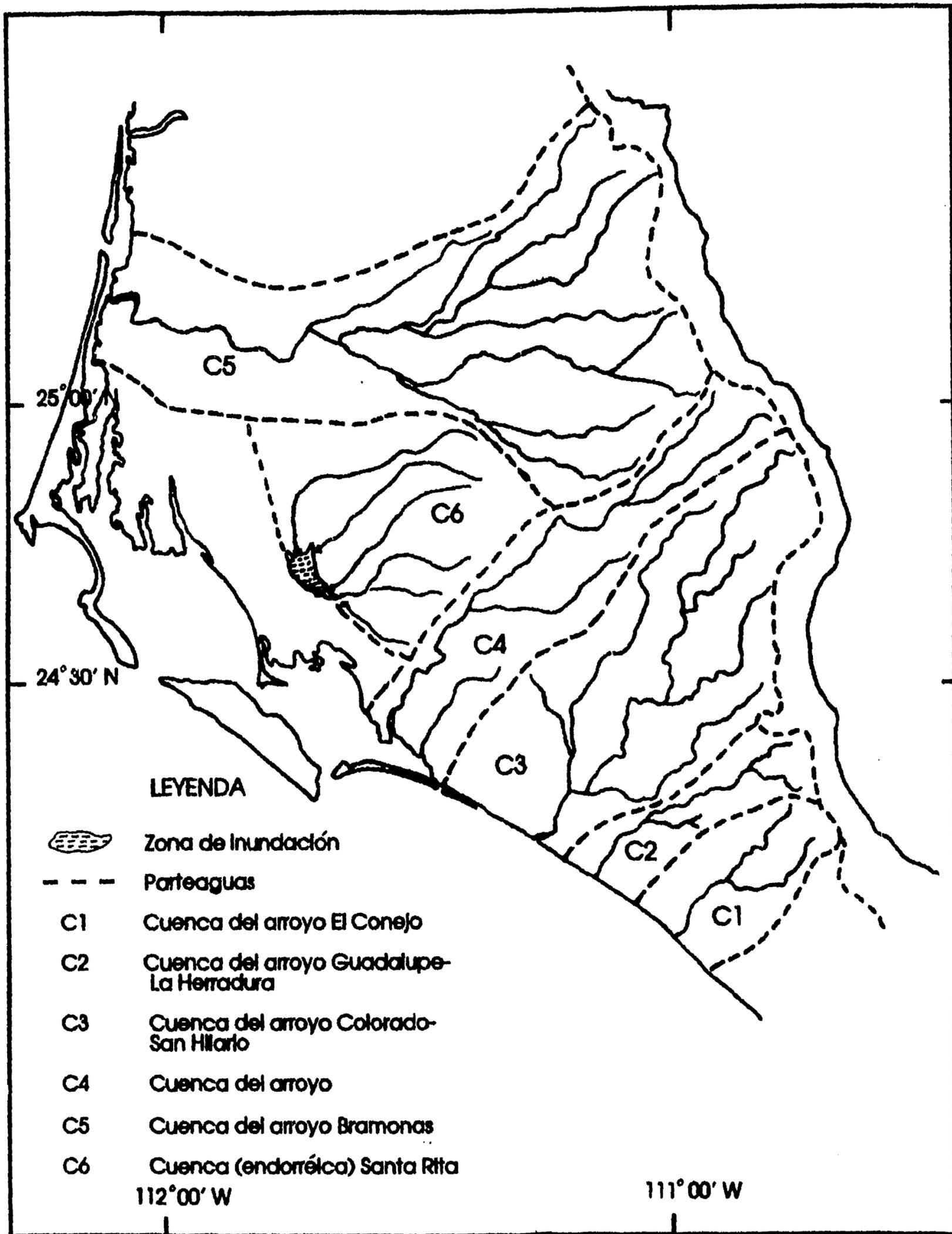


Figura 11. Cuencas hidrológicas del área.

FALLA DE ORIGEN

fallas de gravedad (cuaternarias?) que se identifican sobre la margen oriental de la isla Margarita y que parecen ser parte de un sistema de fallamiento que se continúa hacia el noroeste a través de la cuenca San Lázaro y hacia el sureste a través de la cuenca Tosco (Yeats y Haq, 1981).

El dislocamiento antes citado en el patrón de fallamiento del bloque continental pudo generar otro sistema de fuerzas distensionales que darían lugar a los fracturamientos y fallamientos normales radiales y convergentes hacia el este y corrimientos laterales con la resultante final de la depresión y el alto estructural que se identifican frente a las islas (hacia el oriente) y cuya manifestación son las propias lagunas y la cuenca endorréica continental (figura 10). Toda esta depresión estaría episódicamente inundada y emergida de acuerdo a las oscilaciones pleistocénicas del nivel del mar dando lugar a las formaciones preholocénicas observadas aflorando en la zona costera, a los campos de paleodunas presentes en una franja de aproximadamente 20 km de ancho paralela a la costa y a los depósitos aluviales cuaternarios identificados en la parte más alta de la depresión.

En el área de estudio se configuran 6 cuencas de drenaje superficial (figura 11), de sur a norte: C1) Cuenca del arroyo El Conejo de 766.34 km² de superficie; C2) Cuenca del arroyo Guadalupe-La Herradura de 638.18 km² de superficie; C3) Cuenca del arroyo Colorado-San Hilario de 2863.43 km² de superficie; C4) Cuenca del arroyo Salado de 1694.49 km² de superficie; C5) Cuenca del arroyo Bramonas de 4622.65 km² de superficie; y C6) Cuenca endorréica Santa Rita (nombre convencional) de 1848.54 km² de superficie.

Usando la gráfica de Langbein y Schum (1958) que relaciona la producción media anual de sedimentos por unidad de área con la precipitación media anual y suponiendo una precipitación de 150 mm anuales se obtuvieron las tasas de descarga de sedimentos por

cuenca. De la tabla 3 se puede observar que aproximadamente el 34% de la descarga sedimentaria en el area de estudio se vierte sobre la R-I (C1+C2+C3), el 13 % sobre la R-II (C4), y el 37 % sobre la R-IV (C5). La R-III no recibe aportes sedimentarios directos desde el continente debido a que la cuenca adyacente es endorréica o intracontinental, pero dadas las formas de los depósitos costeros cabe suponer que recibe sedimentos por transporte litoral desde la laguna Soledad al norte. Estas características explican en parte el grado de amplitud de las lagunas dado que la que más material recibe (R-IV) ha desarrollado más depósitos adyacentes (barreras y delta) y tiene un cuerpo de agua más reducido, en cambio bahía Magdalena, que no recibe descargas desde el continente, es la de mayor magnitud.

La R-I aunque recibe un tercio del material disponible en el área, por la forma de su línea de costa y la ausencia de barreras que la protegan de la energía del mar abierto, se infiere que el transporte neto de material hacia el sur es aproximadamente igual al que se recibe, dando lugar a playas en equilibrio sin desarrollar depósitos costeros mar adentro.

Tabla. 3.

Descarga de sedimentos por cuenca (Ton. mét./año) y porcentajes relativos por cuenca según su aporte al área de estudio.

CUENCA	DESCARGA	
	TON.MET./AÑO	%
C1	114 951.0	6.16
C2	95 727.0	5.13
C3	429 514.5	23.02
C4	254 173.5	13.62
C5	693 397.5	37.17
C6	277 281.0	14.86
TOTAL	1 865 044.5	100.00

GEOMORFOLOGIA Y AMBIENTES SEDIMENTARIOS COSTEROS

En la parte emergida del área de estudio se pueden definir tres categorías morfoestructurales: montañas "isla", colinas y llanuras (Lugo-Hubp, 1989).

Las montañas "isla" son bajas (< 500 m de altitud) bien localizadas a lo largo de un alineamiento estructural tipo bloque de dirección noroeste-sureste, se unen parcialmente por depósitos marinos y subaéreos recientes y antiguos. Litológicamente estas montañas están constituidas por rocas máficas, ultramáficas y metasedimentos de edad Jurásico-Cretácico.

En forma muy contrastante el resto del relieve del área de estudio está conformada por colinas y llanuras. Las primeras corresponden a unidades litológicas sedimentarias de origen marino algunas con un avanzado grado de disección por procesos denudativos erosivos formando localmente mesas (unidades formacionales del Terciario Inferior y Superior) y otras parcialmente disectadas principalmente por procesos denudativos (unidades formacionales del Terciario Superior) con características marcas lineales de erosión costera pleistocénica en la R-I, su altura es siempre menor a los 100 m.

Las colinas como unidad morfoestructural se presentan en una franja contigua a la margen costera en la R-I y desplazadas continente adentro en la R-II y III donde están limitadas por lineamientos estructurales que parecen definir un pilar tectónico con una cuenca estructural cerrada al oriente y al occidente llanuras genéticamente diferenciables.

Las llanuras son expresiones geomorfológicas de baja altura menores de 30 m asociadas en esta región a procesos exógenos constructivos deposicionales, antiguos y recientes, de origen eólico y fluvio-marino. Los eólicos construyeron montículos alargados con orientación noroeste-sureste de acuerdo a la

dirección dominante de los vientos.

Los más antiguos de estos depósitos, probablemente de edad pleistocénica, se encuentran en fase denudativa y se extienden tierra adentro hasta distancias de 20 km siguiendo aproximadamente la cota de los 40 m lo que parece ser una guía de los límites de la línea de costa de los períodos interglaciares pleistocénicos anteriores junto con las marcas de erosión costera observadas en la R-I que se aproximan también a esta cota.

Los más recientes de estos depósitos eólicos se encuentran en fase constructiva bien desarrollados formando campos de dunas y alineamientos longitudinales en postplayas, barreras arenosas, tómbolos y ganchos de la margen litoral.

En las partes más bajas, formando microrelieves, se identifican llanuras fluvio-marinas (deltáicas) en la parte sur de la R-II y en el extremo norte de la R-IV, con planicies de inundación, marismas y unidades biogénicas constructivas (manglares) que favorecen los procesos sedimentarios deposicionales.

En la R-IV se presentan entradas alargadas de mar en forma de brazos, paralelos entre sí y a la línea de costa, que parecen estar separadas por barreras relicto, las dimensiones de estas depresiones van siendo menores tierra adentro y mantienen densos bosques de manglar que están favoreciendo su azolvamiento.

La línea de costa hacia el continente de las R-II, III y IV es de tipo acumulativo por los aportes fluvio-marinos y biogénicos, por el desarrollo de ganchos y barreras arenosas así como por el redepósito de los sedimentos procedentes de la denudación de los paleodepósitos eólicos, todo ello contribuye a formar amplias zonas de bajos contiguos a esta margen costera. Por otro lado, en la

línea de costa lagunar contraria al continente y en la R-I los procesos son de tipo abrasivo-acumulativo con costas escarpadas en la mayor parte de las zonas montañosas de las islas.

También se han desarrollado tómbolos que unen parcialmente estas montañas "islas" y barreras arenosas, todo ello constituye la zona de protección para el ambiente lagunar interior. En isla Magdalena el tómbolo es de origen reciente de forma convexa hacia la laguna, de casi 15 km de longitud pero muy angosto; hacia el norte este tómbolo se continúa como una barrera arenosa de casi 50 km de longitud, en algunos sitios con una anchura hasta de 10 km, separada de tierra firme por un brazo lagunar (Soledad) paralelo a la costa donde se manifiestan activos canales de marea.

En isla Margarita el tómbolo está constituido a barlovento por depósitos recientes y a sotavento por sedimentos plio-pleistocénicos, este tómbolo es relativamente corto pero de aproximadamente 5 km de ancho.

Al sur de isla Margarita y separada de ésta por el canal Rehusa, se desarrolla una barrera arenosa y un gancho angostos con aproximadamente 30 km de longitud conformando la isla Creciente, interrumpida por el canal Boca Flor de Malva, y que se extiende hacia el sur en forma de una barrera más estrecha uniéndose a la costa de la R-I.

En la R-I ha evolucionado una extensa zona de playa rectilínea con procesos acumulativos erosivos en equilibrio. Los cauces fluviales permanecen secos la mayor parte del año pero han formado depósitos de bancos aluviales, sus valles están poco desarrollados. El mapa indicando estas unidades geomorfológicas y procesos se presenta en la figura 12.

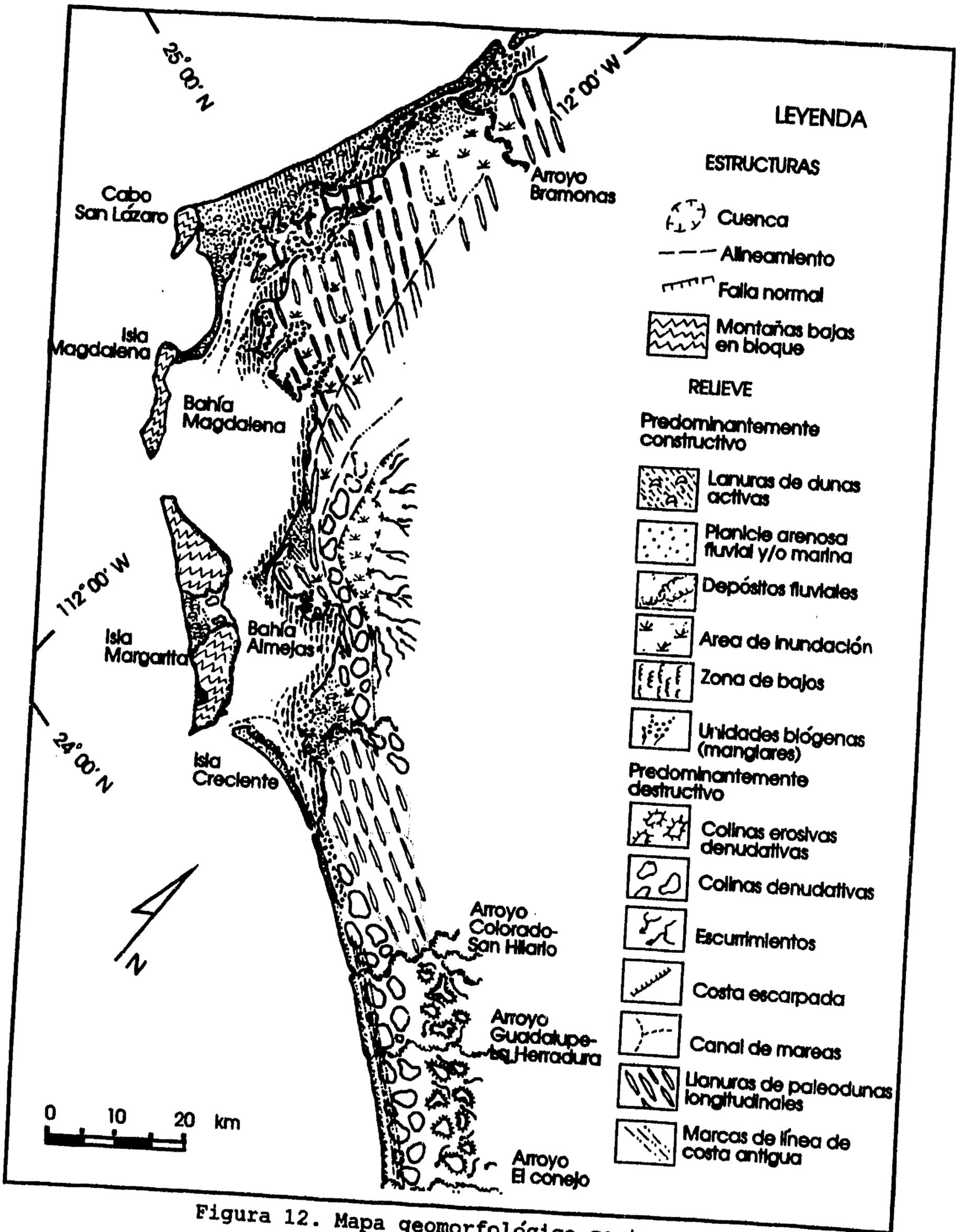


Figura 12. Mapa geomorfológico costero

TEXTURA

La totalidad de las muestras son arenas con pequeñas variaciones. La mayor frecuencia del tamaño de grano fluctúa entre 1 y .062 mm (0 a 4 ϕ), la moda principal de todas las muestras se ubica entre este intervalo (anexo 1).

Al observar las formas de distribución de frecuencias y conociendo los ambientes de depósito se constituyó un conjunto de seis grupos texturales característicos de sedimentos con sus muestras respectivas basados en su moda principal, la clase de tamaño estándar y la presencia o ausencia de material fino (menor a 62 μ m). Las características de los grupos son las siguientes:

1. Arenas de grano fino, su moda principal está en el intervalo centrado en 2.5 ϕ , sin material limo-arcilloso, la muestra característica es la 13 que corresponde a un ambiente de dunas (figura 13A).
2. Arenas de grano fino con lodos, su moda principal también es 2.5 ϕ , con material limo-arcilloso en menos del 10%, la muestra típica es la 79 que corresponde a un ambiente lagunar de profundidad media (24 m) (figura 13B). Texturalmente este grupo parece corresponder al anterior ligeramente modificado con material fino.
3. Arenas de grano muy fino, su moda principal está centrada en 3.5 ϕ , contiene también arenas finas y escaso material limo-arcilloso, su muestra típica es la 45 y corresponde a un ambiente de plataforma interna no protegida (34 m de profundidad) (figura 14A).
4. Arenas de grano muy fino con lodos, su moda principal también es 3.5 ϕ pero con material limo-arcilloso abundante, la muestra 53 es la típica que representa un ambiente de plataforma media no protegida (104 m de profundidad) (figura 14B). Texturalmente este grupo integra junto con el anterior una facies sedimentaria de plataforma marina no protegida.

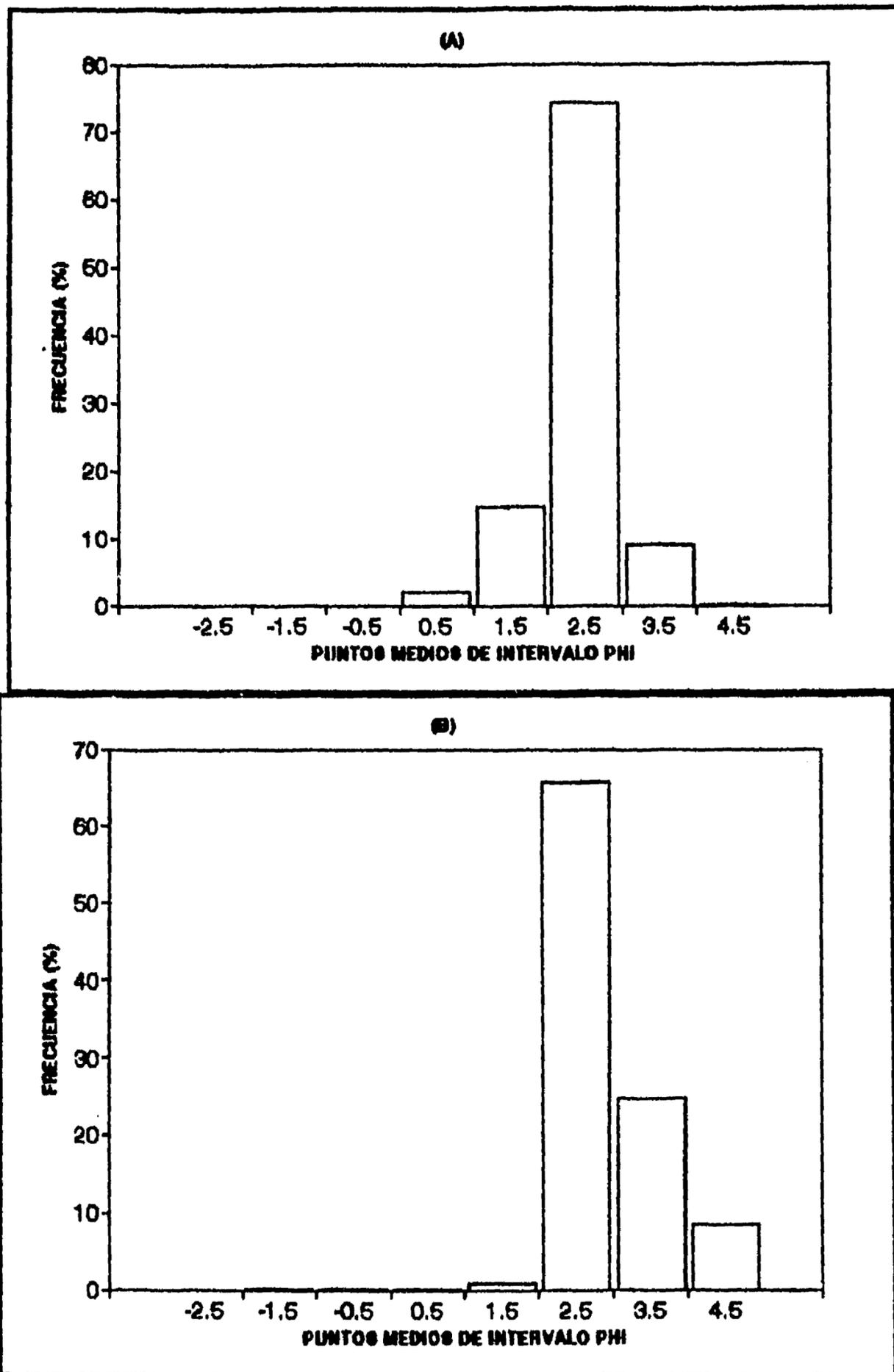


Figura 13. Histogramas de distribución del tamaño de grano de las muestras "típicas" (semilla). A: muestra 13, grupo 1. B: muestra 79, grupo 2.

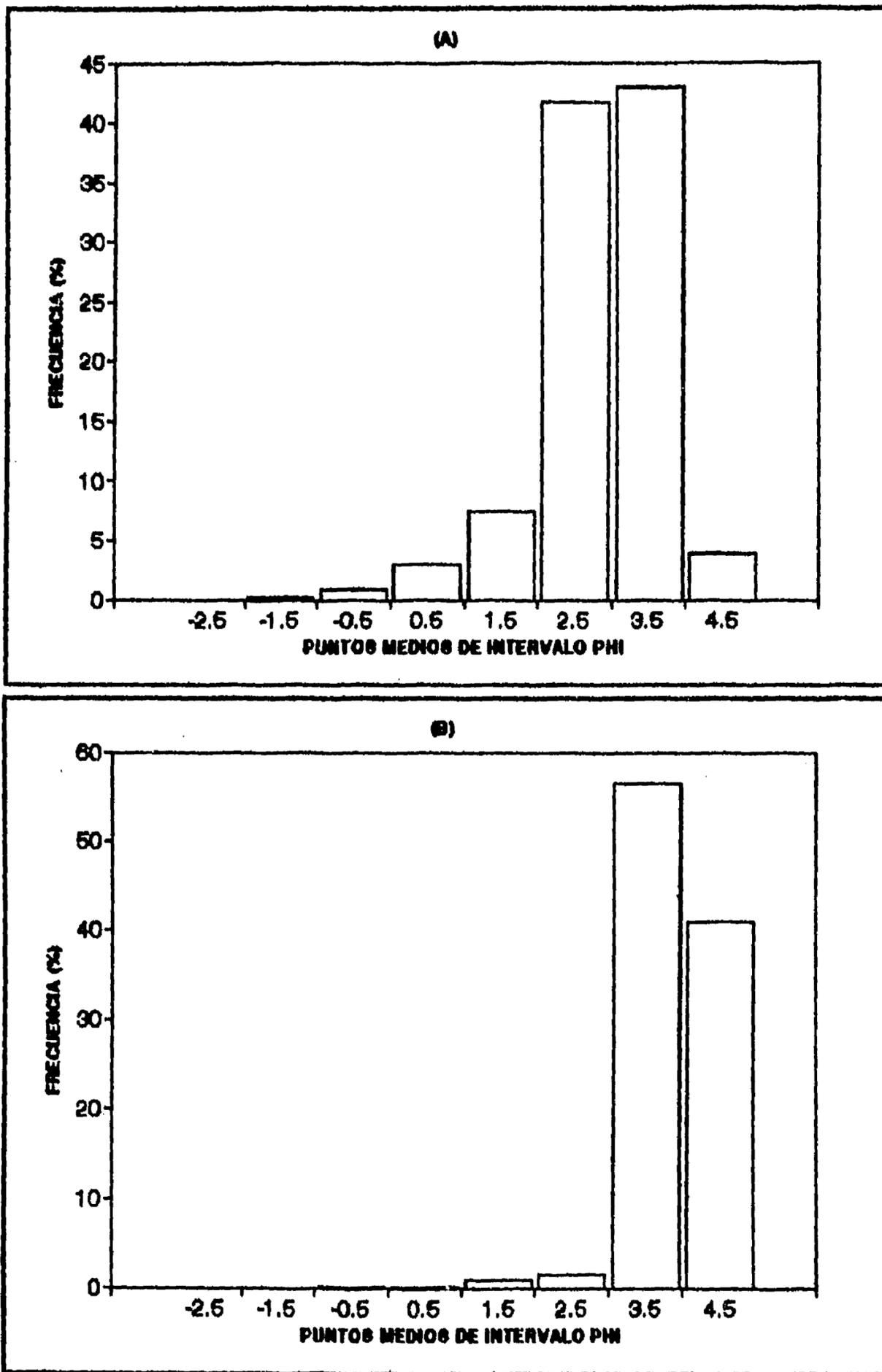


Figura 14. Histogramas de distribución del tamaño de grano de las muestras "típicas" (semilla). A: muestra 45, grupo 3. B: muestra 53, grupo 4.

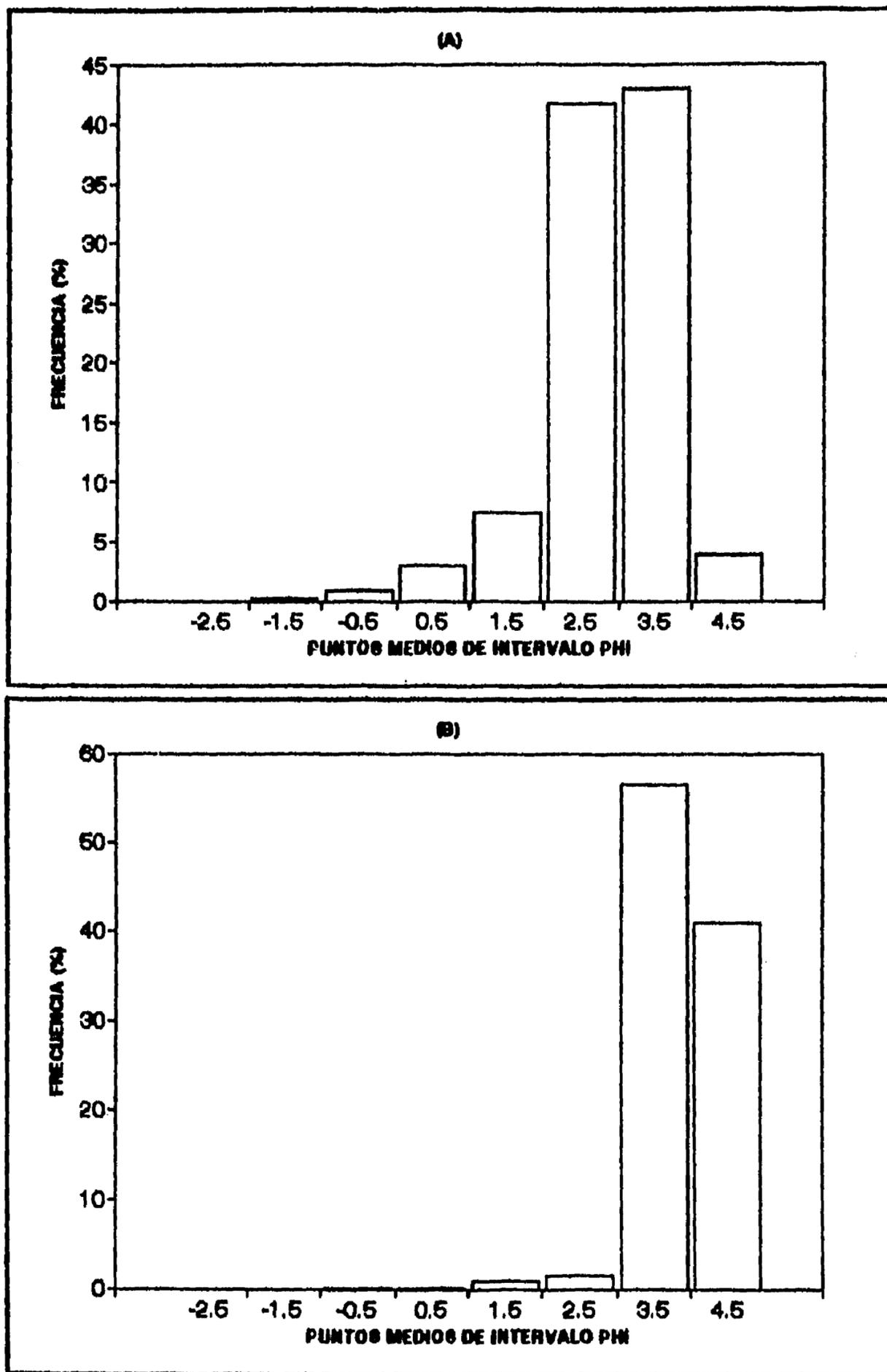


Figura 14. Histogramas de distribución del tamaño de grano de las muestras "típicas" (semilla). A: muestra 45, grupo 3. B: muestra 53, grupo 4.

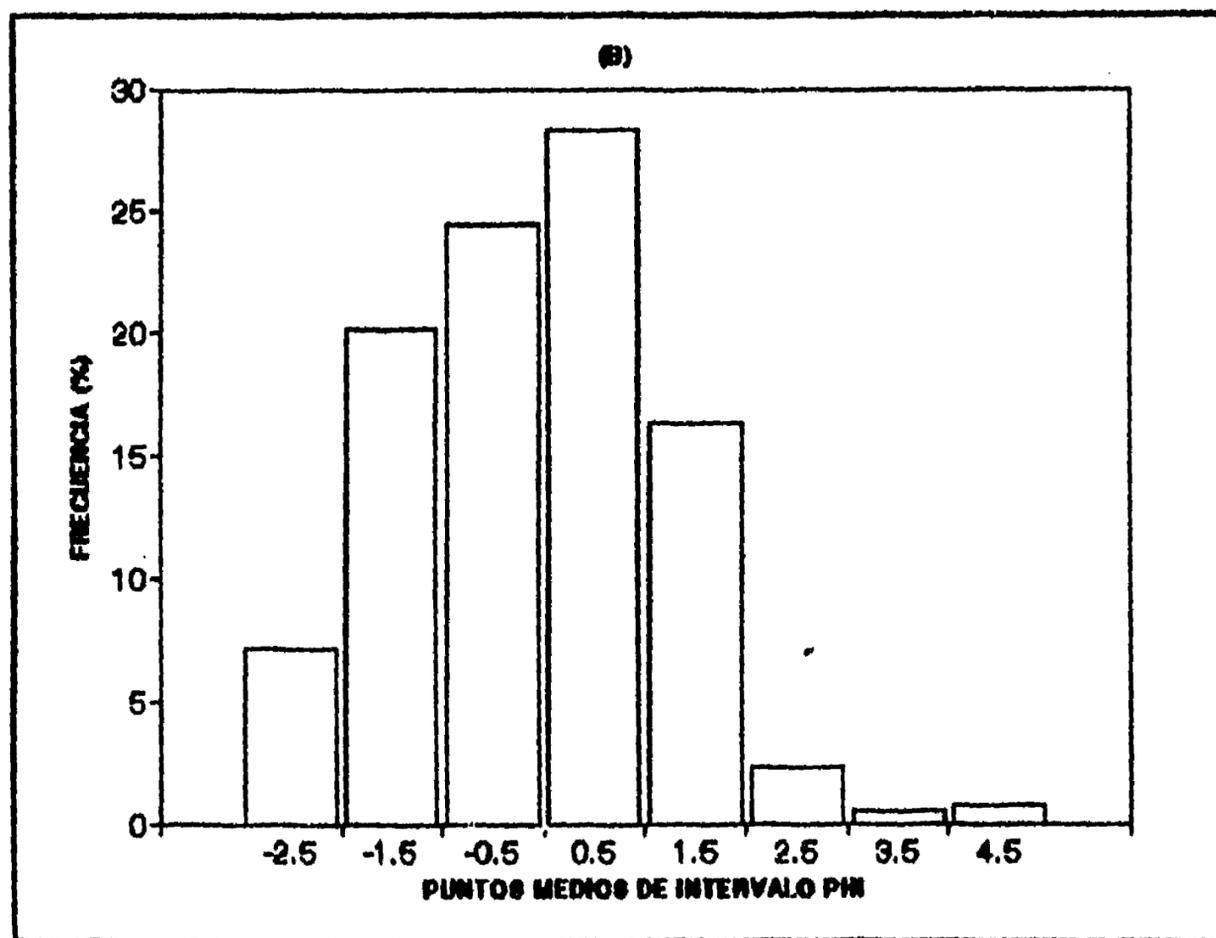
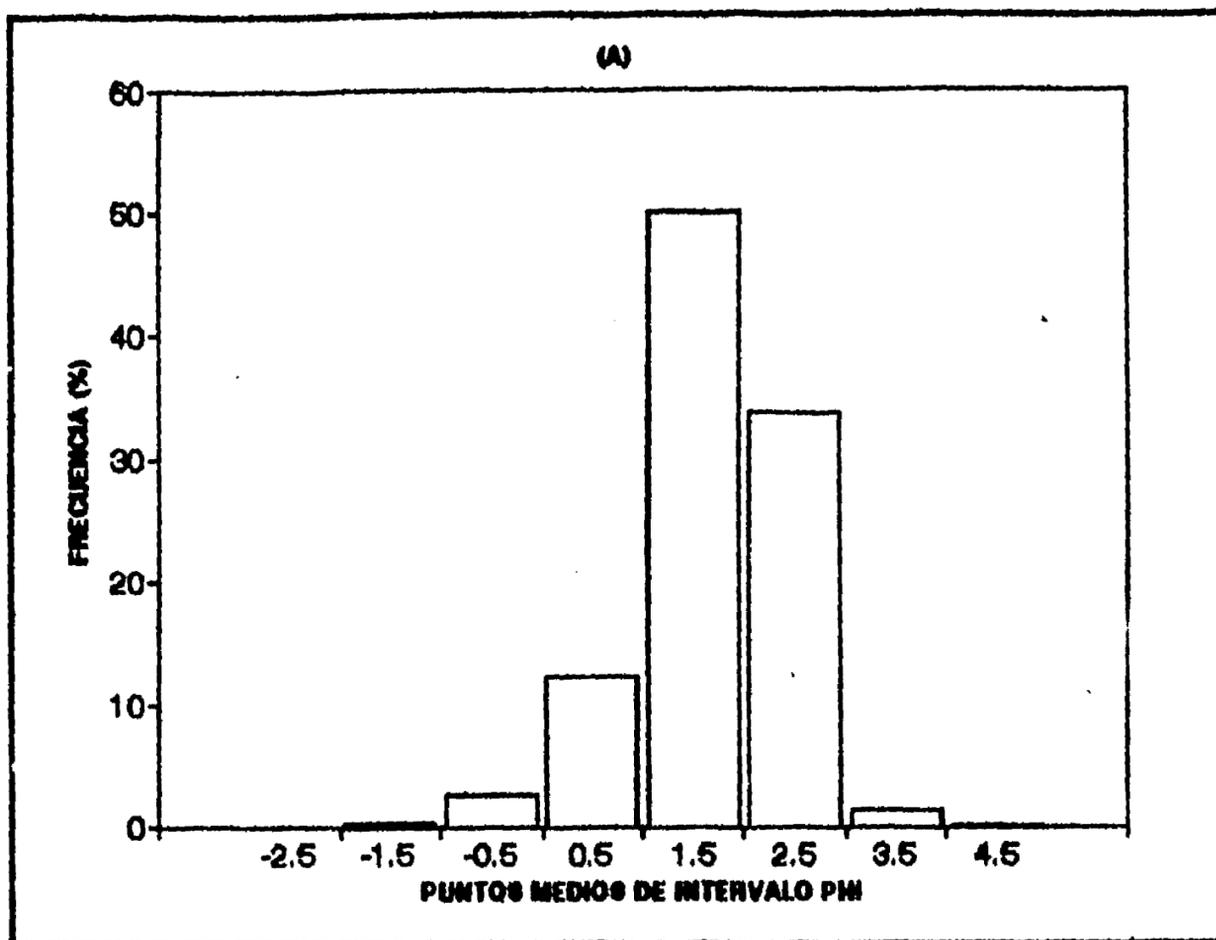


Figura 15. Histogramas de distribución del tamaño de grano de las muestras "típicas" (semilla). A: muestra 17, grupo 5. B: muestra 1, grupo 6.

5. Arenas de grano medio, su moda principal es 1.5ϕ con abundantes arenas finas, sin material limo-arcilloso, la muestra 17 es la típica de este grupo correspondiente a un ambiente de playa de alta energía de oleaje incidente (figura 15A).

6. Arenas de grano grueso, su moda principal es 0.5ϕ , este grupo texturalmente es el más disperso ya que contiene todos los tamaños de partículas, la muestra 1 es la típica y corresponde a un ambiente de arroyo (figura 15B).

Con esta información se aplicó el análisis de agrupamiento de muestras (Cluster Analysis) por el método del 'sembrado' (Seeded) (Morrison, 1967), empleando como 'semillas' las seis muestras típicas descritas. Los resultados se presentan en la tabla 4, en ella se puede apreciar el dominio de las arenas finas y finas con lodos que constituyen cerca del 60% del total. En base a esto, parece preponderante el aporte de sedimentos de las dunas recientes y antiguas hacia el ambiente marino costero lagunar. Existe un extenso campo de paleodunas (pre-holocénicas) en el área contigua a las lagunas que se extiende hacia el interior del continente delimitando una franja de 10 km de ancho en promedio (figura 12) por lo que es sugerente suponer que gran parte de los sedimentos lagunares actuales corresponden a sedimentos de paleodunas inundadas y/o retrabajadas por el ascenso holocénico del nivel del mar.

Los siguientes grupos de importancia son las arenas de grano muy fino y muy fino con lodos que representan el 22% del total y que corresponden a sedimentos de plataforma no protegida. Los grupos de arenas de grano medio y grueso corresponden a sedimentos de playa, arroyo o lagunares influidas por el aporte de material grueso desde las montañas "islas" Margarita y Magdalena.

TABLA 4.

Análisis de agrupamiento (Cluster) por el método de sembrado.

GRUPO	CARACTERISTICAS	MUESTRAS TIPICAS ("SEMILLAS").
1	Arenas de grano fino	13
2	Arenas de grano fino con lodos	79
3	Arenas de grano muy fino	45
4	Arenas de grano muy fino con lodos	53
5	Arenas de grano medio	17
6	Arenas de grano grueso	1

GRUPO	MUESTRAS AGRUPADAS	TOTAL
1	4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 19, 20, 24, 25, 28, 46, 58, 61, 66, 67, 70, 72, 73, 74, 80, 81, 82, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 94, 95, 98.	38
2	3, 23, 26, 29, 30, 31, 33, 44, 57, 59, 64, 75, 78, 79, 83, 93, 96, 97, 99, 111.	20
3	18, 22, 32, 34, 38, 39, 43, 45, 47, 48, 49, 56, 76.	13
4	35, 36, 40, 41, 42, 52, 53, 54, 55.	9
5	2, 10, 16, 17, 27, 62, 63, 65, 68, 69, 77, 92.	12
6	1, 15, 21, 37, 51, 71, 84.	7

Con los parámetros texturales calculados por el método de los momentos (anexo 2) se elaboraron mapas de isolíneas de tamaño de grano promedio (primer momento) y grado de selección (segundo momento) para las regiones I, II y III. En la figura 16 se observa el comportamiento del tamaño promedio en la R-I; en general hay un dominio de sedimentos con tamaño promedio entre 2.6 y 3.8 ϕ (arenas

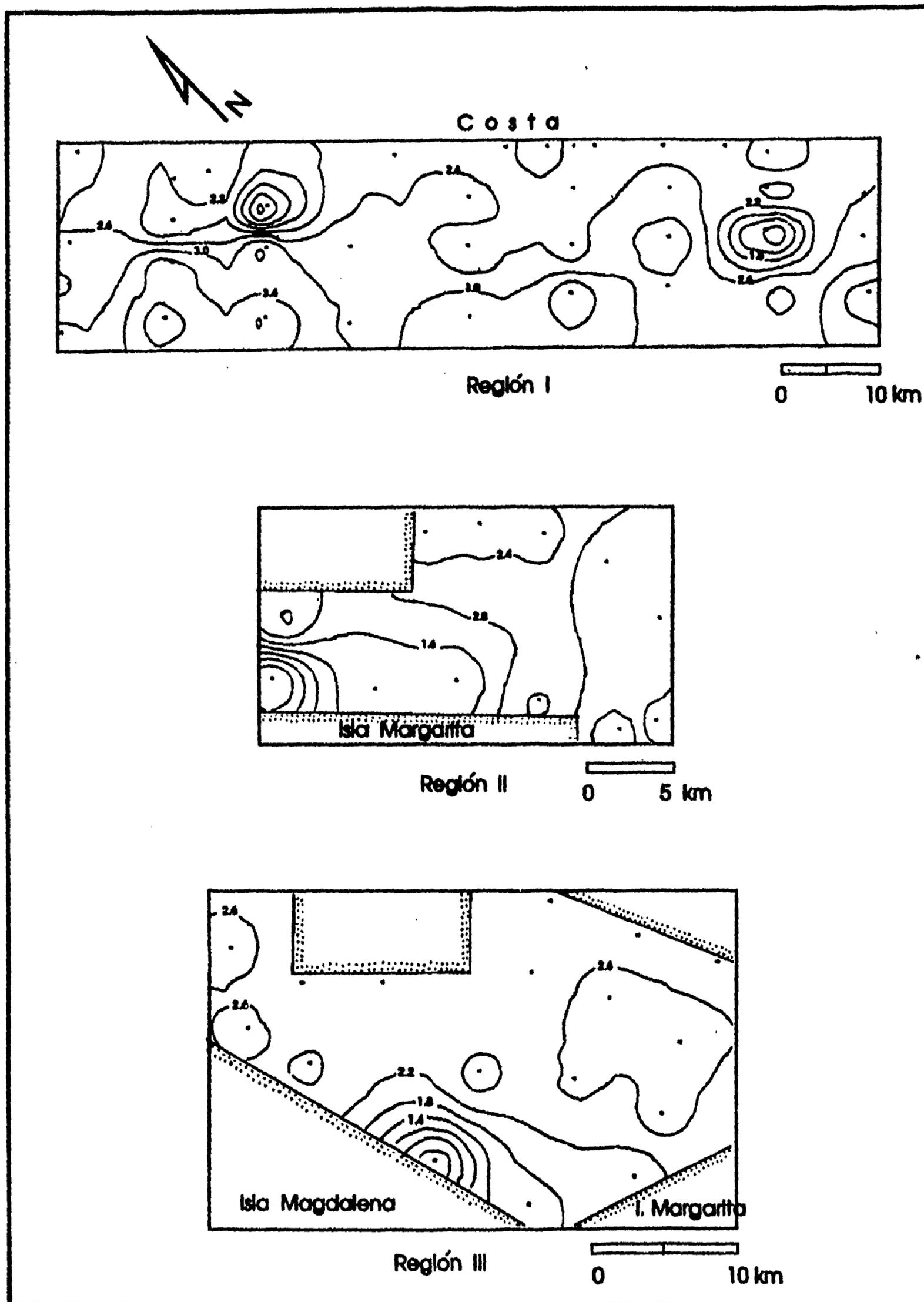


Figura 16. Isolíneas de tamaño promedio de grano (unidades Phi) en las regiones I, II y III. Para ubicación de las regiones referirse a la figura 7.

FALLA DE ORIGEN

de grano muy fino) con tendencia a disminuir hacia fuera de la costa. Son notorias dos áreas muy localizadas con material grueso de 1 a 1.8 ϕ correspondientes a 'parches' de material biógeno calcáreo del tamaño de las gravas.

En las regiones II y III (figura 16) se observa un dominio de partículas con tamaño promedio del grano de 2 a 2.6 ϕ (arenas de grano fino) con un gradiente de tamaño muy notorio aumentando hacia el borde con las islas (ubicadas en la parte inferior de las figuras en forma esquemática simulando geoméricamente los límites de las lagunas). En las muestras de mano puede notarse la abundancia de fragmentos de roca procedentes del complejo ofiolítico en estos márgenes, los cuales en gran parte de su desarrollo corresponden a costas escarpadas, lo que explica el aumento de tamaño medio de las partículas en estos sitios.

Los mapas del grado de selección se muestran en la figura 17. En la R-I predomina un grado de selección entre 0.8 y 1.4, es decir, son sedimentos de moderadamente a mal seleccionados. Hacia la línea de costa están moderadamente bien seleccionados.

En las regiones II y III predominan grados de selección de 0.4 a 1.0 ϕ , es decir, son sedimentos de bien a moderadamente bien seleccionados (Friedman, 1962). Nuevamente sobresale la influencia del aporte de material grueso desde las islas ya que sólo en estos márgenes el grado de selección es malo.

De la R-IV no fue realizado su mapa dado que la forma de la laguna es alargada, muy estrecha y el muestreo fue lineal a lo largo de la laguna lo que impide la realización de una adecuada interpolación de valores. Sin embargo por los valores de los parámetros texturales de las muestras de esta región (tabla 6, muestras de la 91 a la 96) se concluye que son muy similares a los dominantes de las regiones II y III.

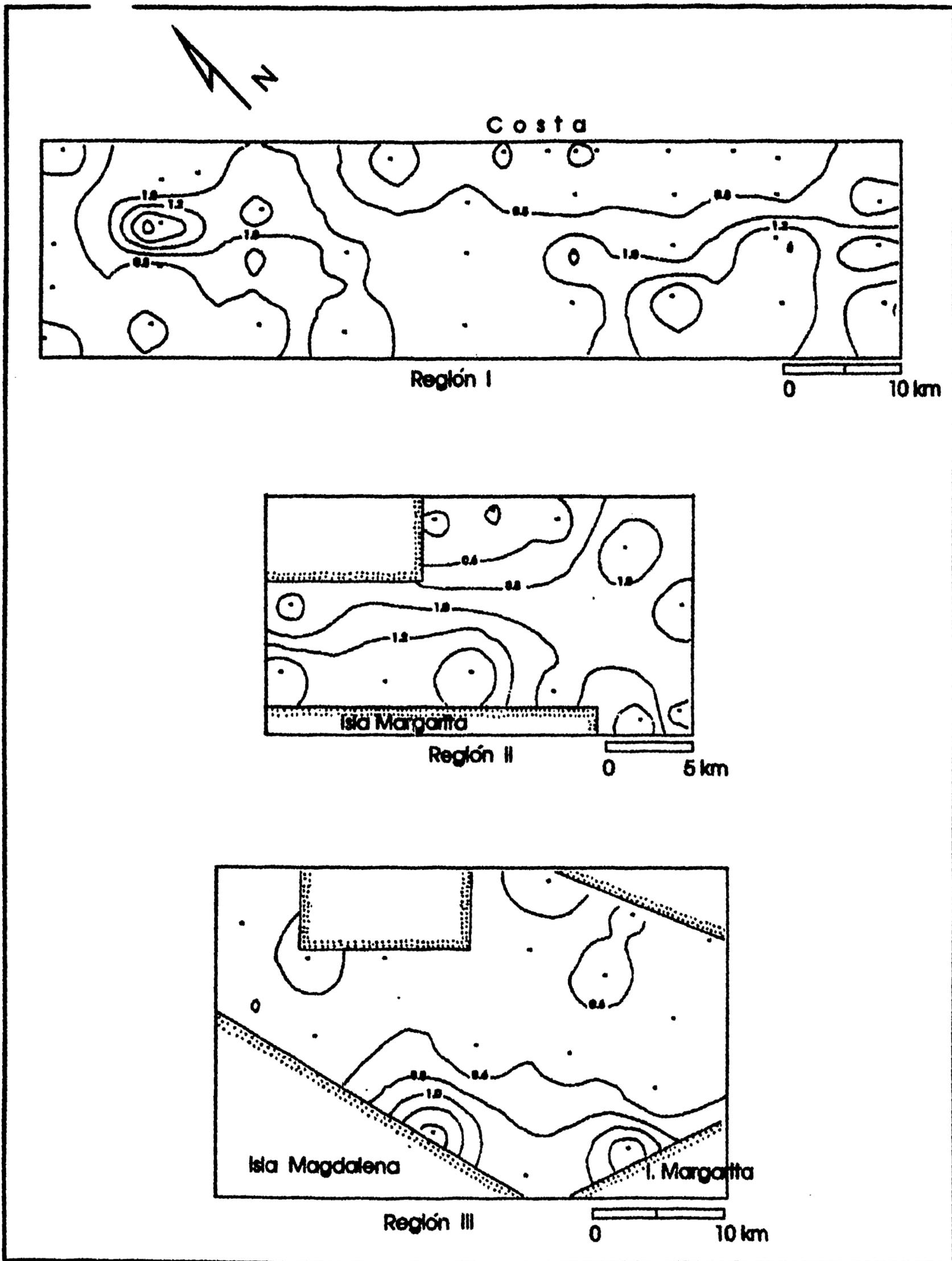


Figura 17. Isolíneas de grado de selección de los sedimentos (unidades Phi) en las regiones I, II y III. Para ubicación de las regiones referirse a la figura 7.

FALLA DE ORIGEN

También se graficaron los parámetros texturales por pares en diagramas de dispersión XY para observar comportamientos por grupos.

En el diagrama de media (tamaño promedio del grano): desviación estándar (grado de selección) (figura 18A) se observa un grupo principal constituido por la mayoría de las muestras cuya media está entre 2.3 y 2.8 ϕ con un grado de selección menor a 0.6, es decir, correspondientes a arenas de grano fino de bien a muy bien seleccionadas que corresponden a los grupos texturales 1 y 2 antes descritos y dominantes en las regiones II y III.

En el diagrama de tamaño medio:curtosis (figura 18B) se observa un grupo principal en el mismo rango de tamaños antes referidos, con curtosis entre 4 y 6. Las muestras con tamaños mayores y menores a este intervalo tienden a disminuir su curtosis y aquellas más cercanas a 2.5 ϕ de tamaño medio tienen los valores de curtosis más altos.

Ambas gráficas denotan un comportamiento de la mayoría de las muestras muy parecido al observado en arenas acumuladas en ambientes de depósito eólico reciente colectadas para este estudio.

Esto fortalece la hipótesis de que los sedimentos del área, particularmente los correspondientes a los fondos de las lagunas, están muy influenciados por material arenoso procedente del retrabajo erosivo marino de paleodunas durante la transgresión holocénica.

Se puede concluir que el área de estudio corresponde a una provincia textural predominantemente arenosa con una distinción clara entre por los menos tres grupos texturales correspondientes a otros

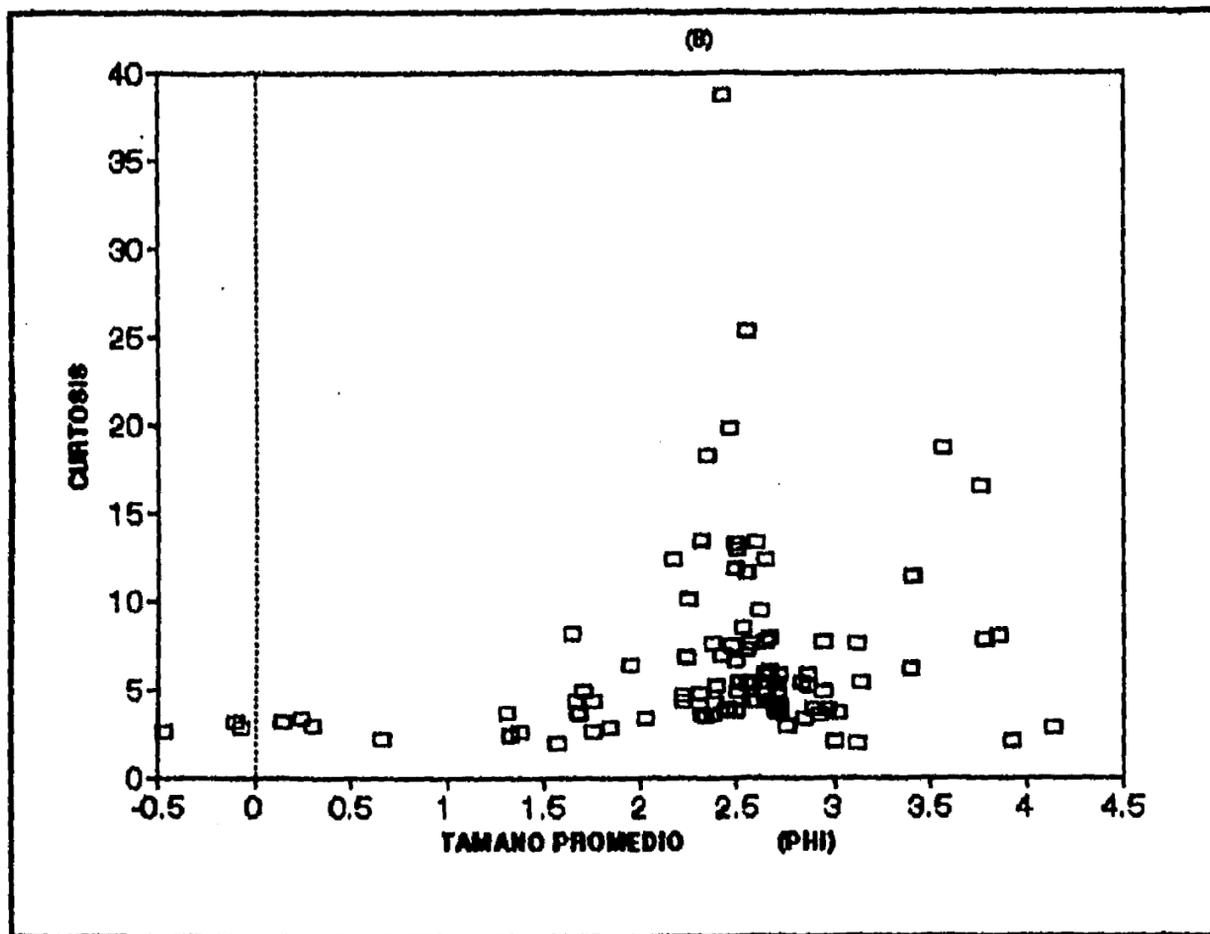
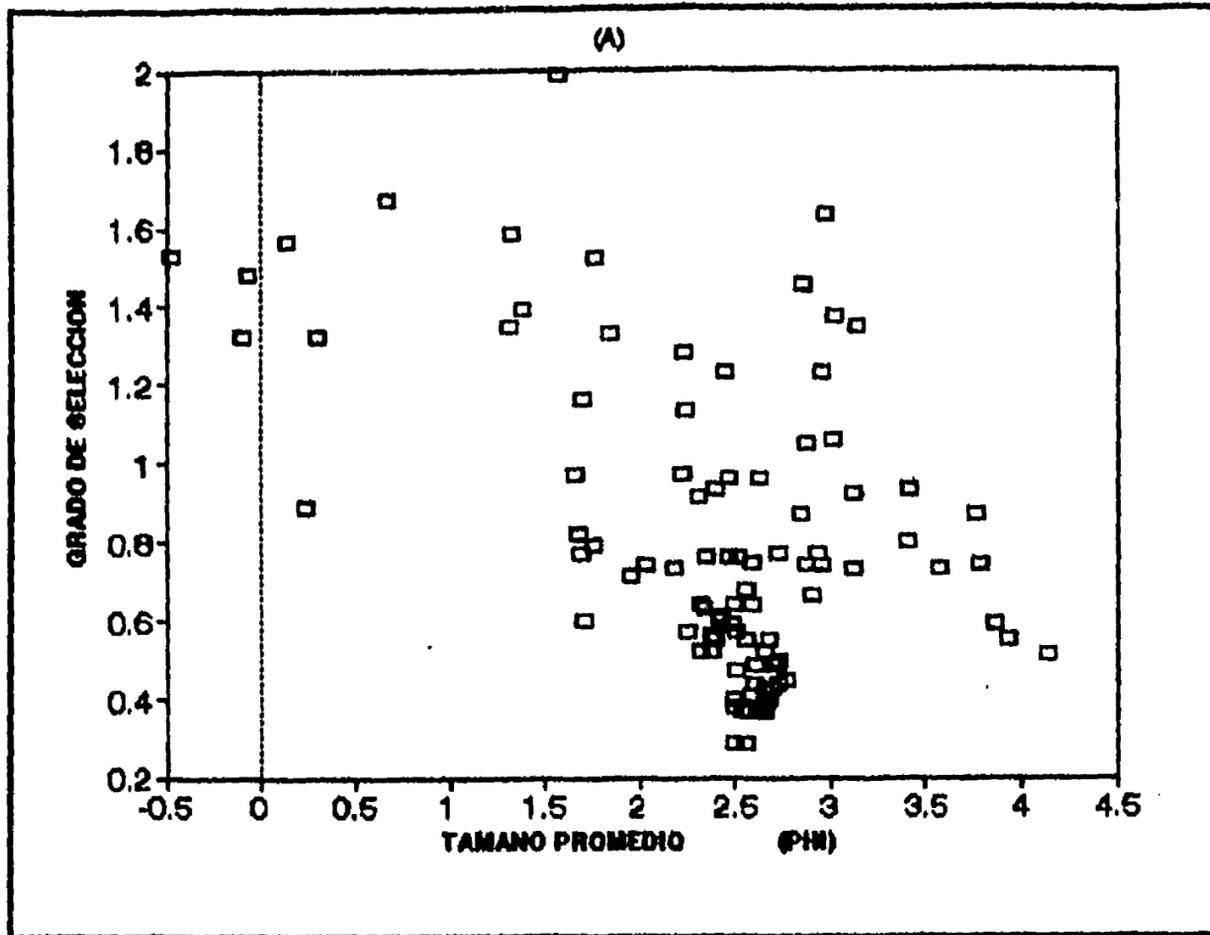


Figura 18. Diagramas de dispersión de los parámetros texturales.
 A: Tamaño de grano promedio vs. Grado de selección. B: Tamaño de grano promedio vs. Curtosis

tantos ambientes de depósito: el primero, y más importante, compuesto de arenas de grano fino y fino con lodos donde se incluyen sedimentos de playas, dunas y fondo de las lagunas (mayor parte de las Regiones II-III-IV); el segundo, compuesto de arenas de grano muy fino y muy fino con lodos donde se incluyen sedimentos de plataforma continental no protegida (Región I); y el tercero compuesto de arenas de grano medio y grueso, restringido a la margen de las islas con afloramientos de rocas ofiolíticas, a muestras de arroyo y algunos bancos de bioclastos calcáreos.

GEOQUIMICA

Se presentan en la tabla 5 los resultados del análisis químico de las muestras de 110 sitios del área de estudio, 96 corresponden a ambientes marinos y costeros y 14 a rocas y sedimentos que afloran en continente. Se analizaron doce elementos: tres de ellos constituyentes mayores y nueve metales pesados. Las concentraciones promedio (\pm desviación estándar) fueron Ca (CaO) 5.3% (\pm 3.9), P (P_2O_5) 1.1% (\pm 0.8), Fe (Fe_2O_5) 1.1% (\pm 0.9), Ag 1.2 ppm (\pm 1.3), Cd 1.3 ppm (\pm 0.7), Co 5.6 ppm (\pm 3.0), Cr 20 ppm (\pm 22.3), Cu 6.0 ppm (\pm 7.3), Mn 86.8 ppm (\pm 108.0), Ni 7.8 ppm (\pm 14.5), V 23.1 ppm (\pm 29.9) y Zn 16.6 ppm (\pm 9.6); la materia orgánica (MO) estimada como pérdidas por ignición fue en promedio de 2.1% (\pm 1.4).

Para el P, elemento importante en este trabajo, (expresado en este estudio como P_2O_5), los promedios mundiales para sedimentos marinos y rocas sedimentarias oscilan de 350 a 750 ppm como P (.08 a .17% como P_2O_5) (Levinson, 1974; Krauskopf, 1979; Chester, 1990). Por lo anterior, los resultados encontrados en este estudio para el P_2O_5 (promedio 1.1%) representan niveles anómalamente altos en un orden de magnitud respecto a los promedios mundiales más altos según las referencias anteriores. Ya se ha citado la presencia del P en altas concentraciones en los sedimentos como resultado de una productividad orgánica elevada, combinado con otros factores del

Tabla 5.

Composición química de las muestras de sedimentos marinos y costeros, y de rocas y sedimentos continentales.

Muestras marinas y costeras													
Muest.	MO %	CaO %	P ₂ O ₅ %	Fe ₂ O ₅ %	Ag ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Mn ppm	Ni ppm	V ppm	Zn ppm
1	1.27	3.37	0.29	2.21	5.5	0.6	7.8	5.5	6.6	176	5.8	-	21.8
2	1.01	5.01	0.68	1.98	3.7	0.6	7.4	10.7	2.7	96	4.3	-	17.5
3	2.07	4.44	0.90	0.84	2.6	0.5	3.9	16.9	-	48	0.7	-	10.4
4	3.04	4.95	0.46	0.72	2.8	1.1	5.6	11.0	-	55	3.5	-	9.0
5	0.91	4.31	1.34	1.45	2.0	1.4	5.8	21.2	2.9	94	2.4	12.6	13.6
6	1.92	4.96	0.90	0.72	-	1.1	6.2	9.5	-	46	0.8	-	12.7
7	1.23	4.57	1.24	0.73	-	1.3	6.5	13.0	-	45	1.1	-	11.7
8	0.93	6.20	3.10	2.19	-	2.9	6.0	36.4	2.8	136	4.1	45.5	20.7
9	1.22	5.29	1.66	1.19	-	1.7	6.4	19.5	3.8	72	3.2	8.6	14.1
10	1.87	7.01	0.29	1.27	-	1.9	7.5	8.7	3.5	104	3.4	23.5	31.8
11	1.02	4.45	0.80	1.18	-	2.1	6.4	24.5	2.2	85	0.7	22.4	15.3
12	1.49	4.75	2.47	0.84	-	1.4	6.9	4.5	2.5	41	0.2	7.7	26.8
13	1.41	5.11	1.46	0.94	1.9	1.5	6.3	14.1	-	53	2.1	18.1	23.9
14	0.78	5.33	2.56	1.81	2.6	2.0	8.4	30.0	2.9	99	3.9	35.2	14.9
15	1.55	6.72	0.62	0.85	1.7	1.5	6.8	7.8	3.7	54	1.6	7.3	22.4
16	0.91	3.37	0.95	1.91	-	1.7	8.4	9.7	2.7	87	5.2	27.0	15.0
17	1.90	5.01	0.86	1.22	2.5	1.2	5.8	9.4	3.6	61	3.7	16.1	31.5
18	2.71	4.44	1.16	1.93	-	1.9	9.8	20.4	7.9	173	5.6	33.6	15.6
19	0.95	4.95	2.05	1.22	-	1.7	6.2	14.4	4.1	65	3.6	22.2	21.6
20	2.01	4.31	0.59	0.71	-	1.1	4.5	2.7	4.0	34	0.8	-	23.0
21	2.26	1.55	0.38	1.81	2.4	0.9	3.7	3.9	8.9	114	5.2	55.6	19.7
22	3.74	4.96	0.53	1.72	2.3	1.5	9.5	14.7	8.0	296	4.9	29.3	25.6
23	0.83	4.57	1.60	1.45	-	1.5	5.8	22.2	6.1	81	4.1	40.7	17.1
24	1.03	6.20	1.69	0.98	-	2.0	6.7	13.4	11.5	54	3.7	26.7	30.2
25	4.11	5.29	0.80	1.83	-	0.9	5.5	15.0	4.9	152	5.5	36.7	28.2
26	2.48	7.01	0.57	1.00	-	0.8	3.4	8.7	4.1	48	2.8	14.7	16.8

Continúa

Continúa Tabla 5

27	1.59	4.45	-	0.74	-	0.9	4.6	7.8	3.4	34	0.7	11.8	10.3
28	1.11	4.75	0.57	1.23	-	1.8	7.0	14.0	16.2	55	3.5	31.9	21.4
29	1.17	5.11	1.76	3.48	2.2	1.3	9.2	55.5	24.6	202	8.0	60.0	24.8
30	2.04	0.91	-	1.21	-	0.6	3.4	10.6	6.4	43	2.4	19.6	18.5
31	0.67	1.33	-	0.61	-	1.0	4.3	0.2	4.1	33	0.2	12.6	12.8
32	1.61	0.95	-	1.82	-	1.5	6.4	9.8	10.9	134	3.2	34.2	20.3
33	1.27	4.86	1.46	0.89	-	2.2	6.1	20.6	5.8	48	2.8	24.6	13.5
34	2.72	7.41	0.67	1.57	-	2.4	6.7	18.1	7.7	70	4.5	18.2	23.7
35	3.93	6.37	0.17	1.60	-	2.7	8.1	18.6	8.8	74	4.8	27.7	27.4
36	3.81	10.68	0.32	1.74	-	2.6	9.8	18.8	10.3	72	7.1	19.5	27.1
37	3.51	11.46	-	1.20	6.5	3.1	14.1	12.3	8.0	29	7.7	15.2	16.5
38	1.67	5.30	0.26	1.11	2.4	1.9	7.3	19.9	4.0	59	2.1	19.1	13.4
39	1.31	5.20	1.44	1.09	2.5	1.3	4.6	20.0	5.1	54	4.0	19.1	12.6
40	4.26	5.35	0.41	1.55	2.9	1.7	6.9	19.0	7.8	72	5.8	22.5	19.9
41	7.71	10.66	0.99	1.27	3.1	2.3	6.5	18.0	8.3	72	6.1	10.6	19.0
42	5.88	4.83	0.77	1.48	-	3.2	6.8	17.4	7.8	81	5.4	21.0	22.1
43	3.51	5.75	1.35	1.15	1.4	1.3	6.4	15.7	4.5	49	3.2	22.5	15.5
44	1.82	3.42	1.43	0.96	-	0.8	3.1	15.1	4.1	49	3.8	21.2	11.2
45	3.11	4.41	1.40	0.99	2.4	0.4	4.8	16.9	3.6	50	2.9	18.0	14.7
46	2.50	3.99	1.34	1.29	-	0.7	5.5	14.0	4.6	46	4.3	20.5	19.9
47	4.56	4.39	0.99	1.21	-	2.8	9.3	18.4	8.6	63	5.4	25.4	31.3
48	3.64	6.64	1.51	1.33	2.3	2.6	7.5	21.1	6.1	53	5.0	19.9	20.0
49	3.32	5.43	1.79	1.14	-	1.4	6.6	17.0	5.8	50	5.0	18.6	21.0
50	2.86	4.50	1.38	0.88	0.9	1.4	4.3	17.3	4.6	56	4.7	13.8	20.0
51	2.21	16.24	0.62	0.90	-	1.5	7.5	10.0	6.6	36	5.2	23.1	17.1
52	3.18	2.88	0.72	1.30	-	1.4	6.1	11.8	6.0	66	3.5	20.9	21.3
53	2.59	3.94	1.07	1.22	-	4.3	4.7	16.6	6.1	55	6.5	21.6	22.5
54	4.66	3.82	0.70	1.59	-	3.7	6.8	16.1	7.2	76	6.8	18.3	24.9
55	3.42	3.41	0.64	1.45	3.1	1.7	8.4	13	7.0	75	4.4	32.7	20.8
56	4.63	13.11	0.76	1.35	3.7	1.7	9.8	11.1	4.9	55	6.9	27.9	15.1
57	1.77	3.22	1.22	1.11	-	0.7	6.2	12.7	3.5	42	2.9	15.5	13.0
58	1.78	4.47	1.50	1.13	-	1.0	5.7	12.5	3.1	48	2.9	27.7	11.2
59	2.68	2.34	1.25	1.08	-	3.2	3.7	13.8	4.7	54	5.2	19.5	17.5

Continúa

Continúa Tabla 5

61	1.76	3.31	1.06	0.71	2.7	0.6	2.3	9.1	6.9	53	3.9	18.4	12.5
62	2.97	3.92	0.84	1.11	1.5	0.9	5.0	54.5	7.9	107	33.4	27.0	13.7
63	2.23	3.91	1.08	0.78	1.8	0.9	3.1	10.7	6.2	56	4.6	17.3	10.8
64	4.29	4.46	0.56	1.93	2.0	1.1	6.5	126.6	8.4	111	82.6	31.4	19.2
65	3.89	11.68	0.97	0.58	2.2	1.0	3.9	6.2	7.0	38	5.7	11.3	10.4
66	1.45	2.05	1.16	0.56	-	0.9	2.0	7.8	6.3	28	5.2	17.3	10.5
67	0.74	2.61	1.84	0.36	1.3	0.7	2.2	10.1	4.8	38	4.1	10.5	6.3
68	5.11	12.06	0.52	1.01	2.2	1.0	5.0	84.2	8.1	79	41.7	19.8	10.0
69	4.38	18.9	0.35	0.72	2.4	0.9	6.3	99.1	6.7	65	45.0	15.1	12.9
70	3.35	0.98	0.82	0.21	1.1	0.9	1.0	2.1	5.6	19	2.9	3.9	6.0
71	0.56	15.05	0.28	3.56	2.7	1.3	14.8	127.2	22.6	582	99.1	105.9	41.7
72	1.10	2.92	1.46	0.46	1.5	0.7	2.8	11.0	1.9	59	2.4	14.1	7.0
73	0.77	3.06	1.97	0.46	1.3	0.7	2.9	13.5	2.9	57	2.8	11.3	6.3
74	0.85	1.36	0.71	0.29	-	0.4	2.5	8.5	3.3	28	3.0	3.1	4.5
75	0.58	1.19	0.67	0.34	-	0.3	2.6	10.4	2.0	32	4.0	4.1	6.2
76	3.50	15.15	0.82	1.54	2.4	1.0	10.6	59.8	12.7	229	37.5	54.7	22.4
77	2.86	9.45	0.21	5.53	2.1	1.0	18.3	15.5	65.2	750	23.0	175.1	63.3
78	1.26	2.40	1.07	0.46	1.5	0.4	2.5	13.7	3.0	42	3.6	11.8	7.2
79	0.99	1.17	0.73	0.31	1.1	0.6	1.5	10.0	2.8	31	1.7	7.6	5.4
80	1.24	3.29	2.39	0.63	1.3	0.7	3.9	18.2	2.9	78	4.7	14.7	8.4
81	0.89	3.13	2.38	0.41	1.5	1.0	2.6	13.1	2.9	41	3.8	8.2	5.9
82	2.04	6.61	2.21	0.43	1.4	0.9	3.1	17.2	3.3	38	3.9	7.0	6.8
83	0.79	0.93	0.62	0.28	-	0.3	0.7	8.7	2.8	27	2.9	0.4	4.6
84	4.77	19.05	0.44	1.51	2.5	1.7	8.2	21.5	14.8	183	24.1	46.2	17.9
85	0.97	1.33	0.53	0.28	-	0.6	1.2	9.1	2.6	20	5.9	0.3	4.6
86	0.88	2.43	1.66	0.42	1.4	1.0	1.9	10.2	2.6	45	2.8	0.9	5.6
87	0.88	3.11	2.38	0.44	1.3	1.6	2.0	14.0	2.4	46	3.9	5.8	9.0
88	0.69	1.53	1.01	0.32	1.0	0.4	1.4	9.1	2.1	31	2.1	2.3	4.9
89	0.76	1.03	0.61	0.24	0.9	0.4	1.3	3.6	1.6	16	1.6	-	4.2
90	0.65	1.52	0.93	0.31	0.9	0.5	1.6	8.0	1.4	32	2.2	3.7	5.1
91	1.18	2.94	1.74	0.49	1.1	0.8	2.2	12.4	2.2	39	3.9	13.7	6.0
92	2.57	16.09	6.53	0.73	3.1	2.6	6.4	40.7	5.0	68	8.6	29.5	11.3
93	3.32	10.92	2.47	1.14	2.2	1.1	3.9	22.3	4.9	94	9.4	30.3	12.9

Continúa

Continúa Tabla 5

94	0.96	3.26	2.26	0.64	1.6	1.0	1.8	18.4	2.5	65	4.0	16.3	8.8
95	0.85	3.5	2.48	0.76	1.4	1.1	2.0	20.6	2.5	65	4.9	22.2	6.9
96	0.88	6.85	2.94	6.40	1.7	1.6	10.3	76.0	7.3	533	16.6	217.3	49.5
X	2.10	5.30	1.10	1.10	1.2	1.3	5.6	20.0	6.0	86.8	7.8	23.1	16.6
σ	1.40	3.90	0.80	0.90	1.3	0.7	3.0	22.3	7.3	108.0	14.5	29.9	9.6
Muestras de roca y sedimentos continentales													
Muest.	P.I. %	CaO %	P2O5 %	Fe2O3 %	Ag ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Mn ppm	Ni ppm	V ppm	Zn ppm
97	1.41	2.99	2.42	1.13	1.8	0.9	3.2	25.9	4.9	112	7.6	28.5	12.7
98*	1.73	3.26	2.58	1.01	1.6	1.0	2.7	20.6	3.7	76	5.7	32.7	10.3
99*	1.23	3.05	1.67	0.83	1.7	1.0	1.6	17.5	2.7	87	4.8	26.2	9.0
100*	4.15	6.51	1.15	0.75	1.8	5.2	2.9	65.2	11.6	60	31.9	50.7	67.0
101*	4.41	16.58	4.68	1.38	3.9	4.4	10.1	107.5	12.8	233	32.8	69.4	63.5
10	6.03	0.05	0.08	0.84	1.3	0.3	0.9	-	3.4	44	-	9.6	8.8
10	3.58	31.87	5.34	1.01	5.3	3.8	12.3	43.9	10.5	354	25.2	30.2	46.5
10	3.78	25.28	20.28	1.19	5.2	19.9	8.6	278.9	15.2	173	32.1	81.3	41.4
10	3.36	1.28	0.46	1.69	1.2	1.7	1.4	29.4	10.2	28	18.6	51.3	66.0
	1.02	0.08	0.08	1.96	1.3	-	5.9	4.6	10.7	166	7.4	33.0	40.7
	2.98	2.65	0.07	1.97	1.4	0.7	5.0	3.2	8.5	310	7.1	41.6	27.2
10	1.85	2.35	1.37	0.86	1.4	0.6	2.5	23.1	2.7	48	5.1	58.0	10.1
110*	7.52	6.95	1.82	1.22	1.8	0.9	3.7	30.4	4.4	79	13.1	55.8	12.7
111	0.82	1.52	1.37	0.59	1.3	0.8	0.6	12.7	2.7	62	2.9	3.2	6.6
X	2.31	5.66	1.39	1.19	1.3	1.5	5.4	23.5	6.2	92.4	8.5	25.3	19.2
σ	1.51	5.06	2.08	0.87	1.3	1.9	3.1	33.7	7.0	108.0	14.3	29.5	17.3

X= Promedio; σ = Desviación estándar; el signo - se refiere a que la concentración está por debajo del límite de detección (Ca <0.01%; P < 0.01%; Fe <0.01%; Ag <0.7 ppm; Cd <0.1 ppm; Co <0.2 ppm; Cr <0.3 ppm; Cu <0.2 ppm; Mn <0.3 ppm; Ni <0.2 ppm; V <0.3 ppm; Zn <0.1 ppm); el signo * indica muestras de roca sedimentaria

ambiente como el estado reductor, el poco aporte de terrígenos y niveles eustáticos del nivel del mar relativamente altos. Estas condiciones al parecer han venido manifestándose en la región en forma recurrente desde hace millones de años, quedando su registro como sedimentos con alto contenido de P formando parte del grupo mineral de la apatita $[(CaF-CaCl)Ca_4(PO_4)_3]$ y de otros elementos que tienden a formar conjuntos químicos elementales característicos en este tipo de sedimentos y rocas.

Estos resultados encontrados plantean una primera conclusión que confirma lo reportado por Alvarez-Arellano (1992) para la parte sur del área de estudio respecto a la presencia de sedimentos fosfáticos en ambientes costeros recientes del suroeste de la península y se plantean dos alternativas para su explicación: (1) procedencia terrígena por erosión y retrabajo de las formaciones terciarias y cuaternarias ahora aflorando en la zona continental adyacente; (2) formación *in situ* por fosfogénesis reciente o en proceso. Ambas hipótesis se discutirán a lo largo del trabajo.

En materiales sedimentarios fosfatizados de origen marino ha sido reportado el enriquecimiento sustancial de una gran variedad de metales pesados entre los que están los determinados en este estudio y otros como los de la serie de los lantánidos y actínidos. Estos metales se encuentran ya sea asociados a la materia orgánica de las masas fosfáticas o sustituyendo al Ca en el cristal de apatita (Altschuler, 1980; Kolodny, 1981; Alvarez-Arellano y Páez-Osuna, 1995).

Al comparar los niveles de metales pesados encontrados con los reportados en otros trabajos realizados en ambientes costeros del Pacífico mexicano, del Golfo de México y promedios mundiales (Tabla 6) se revela que en general los promedios encontrados en el área de estudio son relativamente más bajos, aún cuando las concentraciones de Ag, Cd y V no son reportadas en la mayoría de los casos

Tabla 6.

Concentración promedio de metales en el área de estudio, en otras localidades y promedios mundiales (excepto el Fe (%), las concentraciones en ppm).

Región	Tipo de sedimentos	Fe	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	V	Zn
Este estudio	Ar y Ar-lm	1.1	1.2	1.3	5.6	20	6.0	86.8	7.8	23	16.6
Playa S. Antonio del Mar, B.C. (a)	Ar	17.0	NR	NR	51.0	186	30.0	.4(%)	26.0	NR	113.0
Costa NW del estado B.C. (b)	Ar y Lm	NR	0.1	0.1	NR	12	2.5	34.7	NR	NR	7.2
Costa del edo. Oaxaca (c)	Ar	20.7	164	NR	NR	143	3.6	.5(%)	23.0	NR	193.0
Laguna Mitla, Gro. (d)	Ar-arc	4.1	NR	NR	13.0	121	55.0	NR	44.0	NR	103.0
Estero Uriás, Sin. (e)	Ar-lm	2.1	NR	1.2	14.9	29	19.8	NR	16.4	NR	85.4
Plataforma marina, Sin. (f)	Ar y Ar-lm	2.8	NR	0.8	16.0	28	30.0	578.5	30.0	NR	NR
Costa del edo. Sonora (g)	Ar	12.3	Tr	Tr	0.2	0.8	1.2	0.4	0.1	NR	1.3
Laguna Ostión, Ver. (h)	Ar-arc	6.4	NR	NR	49.0	305	70.0	NR	85.0	NR	91.0
Chester (1990)	Lm y Arc	6.5	0.1	0.2	13.0	60	56.0	850.0	35.0	145	92.0
Levinson (1974)	Areniscas	NR	.01	0.1	0.3	35	10.0	NR	2.0	20	16.0
Krauskopf (1979)	Lutitas	4.7	0.1	0.3	20.0	100	50.0	850.0	80.0	130	90.0

NR= No reportado; Tr= Trazas; Ar= arenas; Lm= limos; Arc= arcillas

(a) Carranza-Edwards **et al.**, (1988a); (b) Gutiérrez-Galindo **et al.**, (1994); (c) Carranza-Edwards **et al.**, (1988b); (d) Páez-Osuna y Osuna-López (1987); (e) Osuna-López y Páez-Osuna (1986); (f) Páez-Osuna y Osuna-López, (1990); (g) Carranza-Edwards **et al.**, (1988c); (h) Páez-Osuna **et al.**, (1986). Chester (1990) ('nearshore muds'); Levinson (1974) ('sandstones'); Krauskopf (1979) ('shales').

documentados. En los sitios donde la actividad antropogénica es evidente, como lo es en las localidades de los estados de Sinaloa y Veracruz, los niveles de metales pueden relacionarse en parte con el vertido de desechos industriales y domésticos a la zona costera (Osuna-López *et al.*, 1986), sin embargo estas concentraciones no parecen ser anómalamente altas respecto a los promedios mundiales manejados para sedimentos marinos. En el caso de las localidades de Baja California (a), Oaxaca, Guerrero y Sinaloa, los niveles reportados pueden explicarse tanto por la naturaleza de la litología regional, ya que son localidades con abundantes procesos de mineralización y gran diversidad litológica, como por la amplitud de las cuencas de drenaje hacia esos sitios ya que, excepción hecha de Baja California (a), densos y amplios drenes fluviales procedentes de la erosión de importantes sistemas orográficos del noroeste y sur de México transportan hacia la costa grandes volúmenes de material sedimentario (provincias geológicas Planicie Costera del Pacífico, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur y Altiplano de Oaxaca, López-Ramos (1983)).

En los casos de Baja California (b), Sonora y el área de estudio son notorios sus niveles bajos respecto tanto a los promedios mundiales como a los datos de otras localidades en México. En parte esto puede ser explicado por las escasas precipitaciones (menos de 150 mm anuales promedio) y, por tanto, reducido volumen de material transportado por vía fluvial (tanto disuelto como particulado) a las costas, rasgo que caracteriza a estas regiones. En el caso del área de estudio, la relación entre la superficie continental contigua, potencial aportadora de sedimentos y compuestos solubles (cuencas de drenaje), y la longitud de la línea de costa es de sólo 55.2 km²/km, que es pequeña si se compara por ejemplo con el estado de Oaxaca (precipitaciones promedio mayores a 500 mm anuales) cuya relación es de aproximadamente 120 km²/km. Además en las cuencas de drenaje contiguas al área de estudio no existe ningún tipo de mineralización metálica y la mayor parte de la superficie

continental está cubierta por rocas sedimentarias tipo areniscas y vulcanosedimentarias tipo brechas, tobas e ignimbritas de composición intermedia a félsica con muy escaso desarrollo cristalino.

Los únicos metales que se comportan anómalamente altos respecto a los promedios mundiales y a los observados para otras localidades en México son Cd y Ag. A ambos elementos se les cita como asociados a la materia orgánica y, particularmente para la región, a rocas fosfáticas. Ya se ha hecho referencia a la alta productividad del sistema lagunar bahía Magdalena-bahía Almejas y la alta incidencia de surgencias en la zona (Alvarez-Borrego et al., 1975; Gómez y Vélez, 1982), como rasgos sobresalientes del marco oceanográfico del área, así como la existencia de numerosos afloramientos de fosforitas en la franja continental adyacente al área de estudio (Galli-Olivier, 1993). Por tanto los niveles de Cd y Ag pueden ser bien explicados por estas evidencias. Alvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995) encontraron concentraciones promedio de 12 ppm de Cd en las formaciones fosfáticas del sur de la península que son dos órdenes de magnitud mayores a los reportados por los promedios mundiales de rocas sedimentarias. Altschuler (1980) reporta concentraciones promedio de Ag en fosforitas de 2 a 15 ppm. Estas fuentes terrígenas de Cd y Ag parecen estar influyendo en forma importante en la geoquímica sedimentaria regional a la cual se suma el aporte de estos metales por vía de la materia orgánica sea por su propia composición o por su capacidad de enlace (Knauer y Martin, 1981).

Con el propósito de vislumbrar posibles grupos afines o asociaciones geoquímicas de los elementos analizados, los datos de concentraciones de la tabla 5 se procesaron mediante el Análisis de Factores (modo R). Los resultados se describen en la tabla 7 y se grafican los dos primeros factores (64.3% de la varianza acumulada) en la figura 19. De este procesamiento se determinan tres grupos de elementos afines inferidos por sus altos valores de cargas en cada

factor, el primero y más importante (Factor 1) constituido por Fe, Mn, V y Cu; el segundo (Factor 2) por P, Cd y Cr; y el tercero (Factor 3) por materia orgánica y Ca. Particularmente la relación Fe-Mn es muy estrecha, lo que se evidencia en la figura 20 que ilustra una alta correlación entre ellos ($r=0.870$; $p=99.99$; $n=95$).

Tabla 7.
Resultados del Análisis de Factores (Modo R) en el área de estudio.

Eigenvalues (Valores característicos)			
Factor	Eigenvalue	% Var.	% Acum. de Var.
1	5.84	45.0	45.0
2	2.51	19.3	64.3
3	1.27	09.8	74.1
4	0.88	06.8	80.9
5	0.78	06.1	87.0
6	0.52	04.0	91.0
7	0.39	03.0	94.0
8	0.32	02.5	96.5
9	0.17	01.3	97.8
10	0.12	01.0	98.8
11	0.06	00.5	99.3
12	0.05	00.5	99.8
13	0.03	00.2	100

MATRIZ ROTADA VARIMAX			
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
MO	.012	.00	.748
Ca	.207	.429	.716
P	-.047	.943	.062
Fe	.934	.015	.019
Ag	.106	.233	.645
Cd	.041	.916	.194
Co	.695	.091	.431
Cr	.247	.782	.364
Cu	.807	.073	.189
Mn	.916	.092	.154
Ni	.419	.205	.534
V	.881	.259	.016
Zn	.470	.741	.180

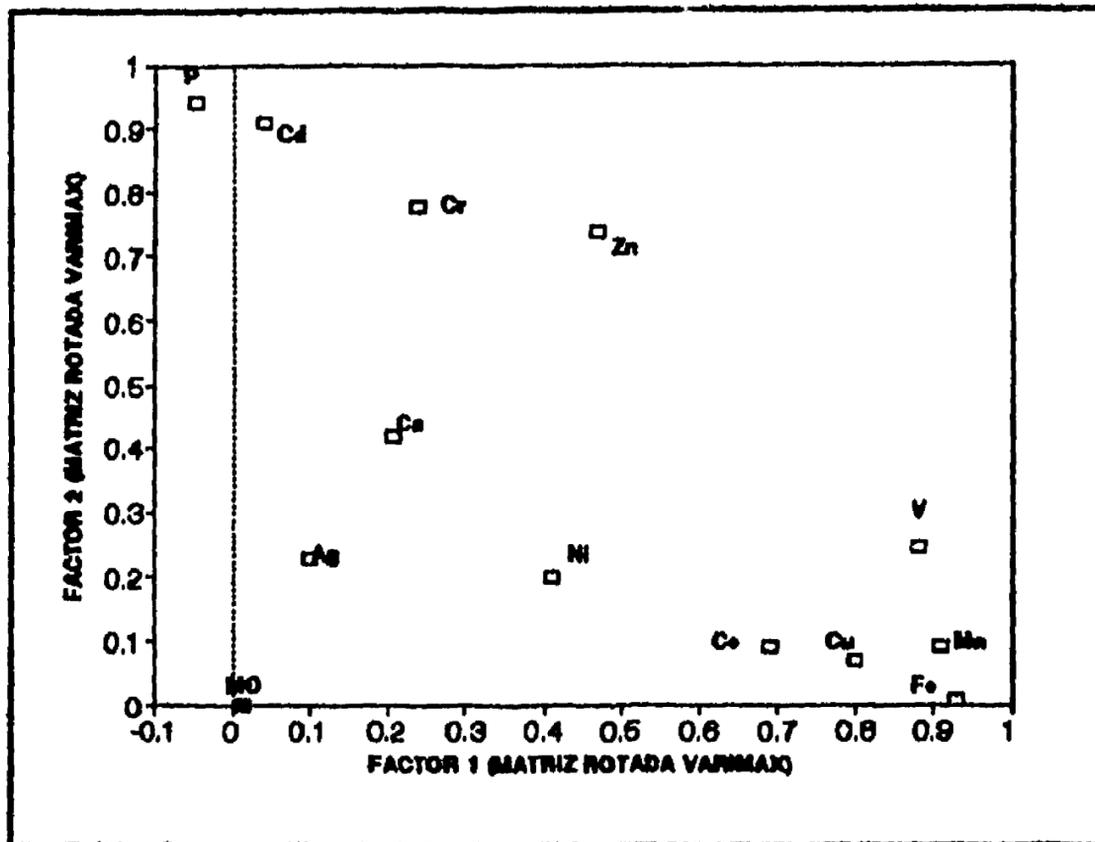


Figura 19. Diagrama de dispersión de las cargas de los Factores de la Matriz Rotada Varimax indicando agrupamientos de elementos.

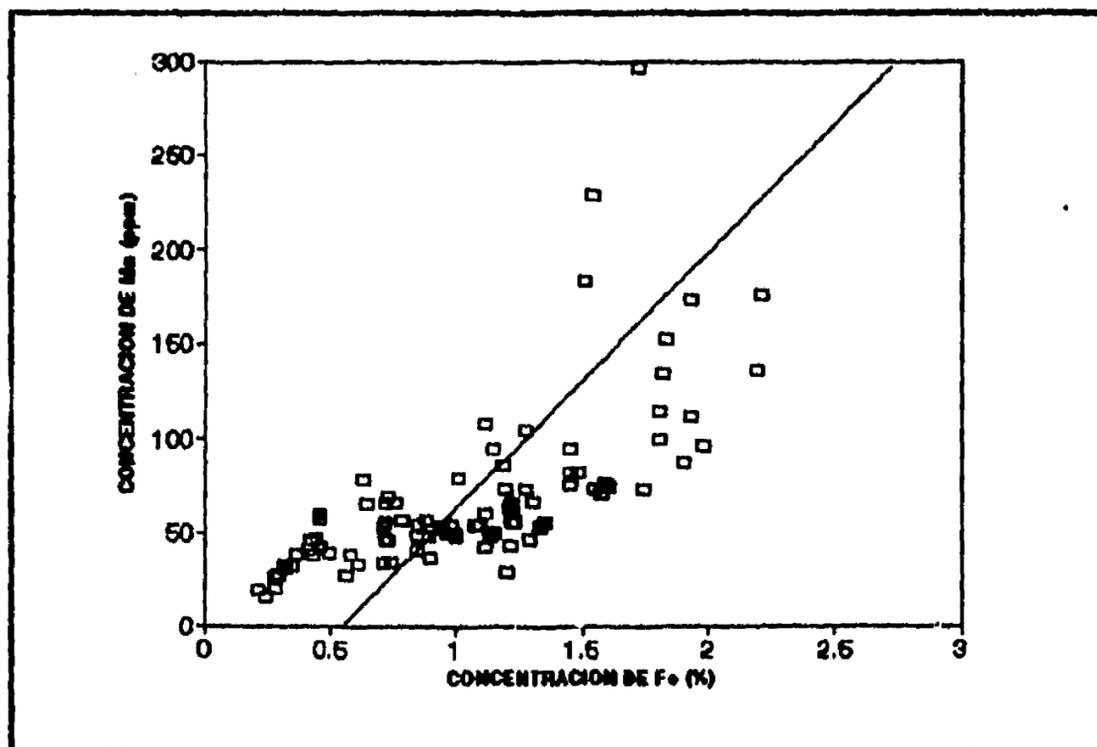


Figura 20. Correlación entre las concentraciones de Fe y Mn ($r=0.87$) se indica el ajuste de la curva.

Otra técnica para encontrar agrupamientos, relaciones elementales y posibles orígenes de una serie de muestras es graficarlas en diagramas ternarios ubicando en cada vértice los constituyentes mayores o la suma de varios constituyentes menores.

Este procedimiento se empleó postulando como componentes ternarios las concentraciones de P, Fe y la suma de Cd+Cr+Cu, dado que estos elementos son los de mayor importancia, según el análisis matemático antes descrito. Para transformar las concentraciones a coordenadas ternarias se estandarizaron los datos de acuerdo a la ecuación: $Z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{s}$

donde Z_i es la forma estandarizada del elemento i en una muestra dada, X_i es el valor de la concentración del elemento i en esa muestra, \bar{X} es el promedio de concentración del elemento i , y s es la desviación estándar de la serie de datos del elemento i (Davis, 1973).

Los resultados se presentan en la figura 21, donde se pueden distinguir tres grandes grupos:

1) El conformado por las muestras de la región I sobre la parte central de la banda Fe-P en el diagrama. 2) Aquel situado sobre esa misma banda pero desplazado hacia el vértice de P, constituido principalmente por las muestras lagunares de las regiones II, III y IV que sugiere la existencia de una fuente común de sedimentos fosfatados. 3) Otro, disperso en el diagrama pero orientado en general sobre la banda Fe-(Cd+Cr+Cu), ligeramente desplazado hacia el vértice de Cd+Cr+Cu, constituido por las muestras lagunares ubicadas en el margen de las islas que refleja la influencia de la mineralización metálica en las rocas metamorfizadas.

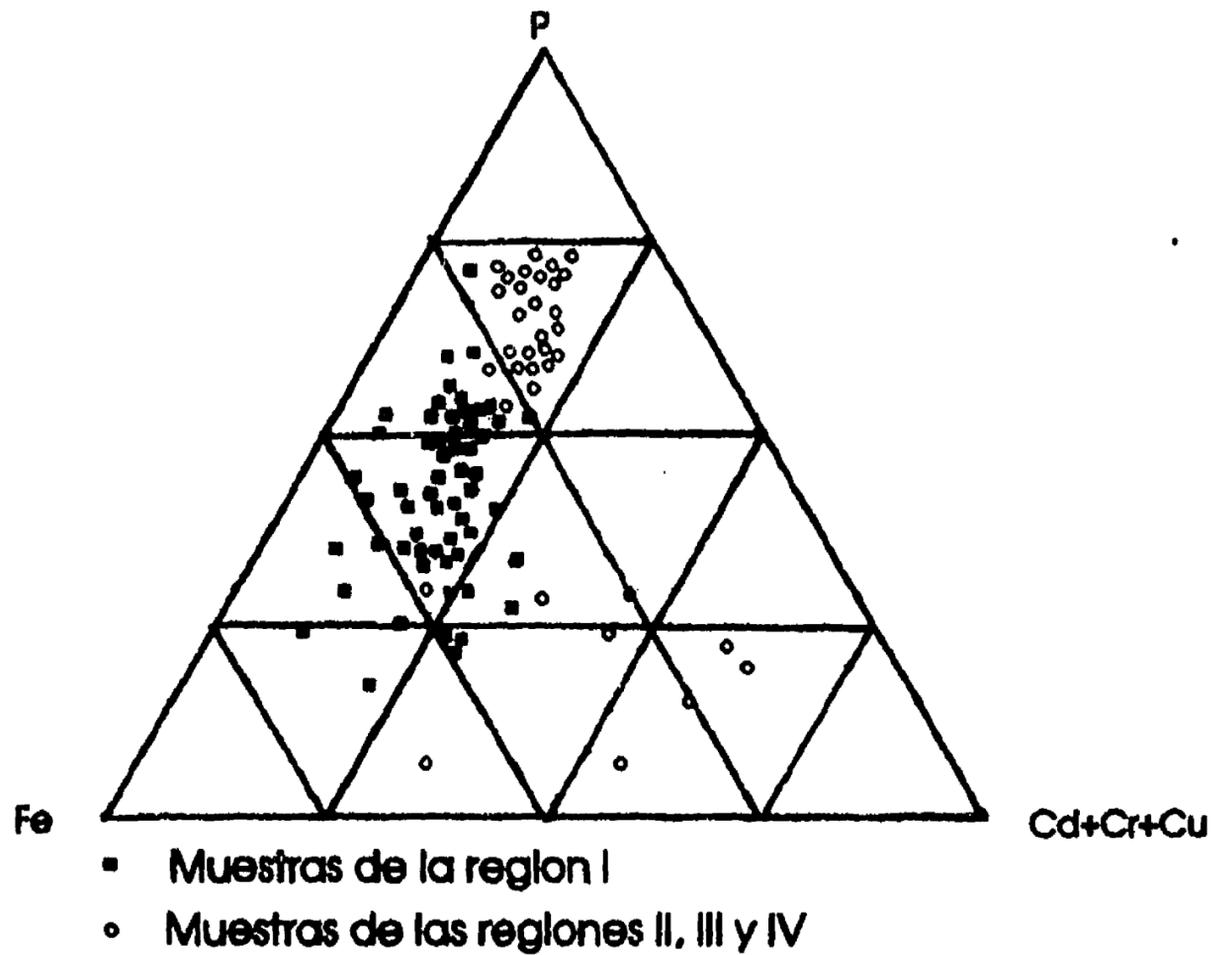


Figura 21. Diagrama ternario P-Fe-(Cd+Cr+Cu) indicando distribución de las muestras de las diferentes regiones.

Con los resultados de composición química se realizaron algunos mapas de isolíneas de concentración de varios elementos de acuerdo a su relevancia evidenciada por los análisis matemáticos antes descritos. En la figuras 22, 23 24 se muestran los mapas correspondientes a los elementos P, Fe y Cd de las regiones I, II y III.

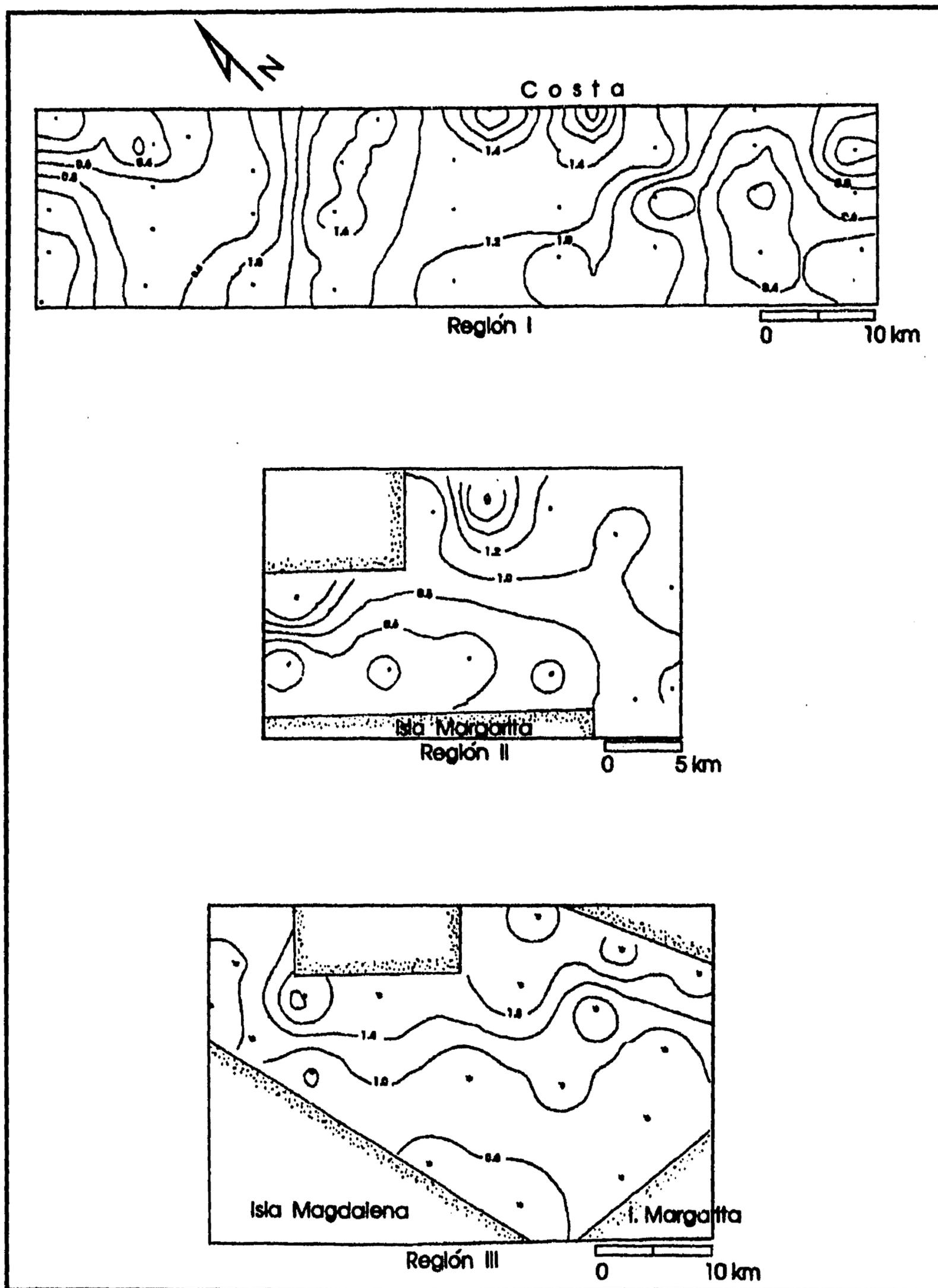


Figura 22. Isolíneas de concentración de fósforo (%) en las regiones I, II y III. Para ubicación de las regiones referirse a la figura 7.

FALLA DE ORIGEN

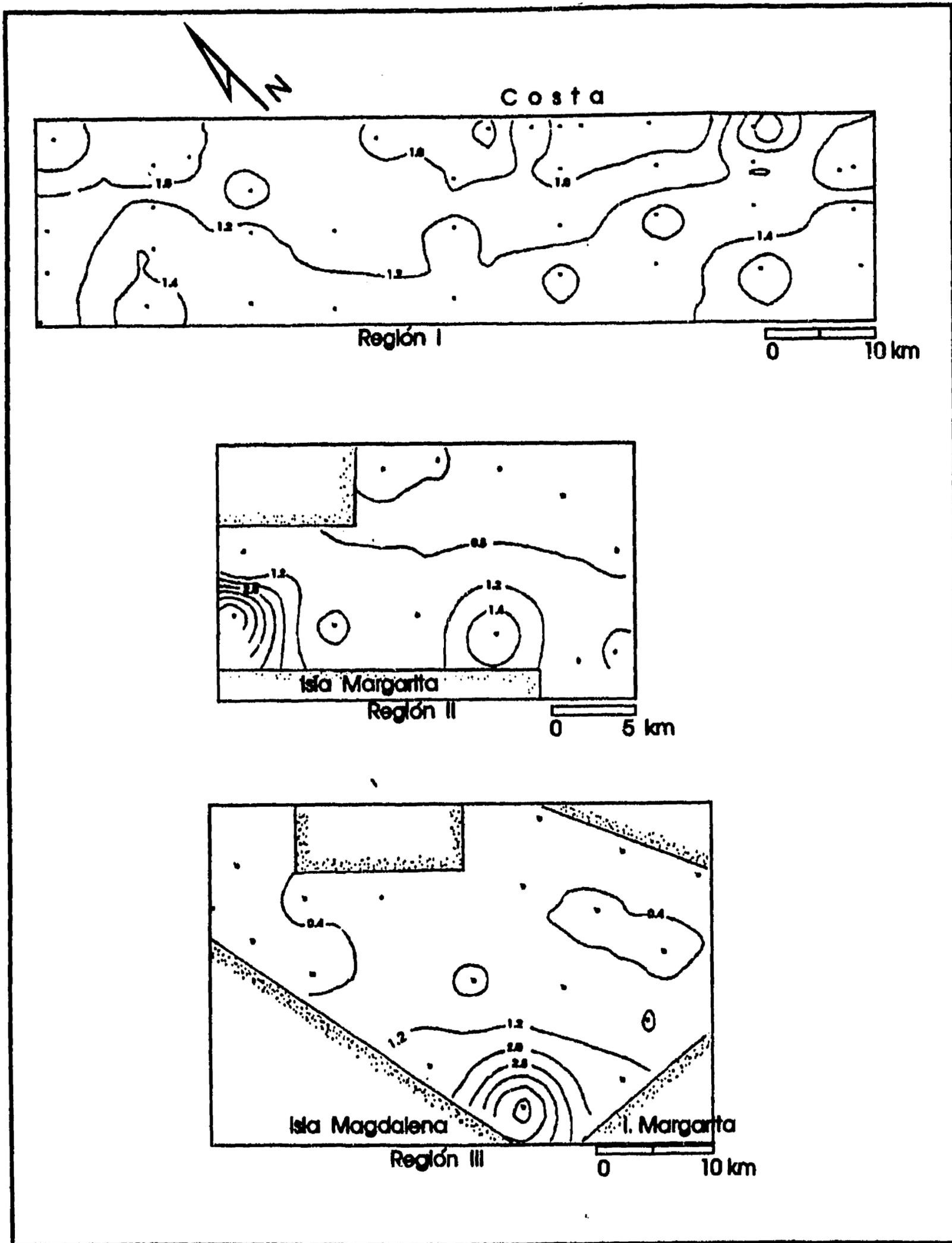


Figura 23. Isolíneas de concentración de fierro (%) en las regiones I, II y III. Para ubicación de las regiones referirse a la figura 7.

FALLA DE ORIGEN

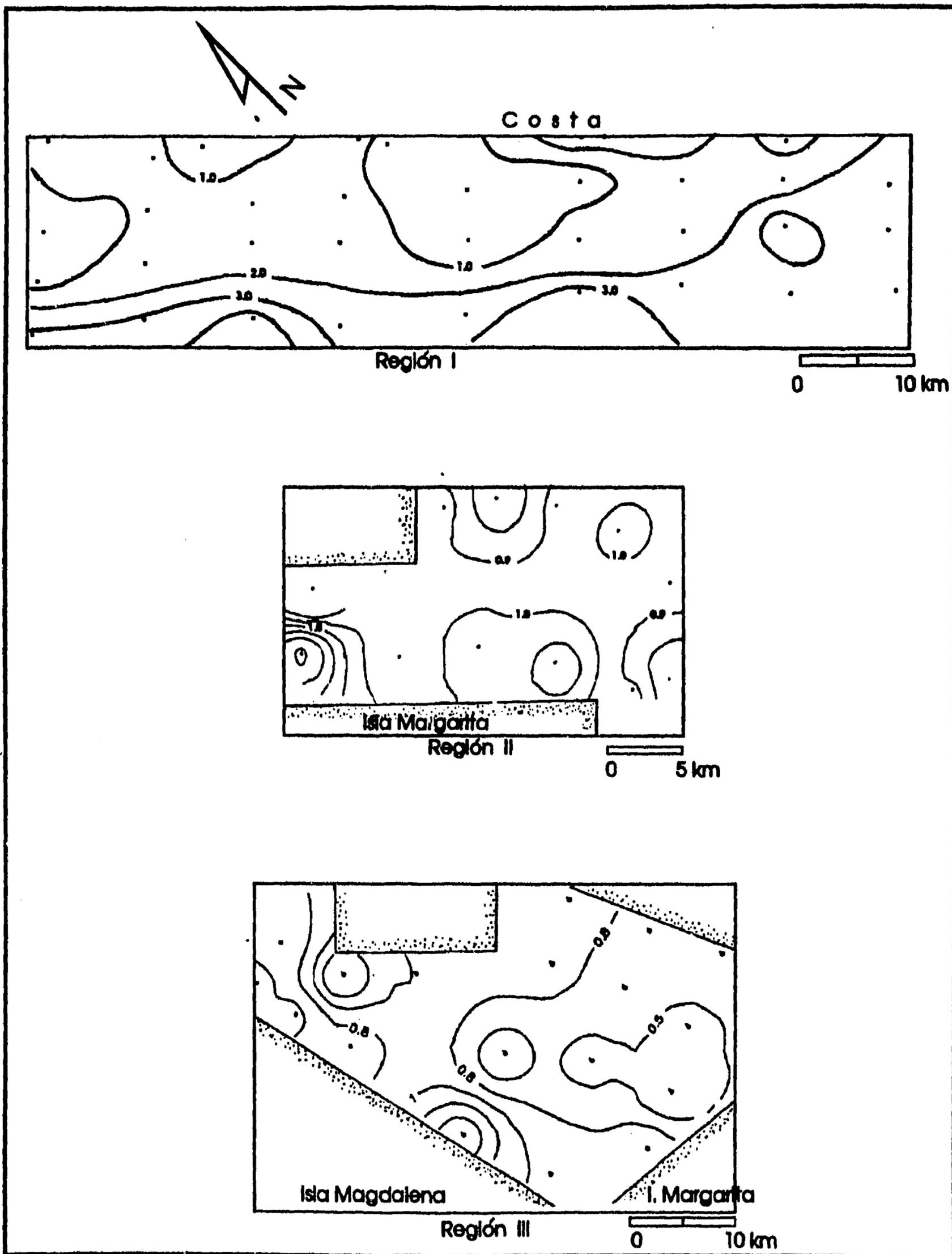


Figura 24. Isolíneas de concentración de cadmio (ppm) en las regiones I, II y III. Para ubicación de las regiones referirse a la figura 7.

FALLA DE ORIGEN

En el mapa de isolíneas de P (P_2O_5) de la región I, se observa que en general las concentraciones son mayores a 0.4%. Destaca en este mapa el registro de altos valores cercanos a la costa y, particularmente, asociados a las desembocaduras de los arroyos Colorado-San Hilario y Guadalupe-La Herradura. Es notorio un gradiente lateral de concentraciones que disminuye hacia afuera de esta área de influencia de descarga de los arroyos. Este comportamiento sugiere la posibilidad de que el material fosfático sea acarreado desde el continente como producto de la erosión de las formaciones terciarias que ahí afloran. Para el caso de los otros elementos en esta misma región (Fe y Cd) el comportamiento es distinto ya que el gradiente principal es paralelo a la costa aumentando las concentraciones hacia afuera de la misma.

En las regiones II y III las isolíneas de P muestran un aumento hacia la costa limítrofe con el continente (al norte y noreste de las lagunas) apuntando a posibles fuentes desde el continente, aunque a diferencia de la R-I, aquí no existen arroyos que desemboquen en el sistema lagunar. El Cd en las R-II y III denota los gradientes mayores hacia la margen costera con las islas en un patrón de distribución muy similar al Fe y hacia la margen contraria, sugiriendo dos direcciones de aporte de este elemento: una asociada a las rocas del complejo ofiolítico que suministran también Fe y otros metales, como se verá más adelante, y otra al continente probablemente asociado a material enriquecido en P.

Para la R-IV no se elaboraron mapas de isolíneas debido a que las estaciones están sobre una línea de muestreo, sin embargo de la tabla 5 se puede apreciar que de la estación 91 a la 96 se registran sistemáticamente los valores más altos de P y Cd. El Fe registró un valor muy alto sólo en la estación 96 donde se observa una alta concentración de minerales oscuros, muy probablemente asociado a un proceso de selección mecánica controlado por las corrientes de marea, las cuales actúan intensamente en esa localidad correspondiente al extremo de una barrera arenosa.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Como una etapa siguiente para la clasificación de los datos se graficaron las cargas de los factores (Factor Scores) (anexo 3), tratando de observar agrupaciones o afinidades entre los sitios de muestreo. En el diagrama de dispersión resultante (figura 25) se observa que las muestras de las rocas terciarias (sitios 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108), las continentales costeras (dunas recientes y arroyos) y las del margen costero con las islas (62, 64, 68, 69, 71, 76, 77, 84) se separan del agrupamiento principal.

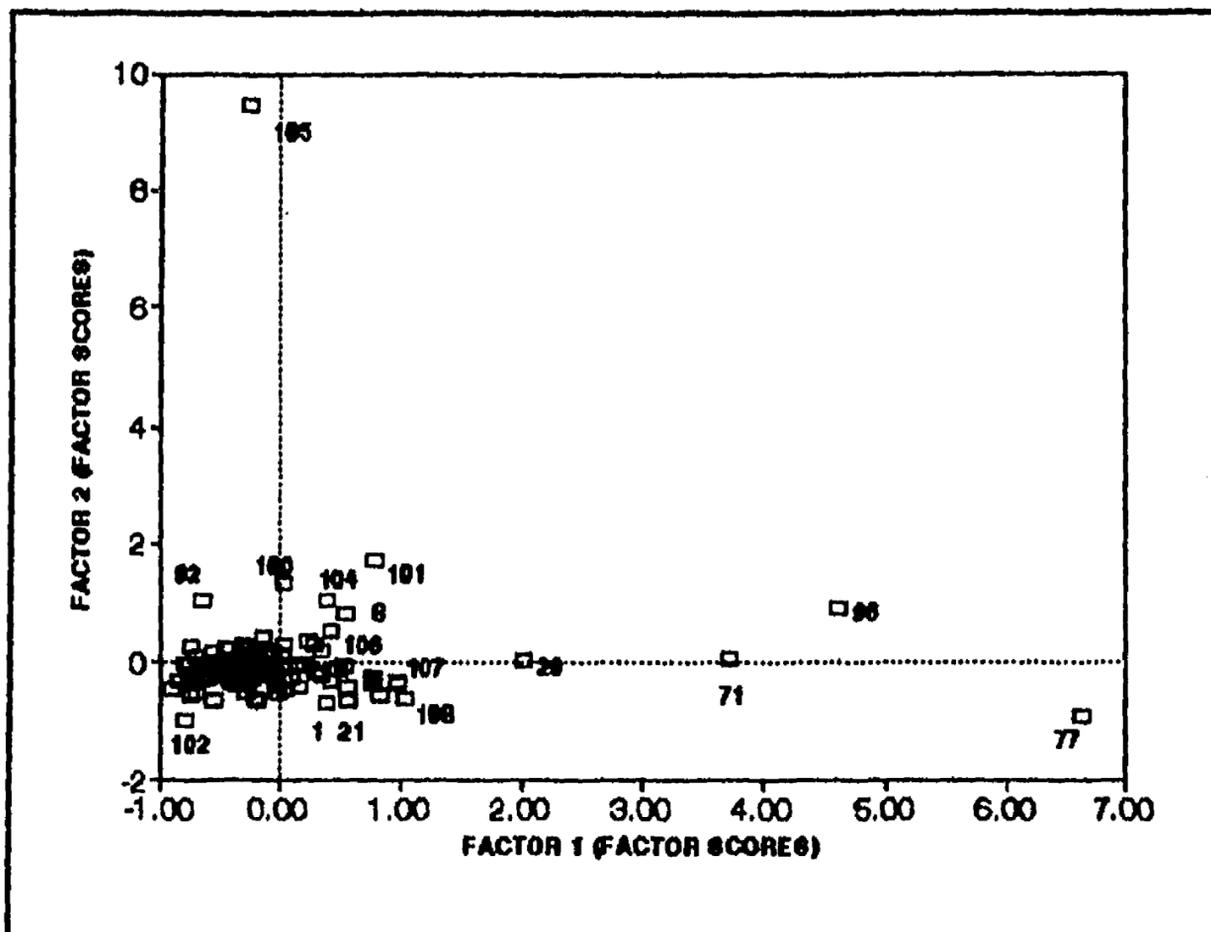


Figura 25. Diagrama de dispersión de los Factores 1 y 2 (Factor Scores) del Análisis de Factores para la totalidad de las muestras.

Con base en esta información se formó una matriz depurada de datos eliminando las muestras de los sitios más disímiles, obteniendo nuevos promedios de concentración para la matriz así obtenida.

La tabla 8 indica las concentraciones promedio de los datos totales y de los datos depurados. Se puede notar que las concentraciones promedio de Fe, Cr, Cu, Mn, Ni y V de los datos depurados disminuyeron en más del 20% respecto de los valores promedio de los datos totales y tanto de los mapas de isolíneas como de la tabla 5 es posible comprobar que los sitios con mayores niveles de estos elementos aparecen asociados a las muestras de sedimentos derivados de las rocas del complejo ofiolítico aflorante en las islas Margarita y Magdalena, por lo que a estos materiales se les puede considerar como la fuente principal de estos elementos en el área lagunar.

La matriz depurada de datos se volvió a procesar con Análisis de Factores (anexo 4) y se graficaron las cargas de los factores (Factor Scores) 1 y 2 (62.2 % de la varianza acumulada) (figura 26). De la figura 26 se infieren dos agrupamientos principales: uno constituido principalmente por las muestras de playa y plataforma de la R-I y las lagunares de la R-II; y otro constituido por las muestras de las R-III y IV donde se incluyen las muestras de rocas pre-holocénicas muestreadas en el extremo norte de la R-IV (muestras 98 y 99). Este dato sugiere fuertemente una afinidad geoquímica importante entre las rocas pre-holocénicas y los sedimentos lagunares, lo que lleva a una segunda conclusión de este estudio: las rocas pre-holocénicas y los sedimentos lagunares (depurados) de las R-III y IV forman un mismo grupo geoquímico.

Respecto a la edad de las rocas pre-holocénicas Maraver (1992) les asigna una antigüedad entre 18 000 y 20 000 años AP, como resultado de un fechado radiométrico con C^{14} , sin embargo el marco paleogeográfico de la región para ese tiempo debió corresponder a una línea de costa varias decenas de metros por debajo del nivel actual (Kennet, 1982). Burnett (1990) refiere una gran discrepancia entre los fechados realizados, para un mismo material fosfático, entre las técnicas del radiocarbono y de las series de U (Th^{230}/U^{234}), ya que mientras la primera técnica arroja edades

menores a 10 000 años AP, la segunda las ubica entre 30 000 y 100 000 años AP, para el material por él analizado. El mismo autor argumenta que este hecho puede ser explicado al considerar que las medidas radiométricas se hacen sobre mezclas ("compósitos") de masas fosfáticas de diferente edad, siendo cada técnica más "sensible" a unas que a otras; la de las series de U lo son a las más antiguas y la del radiocarbono a las más recientes. Esta interpretación pudiera aplicarse parcialmente al caso que nos ocupa ya que, según las evidencias de campo citadas en capítulos anteriores, dicha formación debe tener más de 20 000 años de antigüedad, es decir, se debió depositar cuando el sitio donde hoy se encuentra estuvo cubierto por el mar.

De la misma figura 26 es posible distinguir dentro del primer grupo antes definido aquellas muestras procedentes de las estaciones de mayor profundidad de la plataforma (de 40 a 100 m aproximadamente) de aquellas correspondientes a la plataforma más somera y a las playas. Por lo que al final de esta etapa del análisis de los datos podemos agrupar los datos granulométricos y geoquímicos en una nueva regionalización que comprende cuatro zonas:

A1) Zona de las lagunas bahía Magdalena y Soledad, correspondiente texturalmente a las arenas finas y arenas finas con lodos; A2) Zona de plataforma somera (menores a 30 m) y playas, correspondiente a las arenas muy finas; A3) Zona de plataforma de profundidades mayores a 40 m, correspondiente a los sedimentos de arena muy fina con lodos; y A4) La franja costera contigua a las islas Margarita y Magdalena, correspondiente a las arenas medias y gruesas.

Tabla 8.

Concentraciones promedio totales y de los datos depurados al separar la mayoría de las muestras continentales y las de la margen costera de las islas.

		Promedio total											
	MO	Ca	P	Fe	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	V	Zn
X	2.1	5.3	1.1	1.1	1.2	1.3	5.6	20	6.0	87	7.8	23	16.6
σ	1.4	3.9	0.8	0.9	1.3	0.7	3.0	22	7.3	108	14	30	9.6
		Promedio depurado											
X	2.2	4.8	1.2	0.8	1.1	1.3	4.7	13.3	4.5	52	3.9	15	14.4
σ	1.4	3.3	0.9	0.4	1.2	0.8	2.6	5.9	2.4	21	1.8	9	7.6

X= Promedio; σ = Desviación estándar; las concentraciones están en partes por millón (ppm), excepto para MO, Ca, P y Fe que son %.

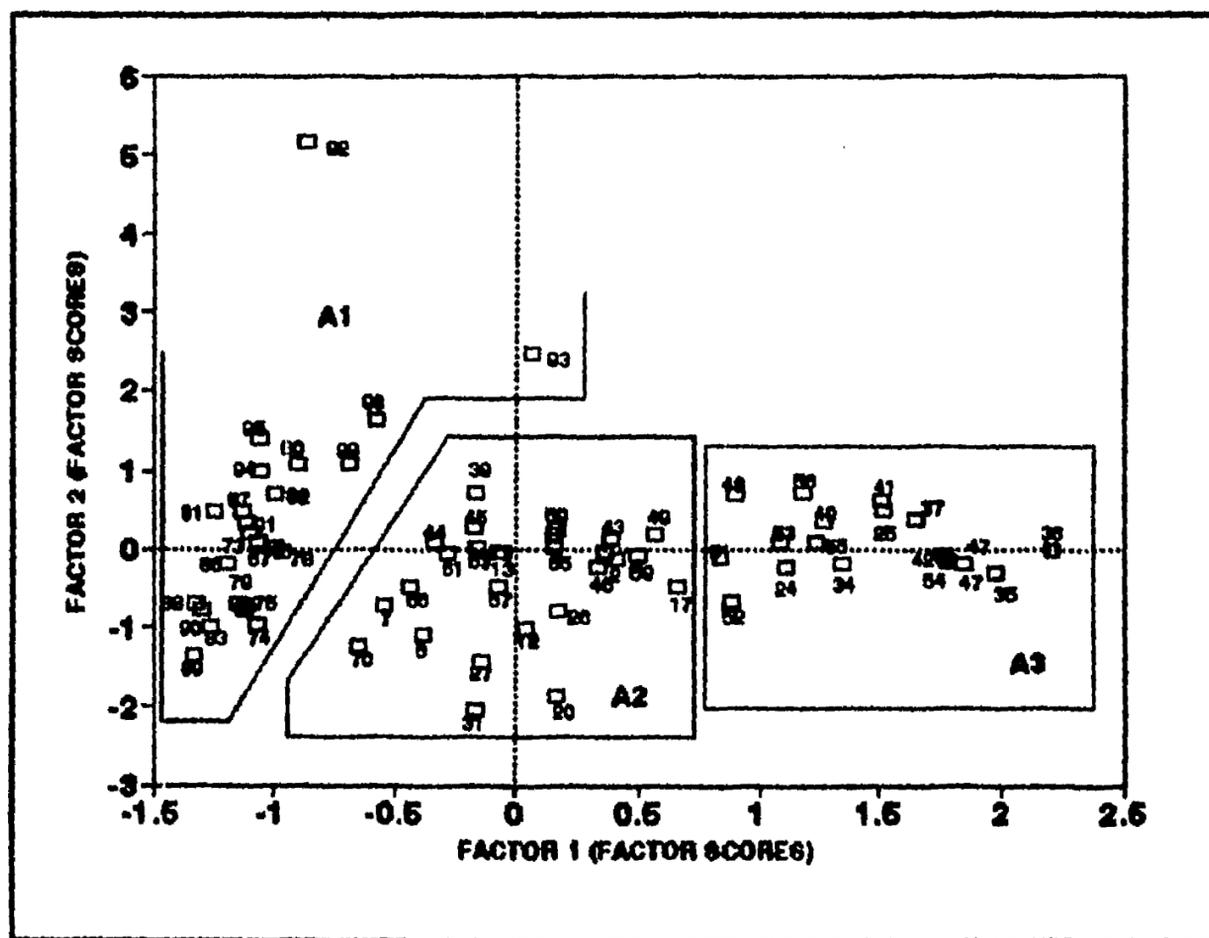


Figura 26. Diagrama de dispersión de los Factores 1 y 2 (Factor Scores) para las muestras depuradas. Se indican los nuevos agrupamientos: A1, incluye muestras lagunares; A2, muestras de playa y plataforma somera; y A3, muestras de plataforma de profundidades medias.

En la tabla 9 se muestran los datos geoquímicos agrupados de acuerdo a las zonas antes definidas pudiéndose distinguir algunas características de composición para cada una de ellas. De la zona A2 son notorios los niveles de concentración intermedios entre la zona A1 y A3 para materia orgánica, Ca, P, Fe, Cd, Co, Cu, Mn, V y Zn, es decir 10 de los 13 elementos analizados. Esto postula a la zona A2 como una fase de mezcla o transición entre las zonas A1 y A3.

Comparando las concentraciones promedio entre las zonas A1 y A3 se observan mayores niveles de metales en la segunda, junto con mayor concentración de materia orgánica total. Recordando que esta zona (A3) es la que texturalmente contiene más material de grano fino es sugerente la idea de que estos metales estén asociados con sedimentos limo-arcillosos y materia orgánica en forma de iones intercambiables, adsorbidos, floculados o precipitados como contribución o aporte hidrogénico a los sedimentos (Mayer y Fink, 1980; Osuna-López y Páez-Osuna, 1986; Páez-Osuna y Osuna-López, 1987). Desde el punto de vista de los propósitos de este estudio, la zona A1 aparece como la de mayor interés por el comportamiento de las concentraciones de fósforo, que además de ser las mayores en toda el área de estudio, muestran un patrón de distribución muy bien definido con gradientes regulares hacia la costa contigua al continente y hacia el norte.

Respecto a la Zona A4 se puede afirmar que representa una población de sedimentos textural y geoquímicamente bien diferenciable de las otras zonas por los niveles de concentración de los elementos analizados (los más altos, excepto para materia orgánica, P y Cd), aunque ninguno de ellos fuera de los intervalos señalados en los promedios mundiales descritos en la tabla 6. Particularmente cabe destacar que las concentraciones de Cr, Cu, Mn, Ni y V llegan a ser mayores hasta en un orden de magnitud respecto a las otras zonas.

Tabla 9.

Composición química promedio y su desviación estándar de acuerdo con la división por zonas A1, A2, A3 y A4.

	MO %	CaO %	P ₂ O ₅ %	Fe ₂ O ₃ %	Ag ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Mn ppm	Ni ppm	V ppm	Zn ppm
						Zona A1							
X	1.1	3.4	1.7	0.5	1.2	0.8	2.3	14.2	2.8	48.1	4.0	11.5	6.9
σ	0.6	3.3	1.2	0.2	0.6	0.4	1.1	7.2	0.9	21.0	1.8	9.8	2.2
						Zona A2							
X	2.1	4.5	1.0	0.9	0.9	1.1	4.9	11.6	4.0	51.5	3.1	15.2	16.0
σ	0.8	1.9	0.5	0.3	1.1	0.5	1.6	5.3	1.8	23.4	1.6	8.5	6.0
						Zona A3							
X	3.8	7.3	0.7	1.3	1.3	2.4	7.8	15.8	7.6	62.6	5.5	21.9	22.4
σ	1.4	3.8	0.4	0.2	1.9	0.7	2.0	3.2	1.6	14.2	1.1	5.2	4.6
						Zona A4							
X	3.5	12.2	0.4	2.0	2.2	1.1	9.3	73.5	18.3	263	48.2	39.1	25.1
σ	1.4	5.9	0.2	1.6	0.3	0.2	4.8	43.2	19.6	258	27.7	54.8	18.2

Una vez identificada la zona A1 como la de mayor importancia para los propósitos de este estudio, se procesaron nuevamente los datos correspondientes a las muestras de esta zona con la técnica antes empleada de Análisis de Factores. La matriz rotada Varimax y las cargas de los factores (Factor Scores) resultado de este análisis se presentan en la tabla 10 y la gráfica de los factores 1 y 2 (Factor Scores) en la figura 27. De la matriz rotada se determina que los elementos más importantes de este conjunto de sedimentos son Ca, P, Cd, Co y Cr definidos por el factor 1, y Fe, Mn y V definidos por el factor 2. De la figura 27 que ilustra la distribución de las cargas de los factores (Factor Scores) se pueden también delimitar dos subzonas: una correspondiente a las localidades de la porción norte de la zona A1 que incluye el extremo norte, la costa oriental de bahía Magdalena y la laguna Soledad, y otra que incluye la parte central de bahía Magdalena. En esta misma figura se aprecia nuevamente la similitud de las muestras de las rocas preholocénicas (98 y 99) con las muestras de la laguna Soledad tendiendo a disminuir esta influencia hacia el interior de bahía Magdalena.

Álvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995) demostraron, mediante una ecuación de regresión múltiple, que la relación entre algunos metales traza y el fósforo en fosforitas puede llegar a ser muy constante y de esta forma llegar a establecer el contenido de P a partir de la concentración de algunos metales pesados.

En base a esto y considerando los datos vertidos por la matriz Varimax rotada se hizo un análisis de regresión múltiple definiendo al P (P_2O_5 en %) como variable dependiente y Cd, Co y Cr (en ppm) como variables independientes. De este análisis resultó la ecuación:

$$P_2O_5(\%) = 0.601 + 1.28[Cd] + 0.25[Co] + 0.05[Cr] \dots \dots I$$

Tabla 10.

Resultados del Análisis de Factores aplicados a las muestras de la zona A1 (Matriz Rotada Varimax y Factor Scores).

Matriz Rotada Varimax		
Variable	Factor 1	Factor 2
MO	0.627	0.571
Ca	0.902	0.350
P	0.899	0.316
Fe	0.286	0.946
Ag	0.680	0.514
Cd	0.848	0.272
Co	0.849	0.275
Cr	0.808	0.508
Cu	0.655	0.356
Mn	0.275	0.909
Ni	0.613	0.600
V	0.402	0.867
Zn	0.525	0.801

Muestra	Factor Scores	
	Factor 1	Factor 2
67	0.272	-0.507
72	-0.385	0.217
73	-0.028	-0.118
74	-0.282	-0.938
75	-0.622	-0.503
78	-0.275	0.099
79	-0.436	-0.559
80	0.026	0.723
81	0.434	-0.621
82	0.933	-0.640
83	-0.783	-0.739
85	-0.396	-0.849
86	0.012	-0.606
87	0.401	-0.354
88	-0.554	-0.698
89	-0.643	-1.101
90	-0.645	-0.651
91	-0.158	-0.112
92	4.175	-0.233
93	0.655	2.590
94	-0.268	0.769
95	-0.216	0.867
98	-0.353	2.077
99	-0.871	1.890

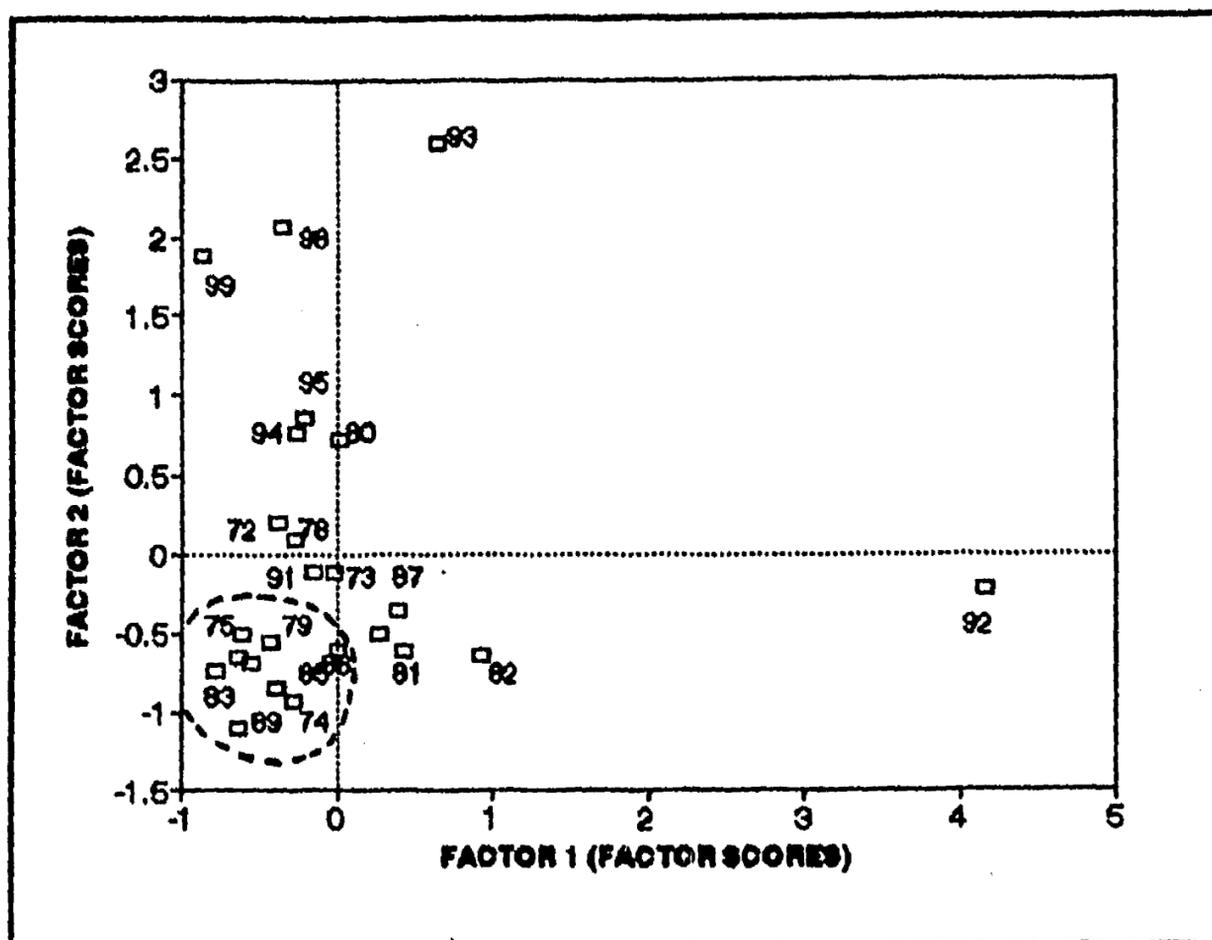


Figura 27. Diagrama de dispersión de los factores 1 y 2 (Factor Scores) para las muestras de la zona A1. Se encierran en un círculo aquellas muestras correspondientes a la parte central de bahía Magdalena.

En la figura 28 se muestra la relación entre los valores observados y los valores calculados ($R^2=0.95$) de fósforo de acuerdo a la ecuación (I) lo que hace a esta ecuación un buen modelo de relación entre el P y los metales pesados, arriba indicados, para los sedimentos de la región A1.

Cuando se aplicó este mismo análisis de regresión múltiple con las mismas variables para las regiones A2 y A3 se encontraron muy bajos valores de R^2 siendo éstos de 0.02 y 0.09 respectivamente, lo que denota asociaciones geoquímicas del P muy diferentes en estas otras regiones.

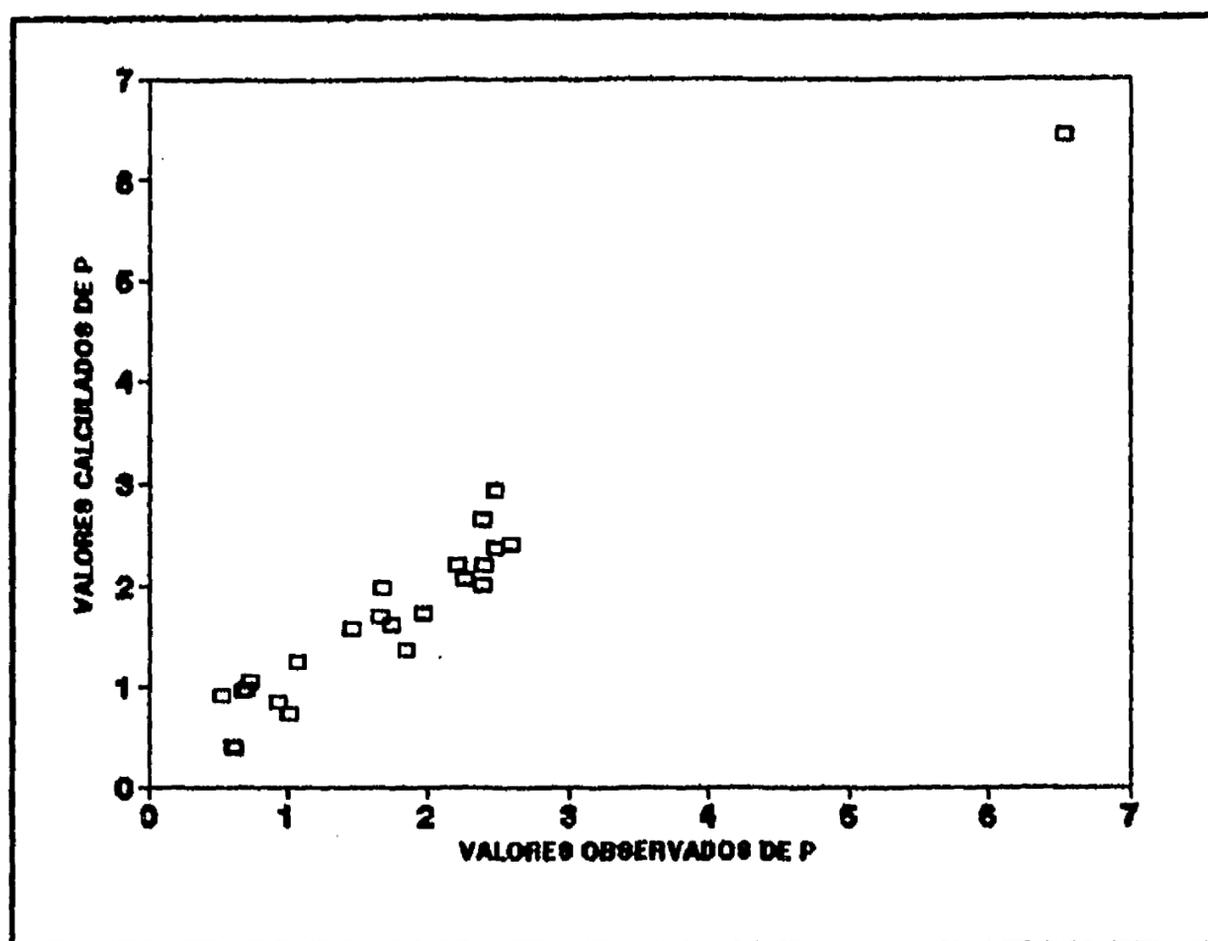


Figura 28. Relación entre los valores observados y calculados de concentración de P_2O_5 (en %) empleando el modelo de regresión ($R^2=0.95$) dado por la ecuación (I) (ver texto).

Al realizar un análisis de correlación entre los elementos analizados de la zona A1 (Tabla 11) se confirma la alta correlación que existe entre el P y los metales pesados. Particularmente en estos sedimentos con Cd, Co, Cr, Ag ($r > 0.800$) y, en menor medida, Fe, Cu, Mn, Ni, V y Zn. Es notoria la buena correlación en general entre todos los metales.

La asociación del P con metales pesados en ambientes marinos ha sido discutida ampliamente y se relaciona con la alta capacidad de intercambio de la trama cristalina de la apatita así como a otras propiedades cristaloquímicas (Altschuler, 1980; Kolodny, 1981; Alvarez-Arellano y Páez-Osuna, 1995).

Para las otras zonas (A2 y A3) las correlaciones del P con los metales pesados no son significativas lo que sugiere una fuerte dilución con otros sedimentos terrígenos. Esto es congruente con el hecho de que es hacia estas zonas donde desemboca casi el 50% de la descarga sedimentaria proveniente desde el continente del área de estudio.

Tabla 11.

Matriz de correlación entre los elementos analizados de la zona A1.
(Se señalan solamente los índices para una P = 99.0; n=24)

	Ca	P	Fe	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	V	Zn
Ca	1	.876	.591	.780	.816	.860	.889	.702	.546	.793	.643	.750
P		1	.567	.826	.929	.832	.933	.607	.581	.668	.671	.714
Fe			1	.670	-	-	.718	-	.925	.755	.938	.893
Ag				1	.778	.677	.786	-	.702	.528	.744	.766
Cd					1	.677	.854	-	-	.640	.586	.689
Co						1	.817	.634	.529	.659	.585	.666
Cr							1	.635	.699	.789	.799	.814
Cu								1	-	.723	.561	.606
Mn									1	.635	.886	.870
Ni										1	.721	.802
V											1	.867
Zn												1

COMPOSICION QUIMICA POR INTERVALO DE TAMAÑO

Se realizó el análisis químico de los sedimentos en los intervalos de tamaño de grano centrados en 4.5 ϕ (0.044 μm), 3.5 ϕ (0.088 μm), 2.5 ϕ (0.17 μm), 1.5 ϕ (0.35 μm) de las muestras 13, 24, 42, 43, 44, 48, 49, 64, 66, 71, 72, 77, 78, 79, 80, 89, 90, 94, 96, 98. Este conjunto de muestras es representativo de las cuatro regiones en que se dividió originalmente el área de estudio (R-I, II, III, IV). Las determinaciones se realizaron para detectar si había una tendencia de los elementos a concentrarse en determinado tamaño de partículas.

Los resultados se muestran en la tabla 12, mismos que se graficaron en las figuras 29, 30, 31, 32, 33 y 34 teniendo como abcisas los puntos medios de los intervalos ϕ y como ordenadas las concentraciones encontradas de los elementos analizados. Considerando los resultados parciales del estudio textural y geoquímico que llevaron a una división por zonas (A1..A4), se realizaron las figuras citadas haciendo grupos de muestras. En uno se incluyen los sitios 24, 43, 48, 64, como representativos del ambiente de plataforma y en otro los sitios 71, 77, 79, 89, 94 y 98, como representativos del ambiente lagunar. Para esos sitios se ilustran las concentraciones de Ca, P, Fe, Cd, Cr y V.

El Ca tiende a acumularse en las fracciones de grano grueso (1.5-0.5 ϕ), lo que confirma que las concentraciones altas de este elemento están asociadas principalmente a bioclastos calcáreos (Figura 29).

El P tiende a acumularse en la fracción de arenas de grano muy fino (3.5 ϕ) en la R-I y en las fracciones de arenas de grano muy fino y fino (3.5 y 2.5 ϕ) en las R-III y IV; en las muestras 94 y 98 se aprecian cantidades importantes de P aún en la fracción de arenas medias. Este comportamiento verifica que el P se asocia a la fracción detrítica arenosa con un gradiente hacia la parte norte, donde se encuentran los fragmentos detritales fosfáticos mayores (Figura 30).

TABLA 12.

Composición química de los sedimentos según su intervalo de tamaño.

Muestra y fracción (en micras)	CaO %	P ₂ O ₅ %	Fe ₂ O ₃ %	Ag ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Mn ppm	Ni ppm	V ppm	Zn ppm
Muestra 13												
62-125	7.29	7.96	2.53	4.7	5.9	11.0	67.0	8.3	265	12.0	59.3	32.5
125-250	2.44	1.13	0.46	1.7	1.0	3.5	9.8	4.1	31	4.9	15.0	8.5
250-500	4.55	0.22	0.32	2.1	0.8	3.8	5.8	5.7	22	3.9	11.8	7.0
Muestra 24												
62-125	4.94	4.59	1.12	2.2	3.4	5.7	36.6	7.3	94	9.8	28.4	19.0
125-250	2.06	0.79	0.49	1.3	0.9	2.5	10.1	4.3	29	4.7	10.4	8.8
250-500	4.85	0.29	0.66	1.6	0.8	6.1	5.5	6.9	39	4.4	9.2	11.8
Muestra 42												
< 62	3.96	0.54	1.32	1.5	3.4	6.5	18.1	13.3	74	11.2	21.8	19.9
62-125	3.04	0.77	0.99	1.8	4.2	5.1	19.1	8.0	49	9.2	13.1	28.1
Muestra 43												
< 62	4.11	0.91	1.21	1.8	1.4	5.5	20.0	19.3	74	6.8	24.5	22.8
62-125	3.43	1.94	0.79	1.7	1.5	5.1	21.1	5.6	45	7.8	7.3	13.8
125-250	2.97	1.03	0.67	1.5	1.2	3.6	13.1	5.3	29	5.9	8.2	11.7
250-500	4.81	0.37	0.73	1.3	0.9	4.7	10.3	4.7	27	7.3	11.1	11.4
Muestra 44												
< 62	3.67	1.26	1.46	1.4	1.6	8.0	27.5	28.7	83	8.6	35.5	21.5
62-125	4.44	3.21	0.83	1.4	2.5	6.2	27.6	6.2	62	7.0	19.4	15.2
125-250	2.16	1.25	0.57	0.7	0.9	3.5	13.6	4.4	31	4.7	8.4	9.5
250-500	2.08	0.37	0.51	1.2	1.1	4.3	6.7	4.5	22	5.1	5.5	7.7

Continúa

Continúa tabla 12

Muestra 48												
< 62	3.66	0.86	1.11	1.2	3.6	5.6	18.8	13.6	64	10.0	17.4	23.3
62-125	3.28	1.84	0.72	1.6	3.1	5.1	21.5	6.2	47	10.0	10.5	21.6
125-250	3.67	1.36	0.48	0.8	2.7	4.4	16.6	5.5	27	5.8	10.8	12.1
250-500	12.35	0.59	0.64	1.5	2.4	7.0	17.9	8.1	27	12.1	10.5	14.6
Muestra 49												
< 62	3.70	0.66	1.51	0.9	1.5	6.5	19.6	13.6	80	10.5	24.7	24.2
62-125	3.65	2.34	0.89	0.8	1.8	4.6	24.3	6.2	54	7.1	15.0	17.6
125-250	2.92	1.26	0.63	0.7	1.4	4.3	12.3	4.9	31	4.8	11.1	12.8
250-500	2.35	0.35	0.58	0.6	0.4	3.6	6.0	5.2	24	3.8	7.6	10.8
Muestra 64												
< 62	1.81	0.41	1.26	0.9	1.7	6.2	78.3	51.1	56	40.2	10.7	23.6
62-125	1.24	0.91	0.72	0.3	0.6	3.3	67.4	5.6	40	24.3	5.6	9.0
125-250	2.39	0.41	1.77	0.7	1.1	9.0	123.7	7.9	82	87.4	12.1	15.6
250-500	9.96	0.21	3.32	1.6	1.6	15.7	170.6	10.8	121	138.0	18.9	28.2
Muestra 66												
62-125	1.58	1.34	0.55	0.7	1.0	3.9	13.4	7.0	29	4.8	8.4	9.1
125-250	1.34	1.11	0.39	0.6	1.0	3.3	9.4	4.8	17	3.9	7.2	6.5
250-500	2.92	1.27	0.74	1.4	1.1	4.3	13.3	8.6	32	7.2	9.8	12.2
Muestra 71												
62-125	4.99	0.77	1.01	0.7	0.9	7.5	73.4	196.4	94	34.2	3.3	46.5
125-125	12.36	1.01	1.31	1.2	1.3	8.9	92.5	62.3	141	40.7	21.2	30.3
250-500	14.52	0.36	2.26	1.4	1.0	16.8	118.7	18.2	375	68.3	38.3	29.8
> 500	7.81	0.18	3.11	1.6	1.0	18.7	120.3	20.1	875	88.3	48.1	39.0

Continúa

Continúa tabla 12

Muestra 72												
62-125	1.82	1.56	0.49	0.6	0.6	2.4	15.9	5.8	63	4.3	11.2	6.9
125-250	1.33	1.36	0.22	0.3	0.4	3.4	11.5	4.6	19	2.6	4.5	3.9
250-500	3.54	3.39	0.23	0.5	0.8	3.4	18.7	9.3	25	4.0	11.1	6.1
Muestra 77												
62-125	3.30	0.36	5.62	0.9	0.6	20.0	23.0	74.5	581	23.5	99.6	68.4
125-250	4.04	0.28	5.08	0.9	0.6	19.8	20.5	71.5	451	22.0	78.2	59.2
250-500	6.15	0.21	4.71	0.9	0.8	19.7	17.2	61.8	584	20.8	63.0	52.8
> 500	15.44	0.13	3.08	1.2	0.8	14.5	11.4	37.9	426	18.2	45.4	48.2
Muestra 78												
62-125	1.74	1.13	0.46	0.4	0.8	3.7	16.3	6.6	38	8.3	8.5	7.0
125-250	1.70	1.12	0.29	0.3	0.4	3.9	12.5	6.5	22	6.7	6.5	5.1
Muestra 79												
62-125	0.76	0.81	0.17	0.3	0.1	-	3.9	6.9	20	4.4	5.0	3.7
125-250	0.94	0.92	0.28	0.2	0.2	2.6	14.9	6.2	25	5.0	10.2	5.8
Muestra 80												
62-125	1.39	1.31	0.33	0.4	0.4	4.0	11.3	5.5	38	5.3	9.4	5.3
125-250	2.22	2.37	0.24	0.6	0.5	2.4	13.3	4.6	25	5.4	11.3	4.6
250-500	3.76	4.13	0.26	0.9	1.1	4.5	19.5	6.2	22	6.5	13.5	5.9
Muestra 89												
62-125	1.54	1.41	0.37	0.6	0.3	4.2	13.5	15.7	36	5.7	8.7	9.6
125-250	0.46	0.52	0.15	0.2	0.1	2.9	4.5	6.2	12	4.3	8.0	8.5
Muestra 90												
62-125	1.87	1.74	0.54	0.8	0.8	3.6	15.1	16.6	56	7.2	14.5	10.1
125-250	0.75	0.72	0.14	0.3	-	1.7	6.8	5.4	14	3.6	7.4	3.0

Continúa

Continúa tabla 12

Muestra 94													
62-125	3.75	3.04	1.43	0.7	1.4	6.9	37.3	14.3	226	10.5	32.1	18.5	
125-250	2.15	1.99	0.38	0.6	1.1	4.3	13.0	4.7	24	5.9	13.5	5.8	
250-500	2.94	2.29	0.44	0.8	0.7	3.7	15.0	10.9	33	6.2	13.8	7.3	
Muestra 96													
62-125	1.32	0.74	4.36	0.3	0.4	12.8	53.3	7.5	282	13.6	110.3	42.2	
125-250	4.86	4.53	3.45	1.1	1.7	12.1	65.3	8.2	217	15.7	84.1	35.6	
Muestra 98													
62-125	1.25	1.19	1.47	0.9	5.3	6.4	22.6	10.4	83	6.6	31.0	24.1	
125-250	2.07	2.01	0.54	0.7	5.1	4.7	15.7	6.8	37	5.4	17.3	20.5	
250-500	4.25	4.66	0.55	0.9	1.2	5.2	27.1	9.2	41	6.5	24.2	21.7	

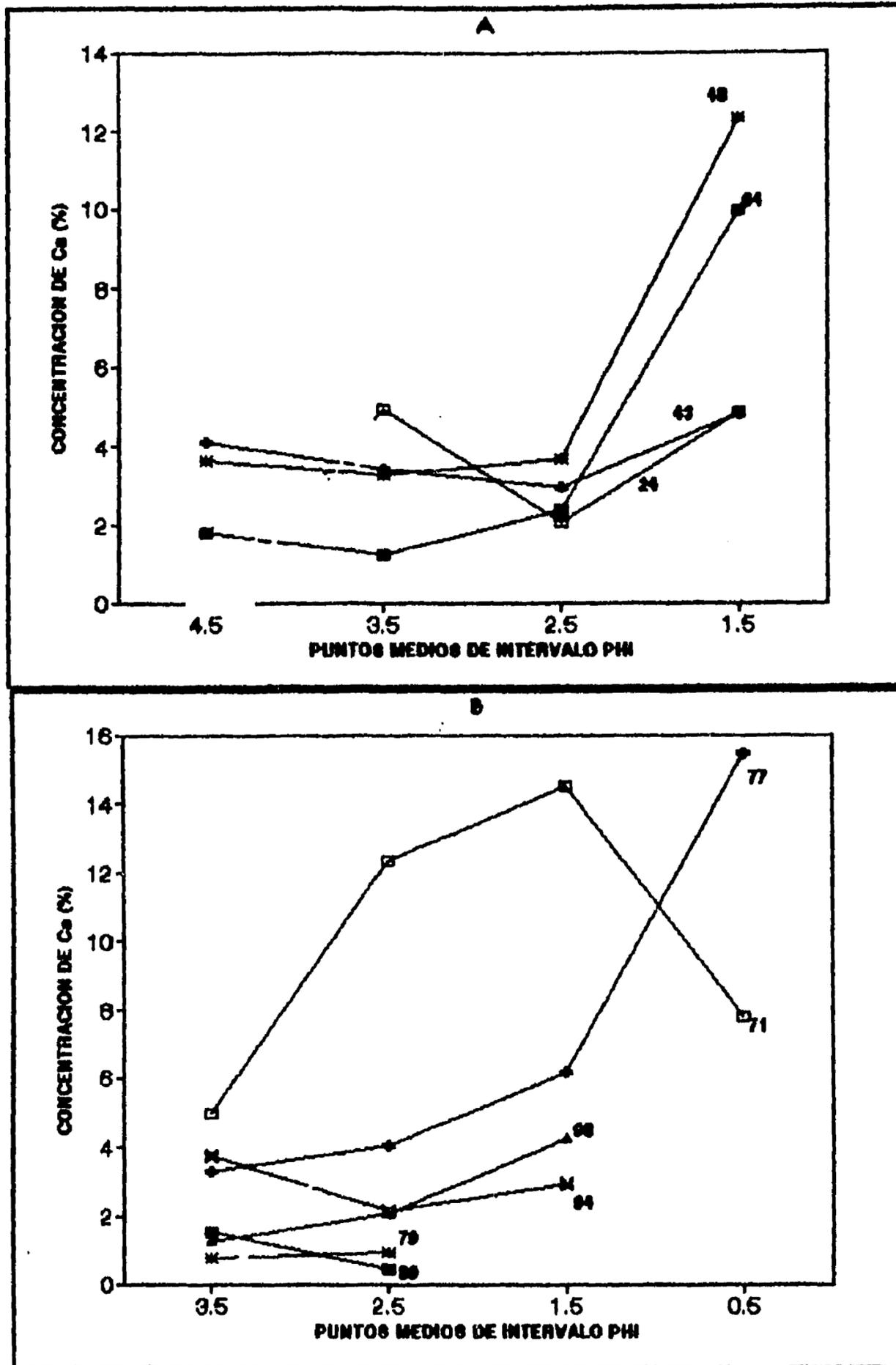


Figura 29. Concentración de Ca por intervalo de tamaño de grano en sedimentos de plataforma (A) y lagunares (B). Se indica el número de muestra.

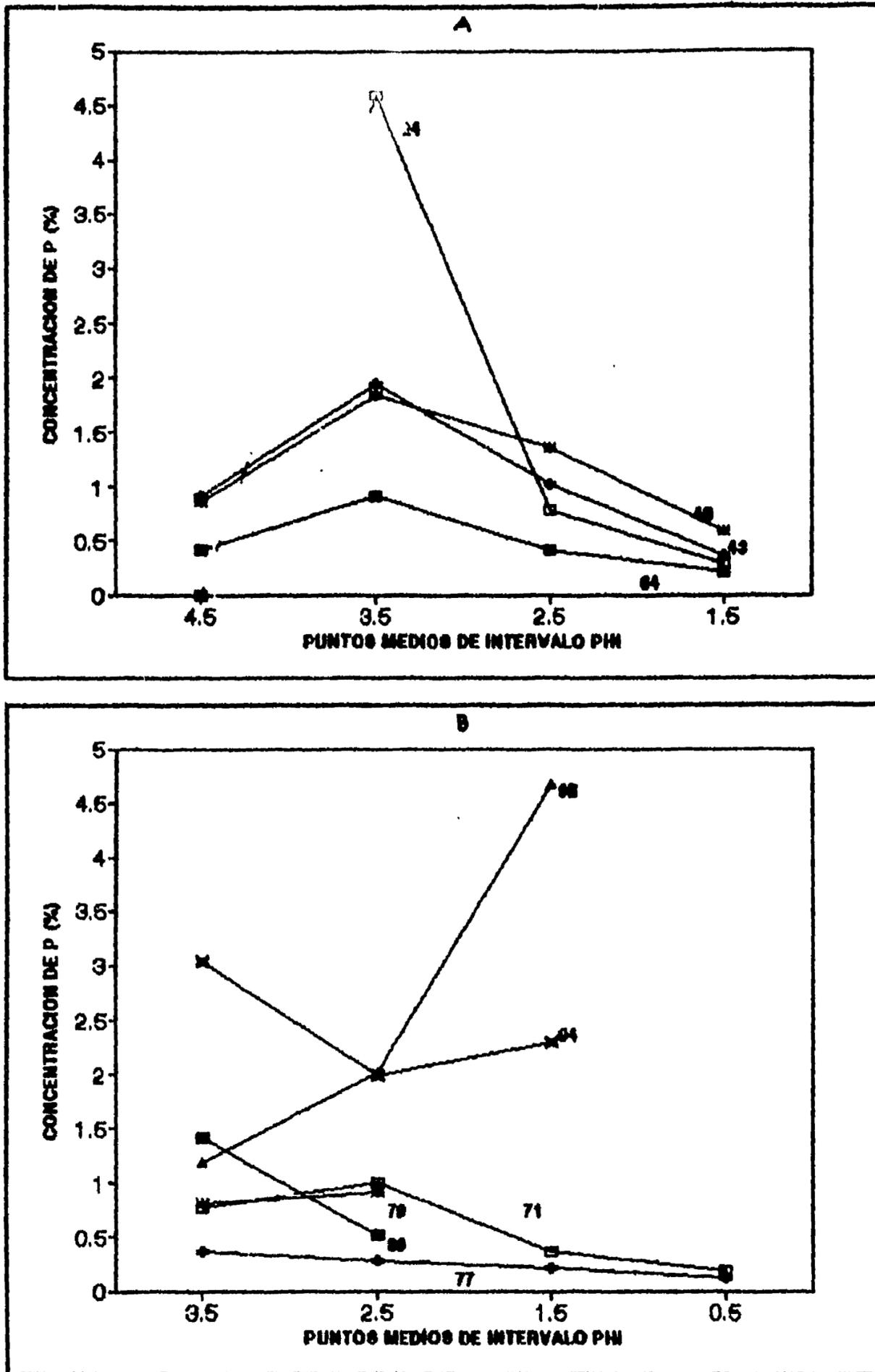


Figura 30. Concentración de P_2O_5 por intervalo de tamaño de grano en sedimentos de plataforma (A) y lagunares (B). Se indica el número de muestra.

El Fe, Cd, Cr y V en la R-I se asocian con la fracción de grano fino (4.5 ϕ), lo que robustece el planteamiento realizado antes de que estos metales en la zona de plataforma pueden ser considerados como de fuente hidrogénica por floculación, precipitación, adsorción o intercambio iónico con materia orgánica y limo-arcillas depositados en el fondo marino más profundo del área de estudio.

En las R-II, III y IV los niveles más altos de Fe, Cr y V se asocian a muestras ubicadas en la margen con las islas lo que confirma que su fuente principal son los sedimentos procedentes de las rocas metamorfizadas (complejo filolítico).

En estas mismas regiones el Cd revela dos fuentes de procedencia, una asociada a arenas finas y muy finas de muestras de sedimentos fosfatizados (98 y 94), y otra a arenas finas y medias de material influido por rocas metamórficas (71 y 77) (Figuras 31, 32, 33, 34).

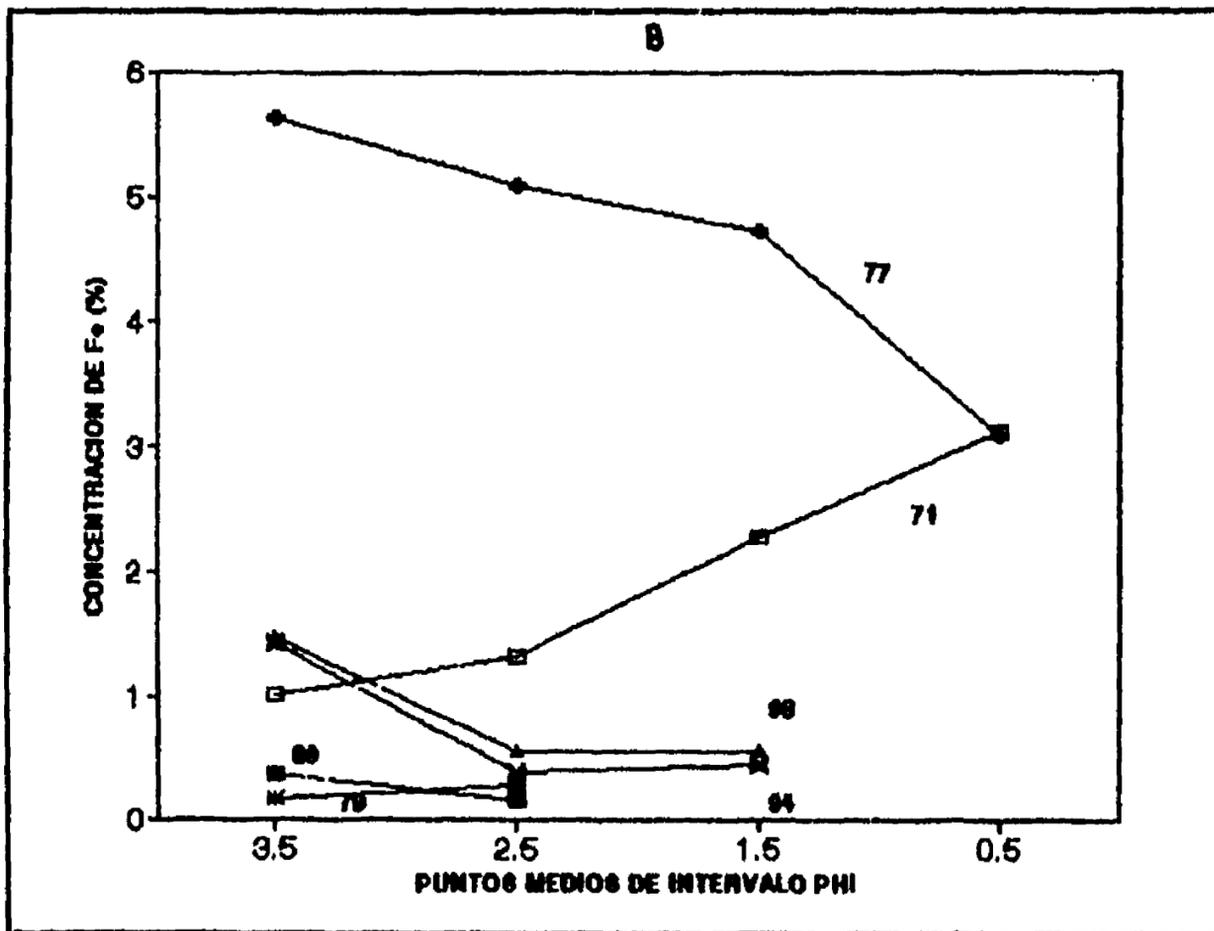
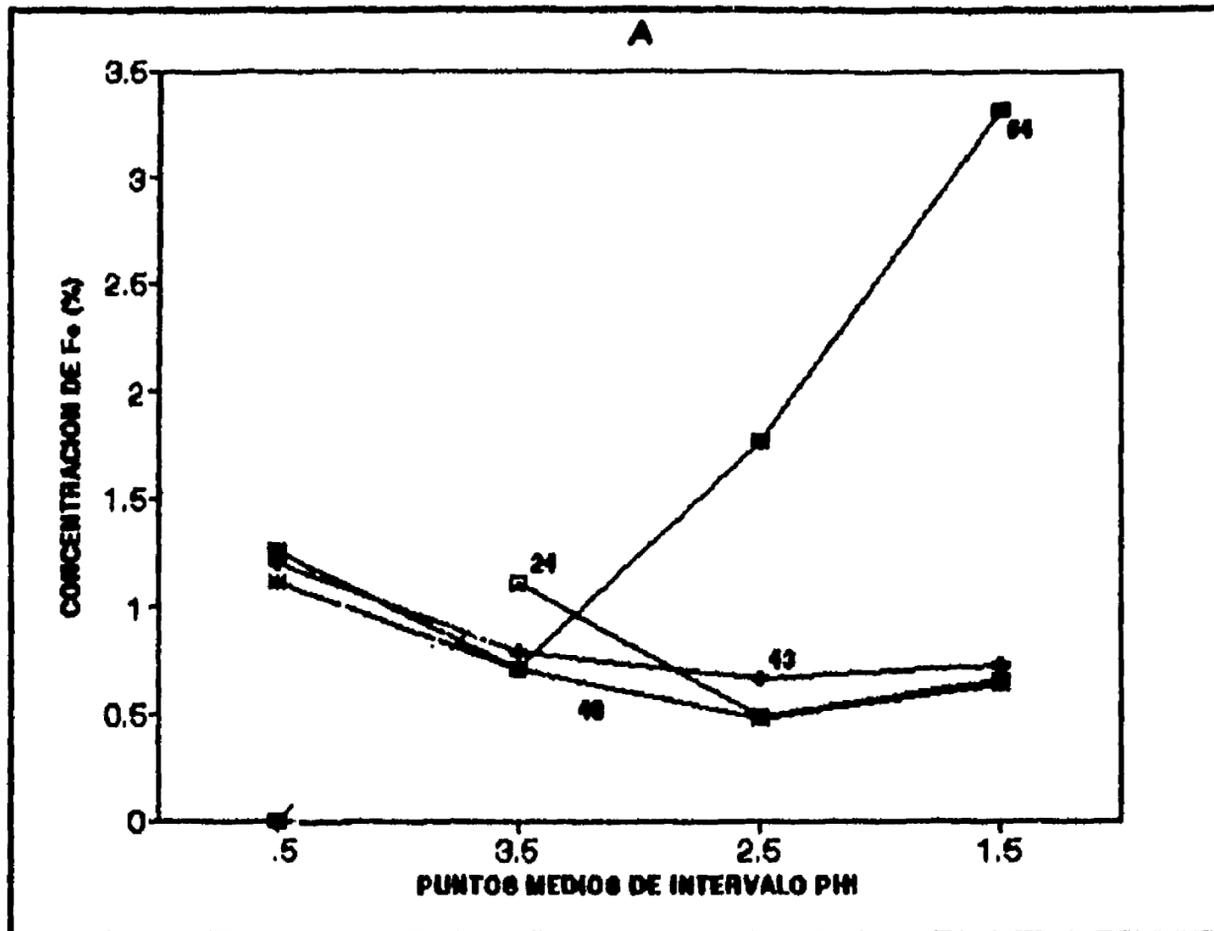


Figura 31. Concentración de Fe por intervalo de tamaño de grano en sedimentos de plataforma (A) y lagunares (B). Se indica el número de muestra.

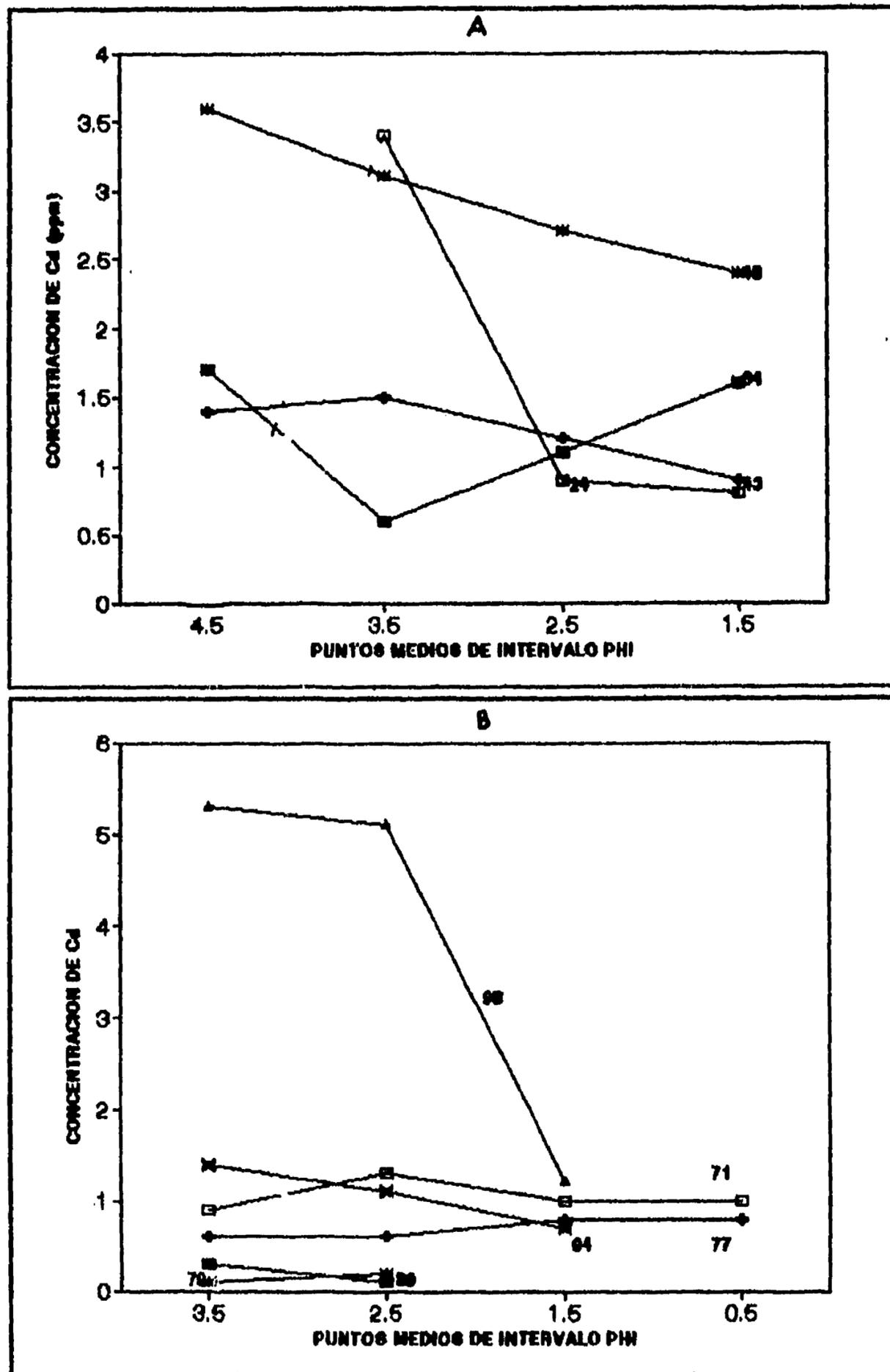


Figura 32. Concentración de Cd por intervalo de tamaño de grano en sedimentos de plataforma (A) y lagunares (B). Se indica el número de muestra.

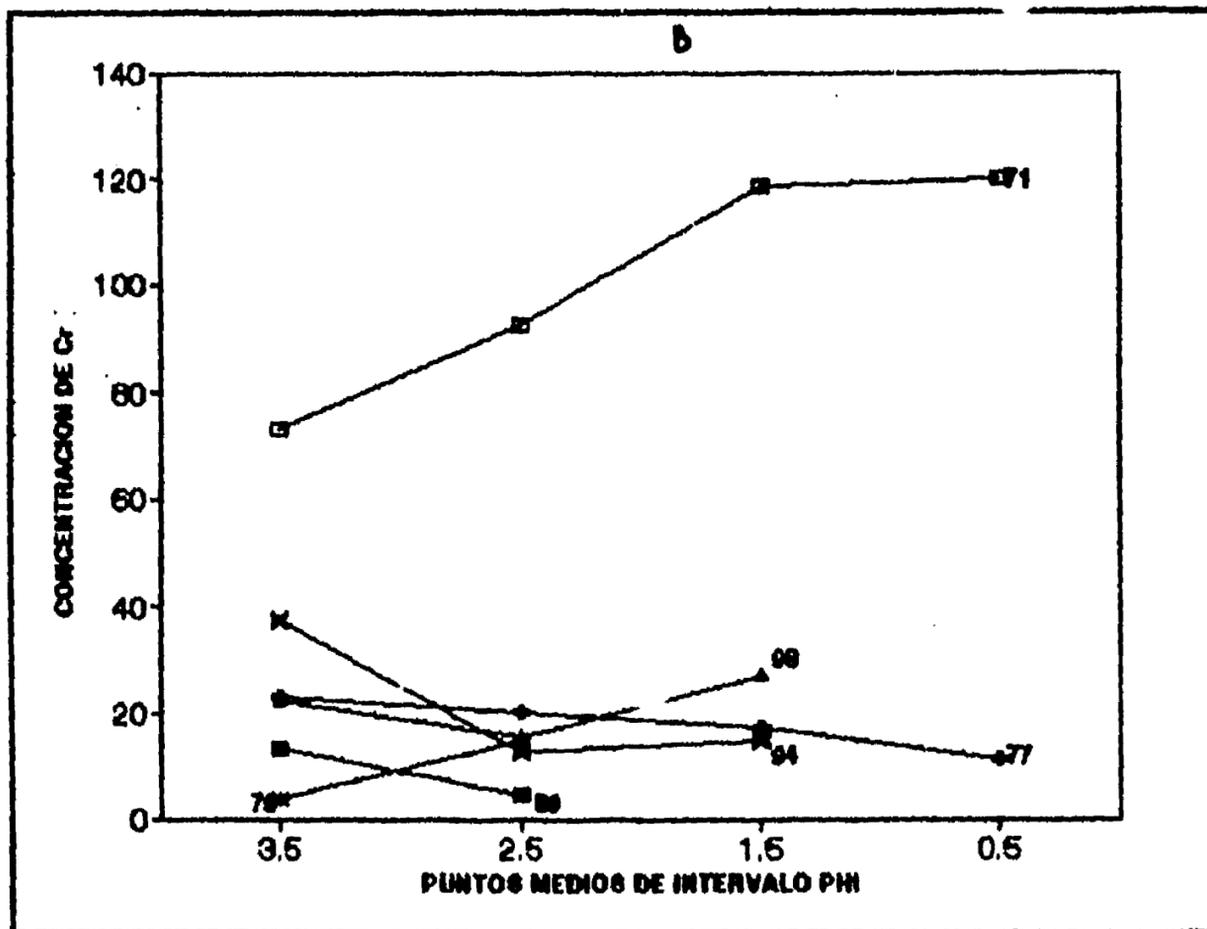
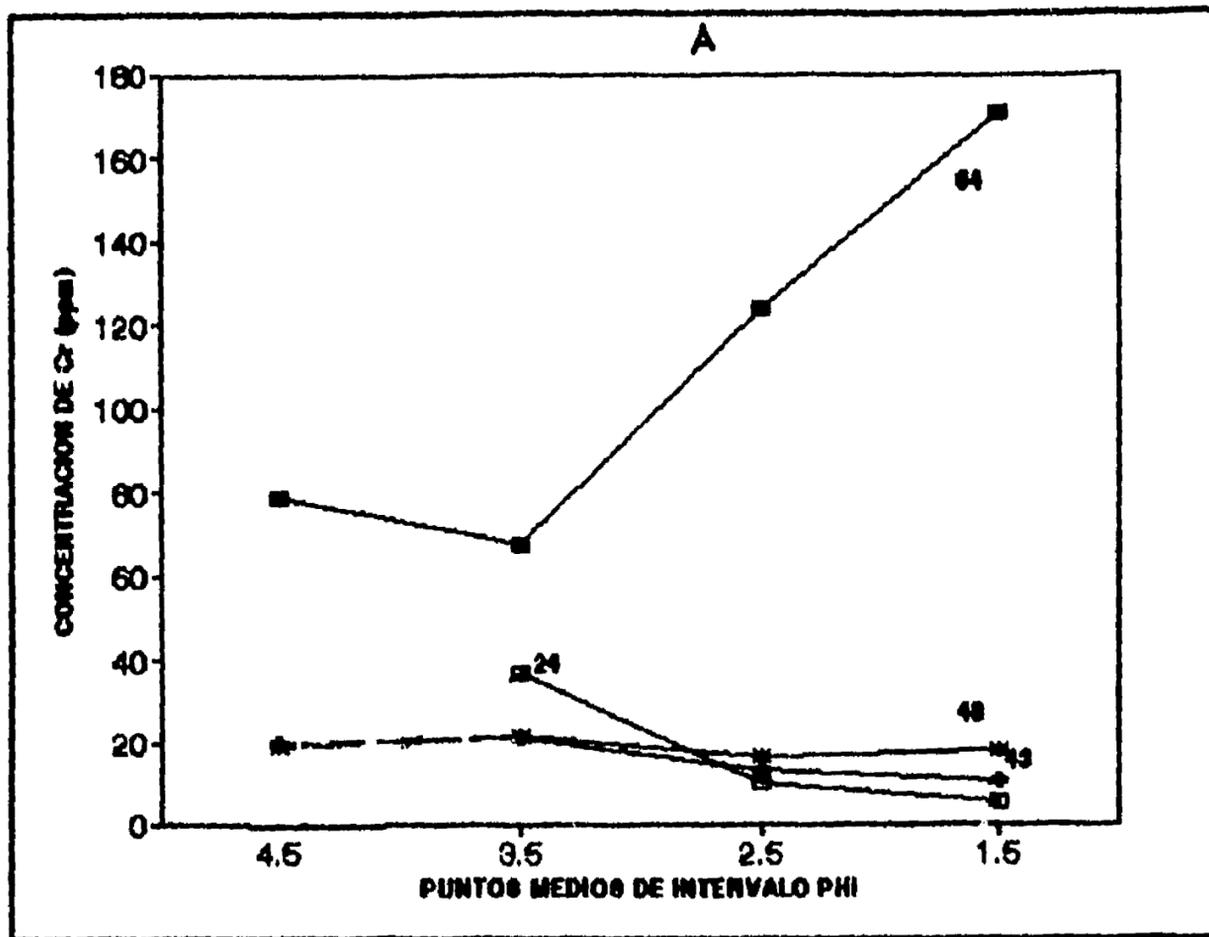


Figura 33. Concentración de Cr por intervalo de tamaño de grano en sedimentos de plataforma (A) y lagunares (B). Se indica el número de muestra.

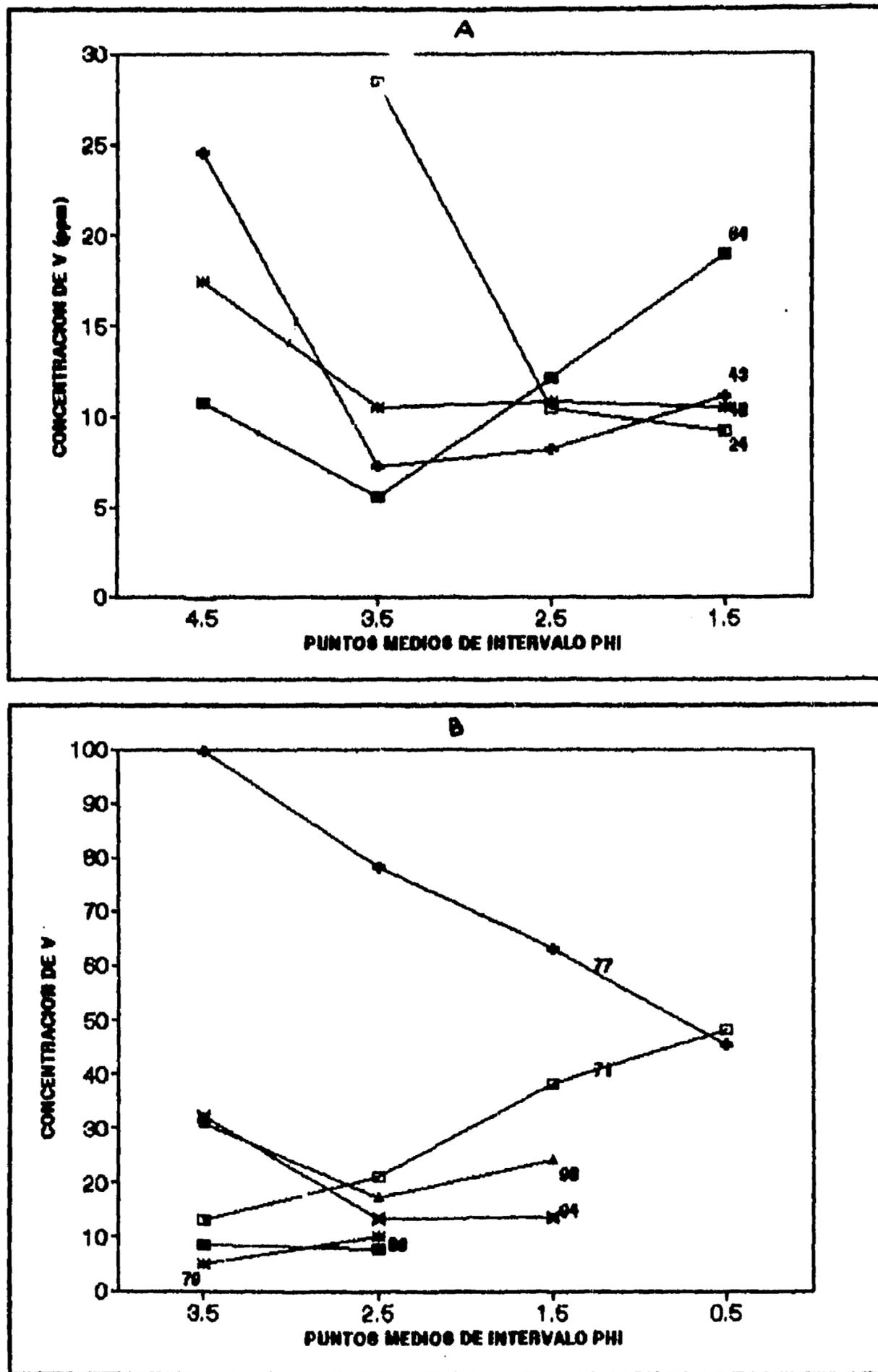


Figura 34. Concentración de V por intervalo de tamaño de grano en sedimentos de plataforma (A) y lagunares (B). Se indica el número de muestra.

COMPOSICION DE CONCENTRADOS SEDIMENTARIOS

Según el procedimiento indicado en el capítulo de **Metodología** se elaboraron concentrados de minerales pesados en los sedimentos de las muestras 8, 19, 80, 87, 92, 96 y 98 usando bromoformo ($G=2.9$), para flotar y eliminar los minerales ligeros (cuarzo y feldespatos) y un imán para eliminar la magnetita. Todo ello con el propósito de disminuir el efecto de dilución de los metales pesados producido por los minerales ligeros y la magnetita y analizar así principalmente la composición química de las masas fosfáticas que se concentran en este procedimiento debido a la alta densidad de la apatita ($G=3.2$). En la selección de estas muestras se trató de no incluir aquellas que mostraron contribuciones hidrogénicas o metamórficas de metales, ya identificadas por los análisis previos. Los resultados se muestran en la Tabla 13.

El P así como todos los metales aumentaron su concentración en órdenes de magnitud que van desde 2 hasta 10 veces. El Fe, Mn, V y Zn son de los elementos que menos aumentaron. El Ca, P y el resto de los metales pesados en general aumentaron más de cinco veces. Con esto parece confirmarse que la mayoría de los metales pesados en estos sedimentos están asociados a la apatita, que como se verá más adelante fue la especie mineral identificada como constituyente importante de los sedimentos. El Fe, Mn, V y Zn al no aumentar tan apreciablemente podemos suponerles una fuente distinta, probablemente más asociada a los minerales ferromagnesianos y/o residuos de Magnetita que no fueron totalmente eliminados.

Al comparar también los resultados obtenidos tanto de las muestras concentradas como de las no concentradas de este estudio con la composición de sedimentos fosfáticos de otras localidades (Tabla 14) se aprecia que los sedimentos del área de estudio (sin concentrar), aún cuando sus niveles de fósforo son altos respecto a los promedio mundiales de las areniscas, son por lo menos un orden de magnitud más bajos que los reportados para fosforitas

Tabla 13.

Composición química de muestras concentradas.

Muestra	CaO %	P ₂ O ₅ %	Fe ₂ O ₃ %	Ag ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Mn ppm	Ni ppm	V ppm	Zn ppm
8	18.55	20.35	1.92	3.9	13.2	18.3	121	19.2	146	17.6	69.1	23.9
19	28.68	22.29	2.24	5.3	11.6	21.2	127	21.3	182	18.9	59.5	32.8
80	30.71	31.02	1.68	4.2	7.4	13.5	143	12.7	121	15.2	70.9	26.3
87	33.89	32.58	1.73	4.8	7.9	18.2	140	20.6	146	15.2	75.6	44.2
92	30.95	33.13	1.66	4.7	6.7	16.3	144	14.8	104	17.2	82.9	25.5
96	25.32	27.10	2.27	3.5	7.7	16.0	162	12.8	154	18.0	63.4	36.1
98	28.42	28.65	1.71	3.7	6.6	15.3	139	26.7	146	22.1	79.3	35.1
X	27.94	27.87	1.88	4.3	8.7	16.9	139	18.3	142	17.7	71.5	26.2
σ	4.9	4.97	0.26	0.6	2.5	2.4	13	5.1	24	2.3	8.3	10.8

Tabla 14.

Concentración de metales pesados (ppm) y constituyentes mayores (%) comparados con fosforitas marinas de otras localidades.

Constituyente	Fosforitas del margen continental de California(1)	Promedios mundiales (2)	Promedios Zona Al (3)	Promedios de concentrados de Zona Al (4)
P ₂ O ₅ (%)	26.99	-	1.7	30.4
CaO (%)	40.64	-	3.4	29.8
Fe ₂ O ₃ (%)	3.79	-	0.5	1.8
Ag	1.8	-	1.2	4.1
Cd	-	18	0.8	7.2
Co	2.9	7	2.3	15.8
Cr	94.0	125	14.2	145.0
Cu	74.0	75	2.8	17.5
Mn	145.0	1230	48.1	134.0
Ni	26.0	53	4.0	17.5
V	176.0	100	11.5	74.4
Zn	92.0	195	6.9	33.4

(1) Mullins y Rasch (1985); (2) Altschuler (1980); (3) Este estudio Tabla 9; (4) De este estudio -Tabla 13- sólo muestras 80, 87, 92, 96, 98.

marinas. Los niveles de los metales pesados y de los constituyentes mayores muestran esta misma tendencia.

Esta característica de la gran dilución de los sedimentos fosfáticos estudiados puede ser explicada dada su cercanía a la costa y por tanto expuestos al aporte de sedimentos siliciclásticos desde el continente. Al eliminar, como se ha descrito arriba, la fracción siliciclástica y comparar la composición de los concentrados respecto a otras fosforitas marinas los niveles en general se hacen del mismo orden de magnitud. Esta evidencia plantea la posibilidad de que cierto tipo de fosfogénesis se realice en ambientes con aportes terrígenos relativamente altos, circunstancia poco documentada en la literatura del tema ya que se ha aceptado en general (ver **Introducción** al inicio de este trabajo) que la formación de sedimentos fosfáticos casi siempre está referida a condiciones de bajas tasas de sedimentación.

Los datos obtenidos mediante el análisis de los concentrados sedimentarios se procesaron con la técnica de Componentes Principales, los resultados aparecen en la tabla 15 y la gráfica en la figura 35. Se puede observar que en el agrupamiento de muestras hay una separación importante, por una parte se agrupan las muestras 80, 92, 96 y 98 y por otra las muestras 8, 19 y 87 aparecen dispersas. Esto confirma parcialmente la existencia de una fuente de material fosfatado relacionada con las R-II, III y IV, y otra distinta asociada a la R-I. Según las características del transporte evidenciadas por la distribución de las cuencas de drenaje, y el comportamiento de las variables químicas es posible concluir que un tipo de sedimentos fosfatados puede proceder de las cuencas de drenaje de los arroyos Colorado-San Hilario, Guadalupe-La Herradura y el Conejo que transportan material erosionado de formaciones fosfáticas y no fosfáticas terciarias hacia la parte sur del área de estudio y otro está al norte del área de estudio asociado a una formación fosfática cuaternaria. Dado el transporte neto de sedimentos hacia el sur, se sugiere que pudiera existir una zona de mezcla de ambas fuentes de material fosfático entre las regiones I y II.

Tabla 15.

Análisis de Componentes Principales para muestras concentradas.

Muestra	Componente 1	Componente 2
8	-2.58	-1.81
19	-3.46	1.49
80	2.02	-1.06
87	1.05	2.29
92	2.48	-0.16
96	-0.20	-1.24
98	0.69	0.49

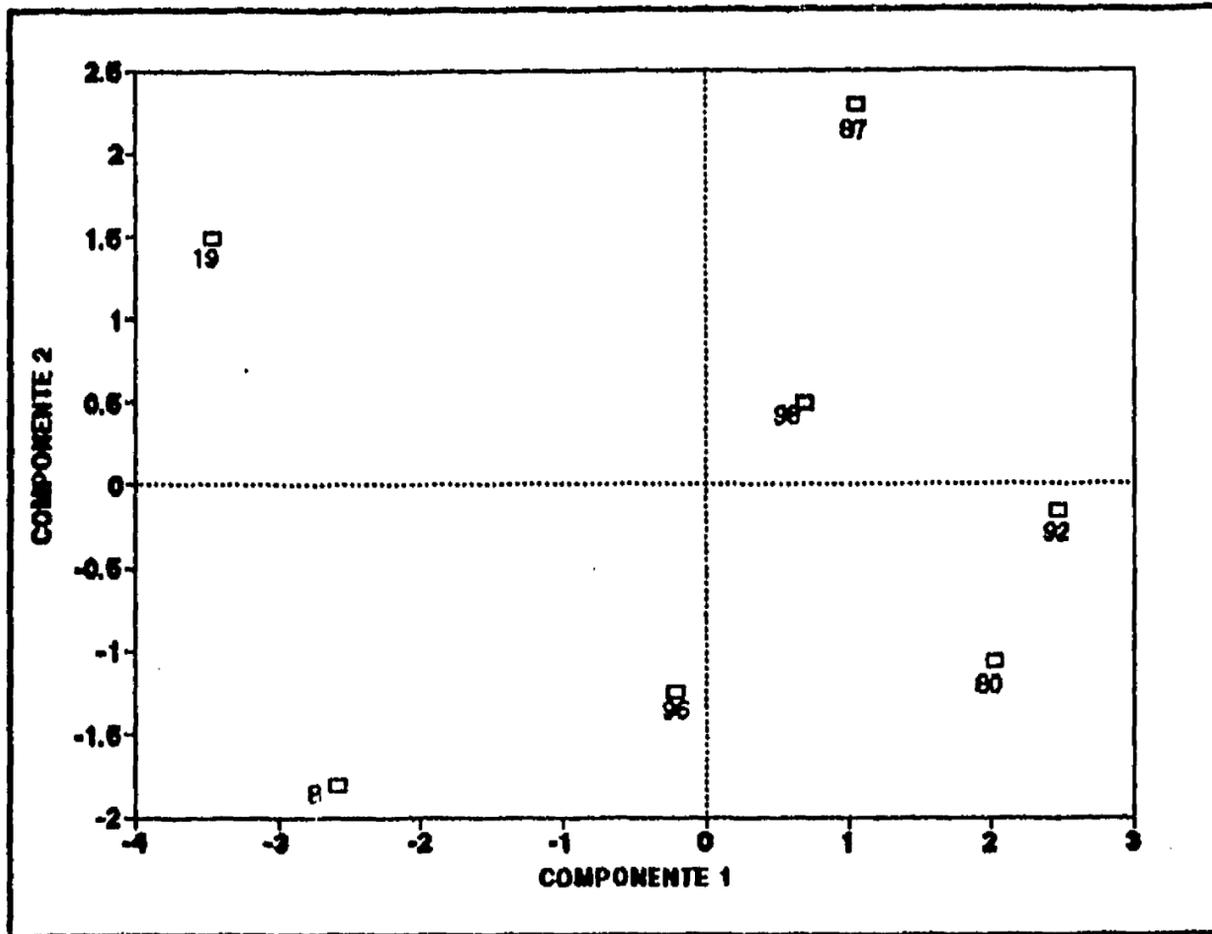


Figura 35. Diagrama de dispersión de los componentes 1 y 2 para muestras concentradas. Se indica el número de la muestra.

MINERALOGIA

Se obtuvieron difractogramas de rayos X de veinte muestras de sedimentos de las estaciones 13, 24, 42, 43, 44, 48, 49, 64, 66, 71, 72, 77, 78, 79, 80, 89, 90, 94 y 96. Este conjunto analizado contiene muestras de las cuatro regiones en que se dividió originalmente el área de estudio, es decir, incluyen ambientes de playa, plataforma y lagunares y están ubicadas, la mayoría de ellas, aproximadamente a lo largo de transectos perpendiculares a la línea de costa para detectar posibles variaciones en estas direcciones. También se analizaron por el método de difracción de rayos X muestras de las localidades continentales 97, 98, 99, 100, 105, 110 y 111 para tratar de observar la existencia de algún mineral trazador de posibles trayectorias de suministro de sedimentos desde el continente al área de estudio.

Se identificaron doce minerales presentes en más de una muestra: cuarzo, plagioclasa, feldespatos potásicos, hornblenda, magnetita, diópsido, apatita (carbonato-apatita?), calcita, zeolita (clinoptilolita?), illita, serpentina (antigorita?) y clorita. La dolomita y un ortofosfato de aluminio (variscita?) sólo estuvieron presentes en una muestra cada uno de ellos. En la tabla 16 se indican los porcentajes relativos de cada mineral por estación, calculados de acuerdo al método descrito en el capítulo de **Metodología**.

Los minerales más abundantes fueron el cuarzo y los feldespatos (las plagioclasas siempre en mayor abundancia que los feldespatos potásicos) que en conjunto representaron aproximadamente el 60% del total de los minerales identificados, los minerales ferromagnesianos (hornblenda y diópsido) y la magnetita se presentaron consistentemente alrededor del 5% cada uno, la apatita (carbonato-apatita?) y la calcita también se detectaron en todas las muestras, la primera alrededor del 3% y la segunda con variaciones muy amplias desde 1 a 20%. También se identificaron zeolita (clinoptilotita?), illita, clorita y serpentina

Tabla 16.

Porcentaje de abundancia de las especies minerales identificadas por el método de difracción de rayos X.

Muestra	Q	Pl	F-K	Hn	Mg	Dp	Ap	Ca	Ze	Il	Se	Cl	Do	Va
13	36	33	16	3	3	4	3	4	-	-	-	-	-	-
24	32	28	23	3	3	5	3	4	-	-	-	-	-	-
42	35	26	14	4	1	7	3	9	-	-	-	-	-	-
43	30	26	21	5	6	5	3	4	-	-	-	-	-	-
44	29	31	21	7	2	3	2	3	1	-	-	-	-	-
48	38	25	19	1	4	4	3	4	1	-	-	-	-	-
49	24	33	14	8	6	5	3	6	1	-	-	-	-	-
50	25	35	15	6	4	7	1	5	2	-	-	1	-	-
64	24	24	19	9	3	3	3	4	-	-	8	-	-	-
66	26	36	16	4	4	4	2	6	1	-	-	-	-	-
71	28	22	5	7	4	5	1	8	-	-	15	3	-	-
72	27	33	16	8	3	5	3	1	-	1	-	-	-	-
77	22	28	12	-	2	4	1	20	-	-	6	4	-	-
78	26	36	16	5	3	9	2	2	-	-	-	-	-	-
79	33	33	17	2	5	6	2	1	-	-	-	-	-	-
80	25	34	15	13	2	6	4	2	-	-	-	-	-	-
89	27	38	16	4	3	6	1	2	-	1	-	-	-	-
90	26	36	15	10	2	6	2	1	-	1	-	-	-	-
94	29	29	18	6	2	11	4	2	-	-	-	-	-	-
96	37	14	7	12	14	9	4	1	-	-	-	-	-	-
97	35	29	23	3	1	4	4	2	-	-	-	-	-	-
98	30	38	16	5	2	2	3	3	-	1	-	-	-	-
99	41	35	15	1	2	3	1	1	-	0.5	-	-	-	-
100	18	5	-	3	-	-	5	23	-	-	-	-	-	46
105	18	10	7	1	-	-	33	1	28	-	-	-	-	-
110	27	23	15	-	2	3	2	3	-	2	-	1	23	-
111	40	33	13	3	2	4	2	2	0.8	-	-	-	-	-

Q= cuarzo Pl=plagioclasa
Dp=diópsido Ap=apatita
Se=serpentina

F-K=feldespatos potásicos
Ca=calcita
Cl=clorita

Hn=hornblenda
Ze=zeolita
Do=dolomita

Mg=magnetita
Il=illita
Va=variscita

(antigorita?) aisladamente, las tres primeras en porcentajes bajos de 1 a 4% y la última en porcentajes relativamente altos del 6 al 15% pero sólo en tres estaciones. La dolomita sólo se identificó en la localidad 110 correspondiente a una roca sedimentaria (arenisca) de edad Plioceno (Formación Salada) donde registró un porcentaje de 23%. Por último se identificó un ortofosfato de aluminio (variscita?) muy abundante (46%) en otra roca sedimentaria (fangolita fosfática) de edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior (Formación San Gregorio).

Para los sedimentos marinos del área de estudio se observó un patrón muy regular de composición mineralógica, del cual sólo difieren las estaciones 64, 71 y 77 por la presencia de clorita y serpentina, minerales de origen metamórfico -en esta región- asociados a las rocas del complejo ofiolítico que aflora en las islas Margarita y Magdalena. La influencia de estas rocas sobre los sedimentos del área de estudio se restringe al margen de las islas ya que los minerales citados no se detectaron en otras localidades. En la figura 36, se ilustran los difractogramas de las muestras citadas con los picos característicos de la serpentina y clorita y la similitud general entre estas muestras.

En la región IV se detectan los mayores porcentajes de minerales pesados (hornblenda, diópsido, apatita, magnetita) lo que puede indicar tanto la cercanía del área de suministro de estos minerales como su posible concentración mecánica por medio de las corrientes de marea que en esta zona pueden ser altas dado lo estrecho de la laguna La Soledad. En la figura 37 se muestra el patrón típico de los difractogramas de las muestras 72, 89 y 98 que ilustran la similitud en la composición mineralógica entre las muestras de las regiones III y IV.

Los porcentajes de calcita están relacionados con bioclastos calcáreos procedentes del rompimiento y erosión de conchas de moluscos; estos fragmentos son observables directamente con el

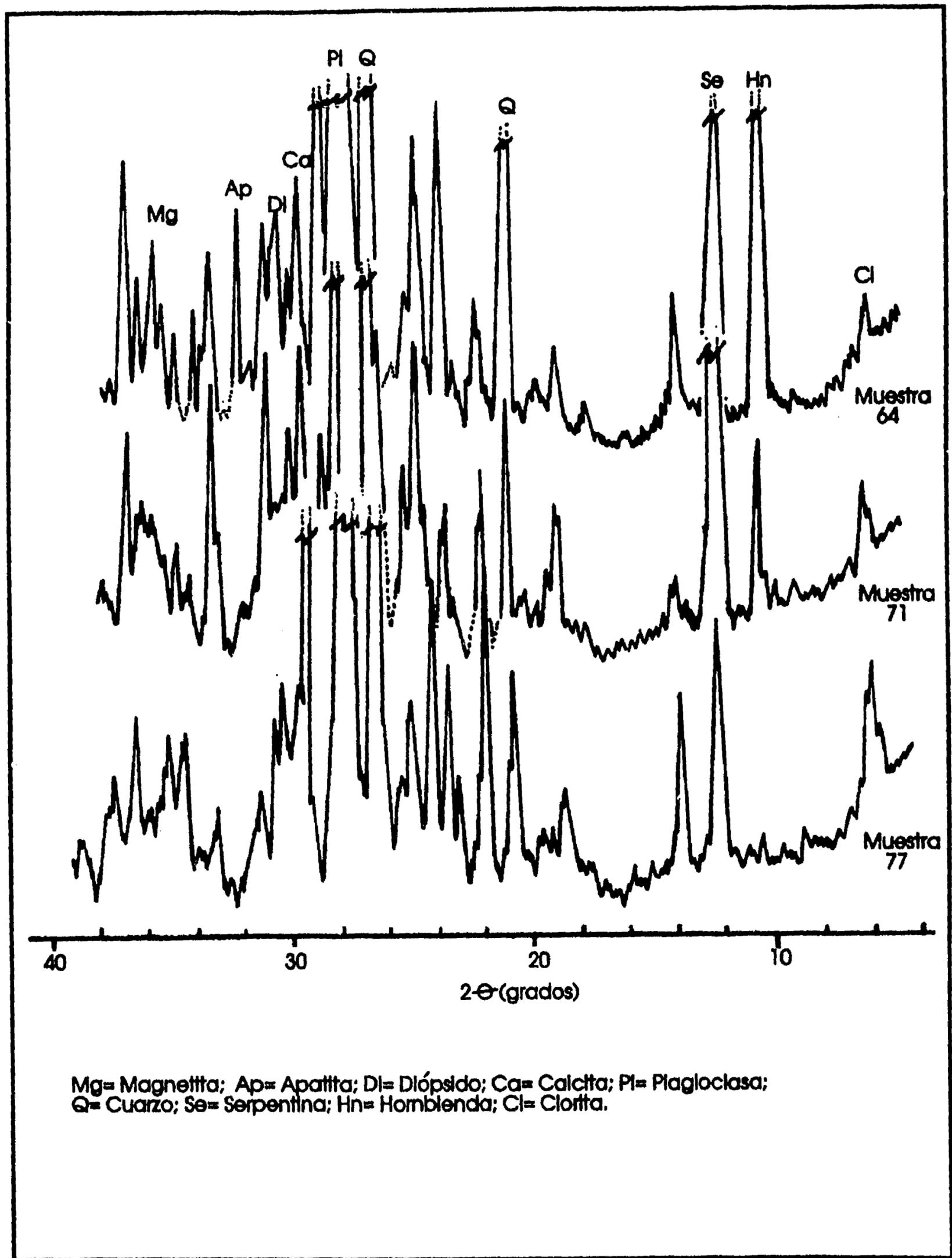


Figura 36. Difractogramas de las muestras 64, 71 y 77.

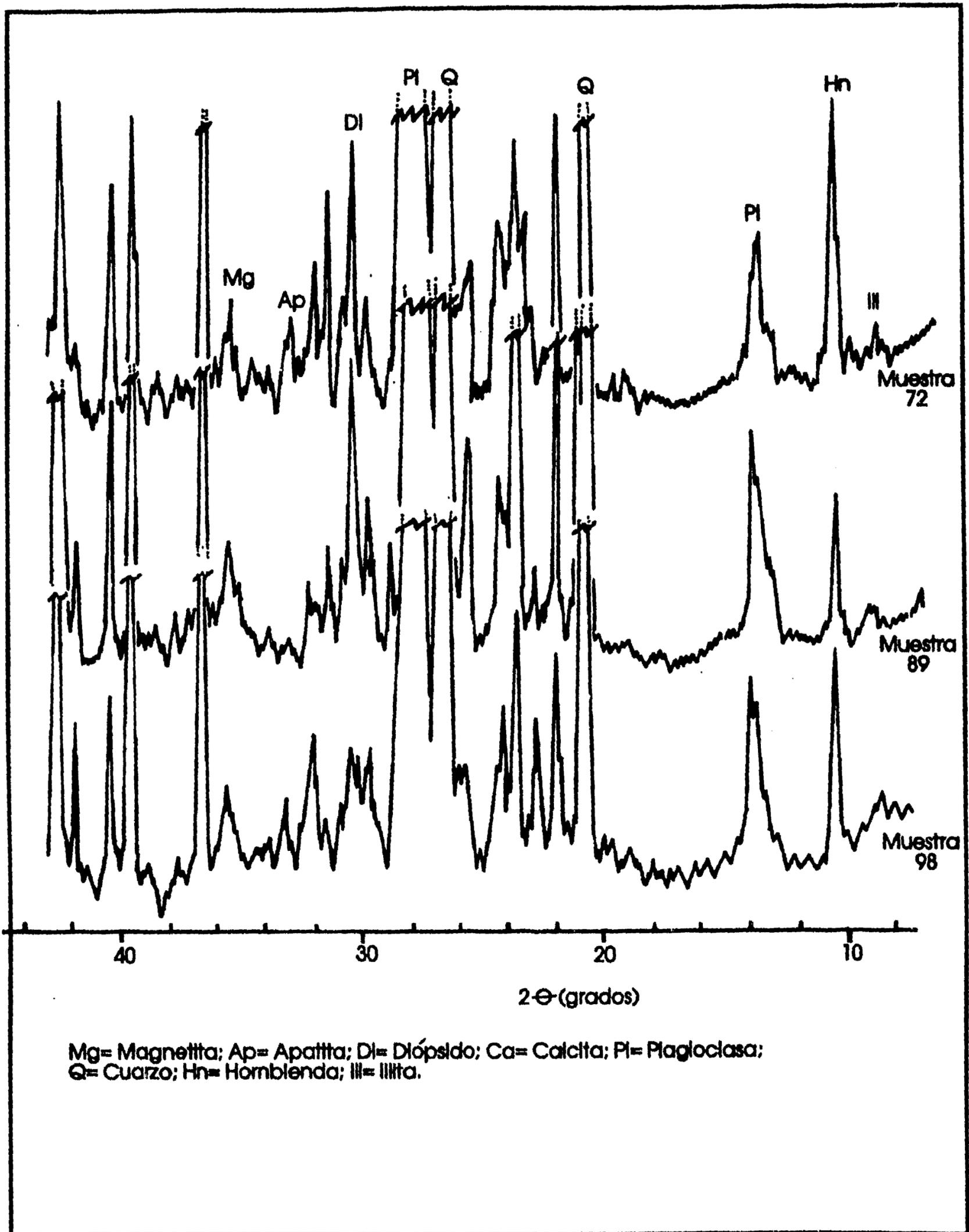


Figura 37. Difractogramas de las muestras 72, 89 y 98

microscopio estereoscópico. Cabe destacar la presencia de zeolita en las estaciones que se ubican frente a la desembocadura del arroyo Colorado-San Hilario (48, 49, 50) en la región I, por lo que se puede postular que las rocas aflorantes en la localidad continental 105, que registró altos porcentajes de este mineral, son erosionadas y sus residuos transportados a través de esta cuenca de drenaje hasta la plataforma continental. El patrón típico de estas muestras puede verse en los difractogramas de la figura 38 en donde se observan los picos de la zeolita y la similitud del patrón general de las muestras de la región I.

Al comparar los resultados de los conjuntos mineralógicos observados en los sedimentos del área de estudio con aquellos de las muestras colectadas de rocas continentales se aprecia una gran similitud con las muestras continentales 98 y 99 colectadas en capas de areniscas fosfáticas aflorantes en el extremo norte de la región IV, lo que sugiere fuertemente la posible procedencia de los sedimentos del área de estudio a partir de la erosión y/o redepósito de esa formación.

Para confirmar estas apreciaciones se realizaron agrupamientos con la técnica de Componentes Principales (tabla 17; figura 39), a través de estos resultados se revela:

1. La existencia de un grupo principal constituido por la mayoría de las muestras lagunares y de plataforma. En este mismo grupo se incluyen las muestras de areniscas marinas y de paleodunas pleistocénicas (97, 98, 99, 111).
2. Que las muestras de las localidades continentales 100, 105 y 110 correspondientes a rocas sedimentarias terciarias son mineralógicamente muy distintas al conjunto principal.
3. Que la muestra marina de la estación 96 también es distinta al conjunto principal, esto probablemente debido a su alto contenido

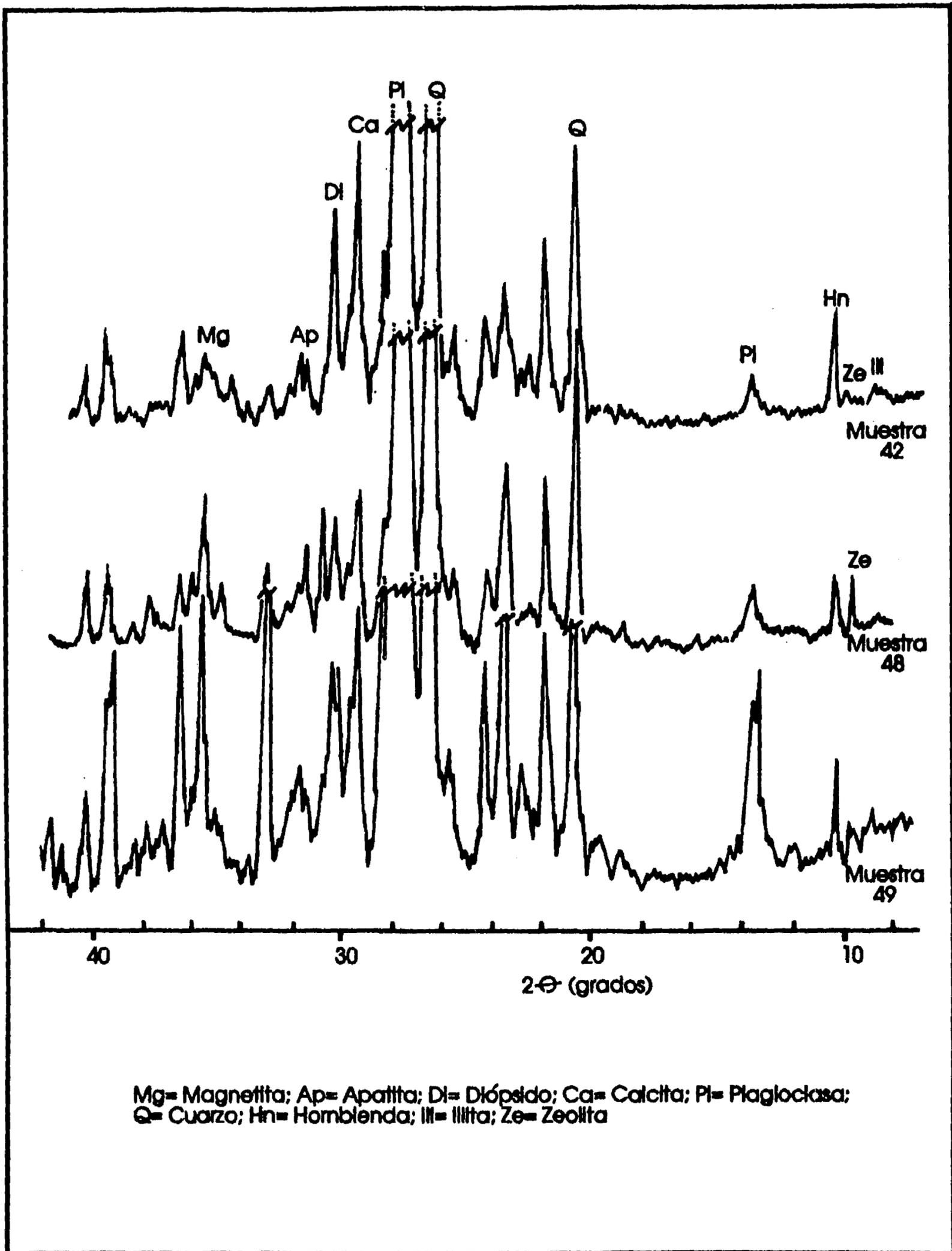


Figura 38. Difractogramas de las muestras 42, 48 y 49

de minerales pesados producto de una concentración por retrabajo mecánico ya que esta localidad se ubica en la boca lagunar Soledad sobre la barrera arenosa sujeta a fuertes corrientes de marea y oleaje.

4. Que las muestras lagunares de las estaciones 64, 71 y 77 pueden formar un grupo afín derivado de su contenido de minerales asociados a las rocas metamórficas aflorantes en las islas Margarita y Magdalena.

Tabla 17.

Componentes principales 1 y 2 del análisis mineralógico por difracción de rayos X.

Muestra	Comp.1	Comp.2
13	0.714	-0.315
24	0.888	-0.433
42	0.168	0.201
43	0.861	-0.061
44	0.650	-0.452
48	0.577	-0.520
49	0.354	0.361
50	0.704	0.233
64	-0.519	1.280
66	0.325	-0.039
71	-1.995	3.913
72	0.925	-0.432
77	-2.709	3.280
78	1.263	0.115
79	1.229	-0.227
80	0.859	0.116
89	1.136	-0.347
90	1.144	-0.225
94	1.366	0.026
96	1.259	1.237
97	0.896	-0.858
98	0.581	-0.743
99	1.051	-0.731
100	-6.417	1.427
105	-5.450	-5.235
110	-0.645	-1.134
111	0.778	-0.435

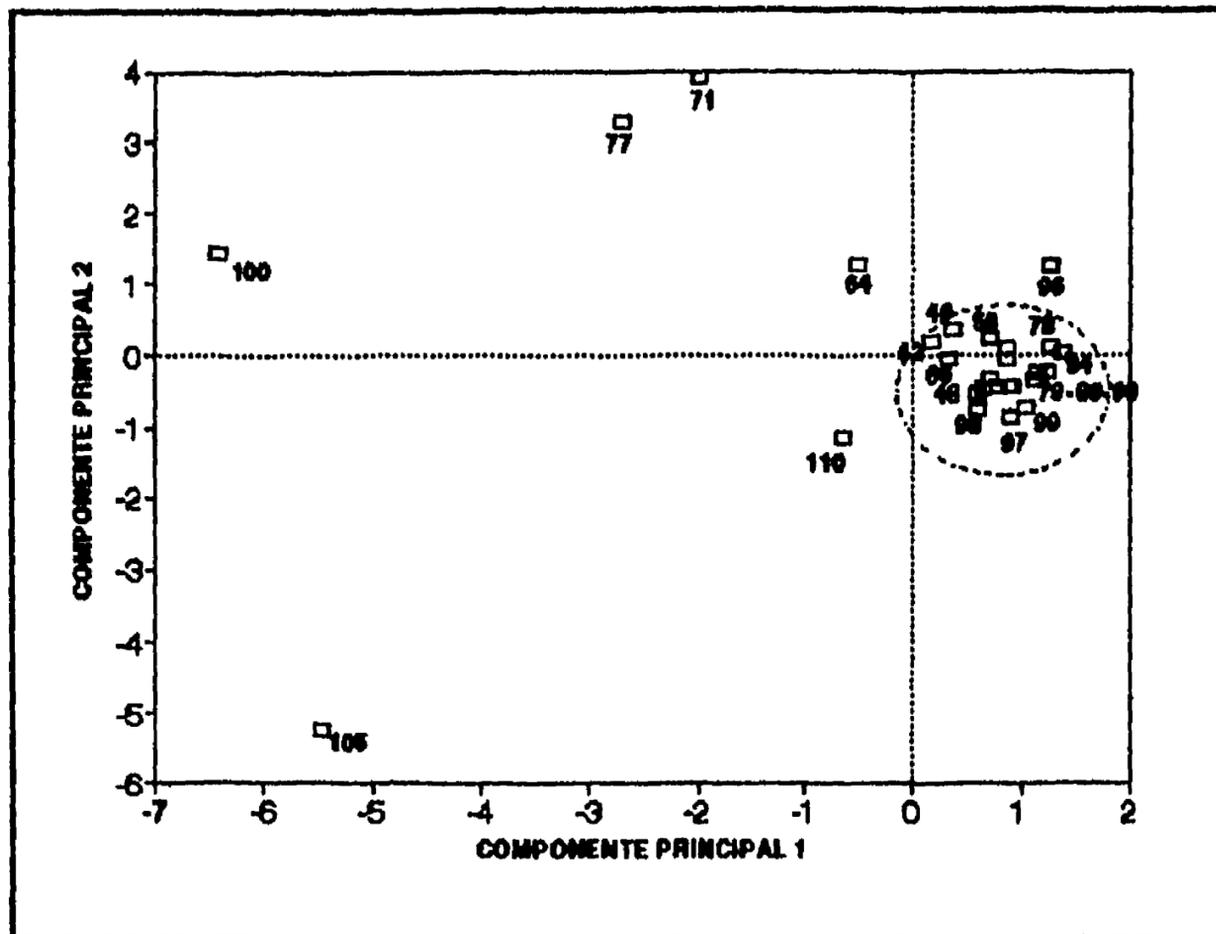


Figura 39. Gráfica de dispersión de los Componentes Principales 1 y 2 del análisis mineralógico de difracción de rayos X. Se indica el agrupamiento de muestras con afinidad en composición mineralógica y el número de muestra.

Relaciones mineralógicas. Uno de los conceptos más utilizados en la nomenclatura de las arenas que relaciona los procesos sedimentarios con la mineralogía es el de madurez. A través del intemperismo y el transporte las partículas minerales químicamente más estables, físicamente más resistentes y de mayor peso específico aumentan proporcionalmente respecto a las más inestables y ligeras, aumentando así la madurez. El cuarzo es el mineral químicamente estable más abundante y se considera a los feldespatos como el ejemplo típico de los químicamente inestables (Selley, 1976; Friedman y Sanders, 1978). Al considerar el peso específico como una cualidad determinante en la estabilidad mecánica es factible emplear, en forma correspondiente, a los minerales pesados como los más estables mecánicamente y al cuarzo como el ejemplo típico de los minerales ligeros menos estables

mecánicamente.

Empleando la información de porcentajes mineralógicos aportada por el análisis de difracción de rayos X se calcularon las relaciones mineralógicas cuarzo:ferromagnesianos (hornblenda + dióxido) y cuarzo:feldespatos, como índices de retrabajo mecánico y madurez química (o mineralógica) respectivamente (tabla 18).

Tabla 18.

Relaciones mineralógicas

Muestra	Q:FeMgs.	Q:Felds.
13	5.1	0.7
24	4.0	0.6
42	3.1	0.8
43	3.0	0.6
44	2.9	0.5
48	7.6	0.8
49	1.8	0.5
50	1.9	0.5
64	2.0	0.5
66	3.2	0.5
71	2.3	1.0
72	2.0	0.5
77	5.5	0.5
78	1.8	0.5
79	4.1	0.6
80	1.3	0.5
89	2.7	0.5
90	1.6	0.5
94	1.7	0.6
96	1.7	1.7
97	5.0	0.6
98	4.2	0.5
99	10.2	0.8
100	6.0	3.6
105	18.0	1.0
110	9.0	0.7
111	5.7	0.8

Q= cuarzo; FeMgs.= ferromagnesianos; Felds.= feldespatos

De acuerdo a estos resultados, las muestras sometidas a un mayor retrabajo (mayor abundancia relativa de minerales ferromagnesianos) están restringidas a las partes con aguas más someras y también

hacia el norte del área de estudio. El menor retrabajo se denota en las muestras de localidades continentales (100, 105 y 110) y en estaciones con mayor profundidad del mar. La madurez mineralógica se manifestó con valores dentro de un intervalo reducido de 0.5 a 1.0, excepto para las muestras 96 y 100 donde los índices fueron muy altos. En el caso de la muestra 96 puede ser explicado a partir de las condiciones de energía arriba descritas para esa localidad. La muestra de la localidad 100 por su parte corresponde a una fangolita fosfática, por lo que quizás es poco indicativa esta relación (cuarzo:feldespatos) en una roca donde dominan calcita y un ortofosfato de aluminio (probablemente de origen coloidal) y el cuarzo y los feldespatos están en porcentajes muy bajos.

Ambos índices se graficaron en ejes XY (figura 40) donde se puede apreciar una gran similitud tanto entre las muestras del área de estudio como entre éstas con las de la localidad continental pre-holocénica (97-98-99) y la separación de las localidades 96, 100, 105 y 110 del agrupamiento principal.

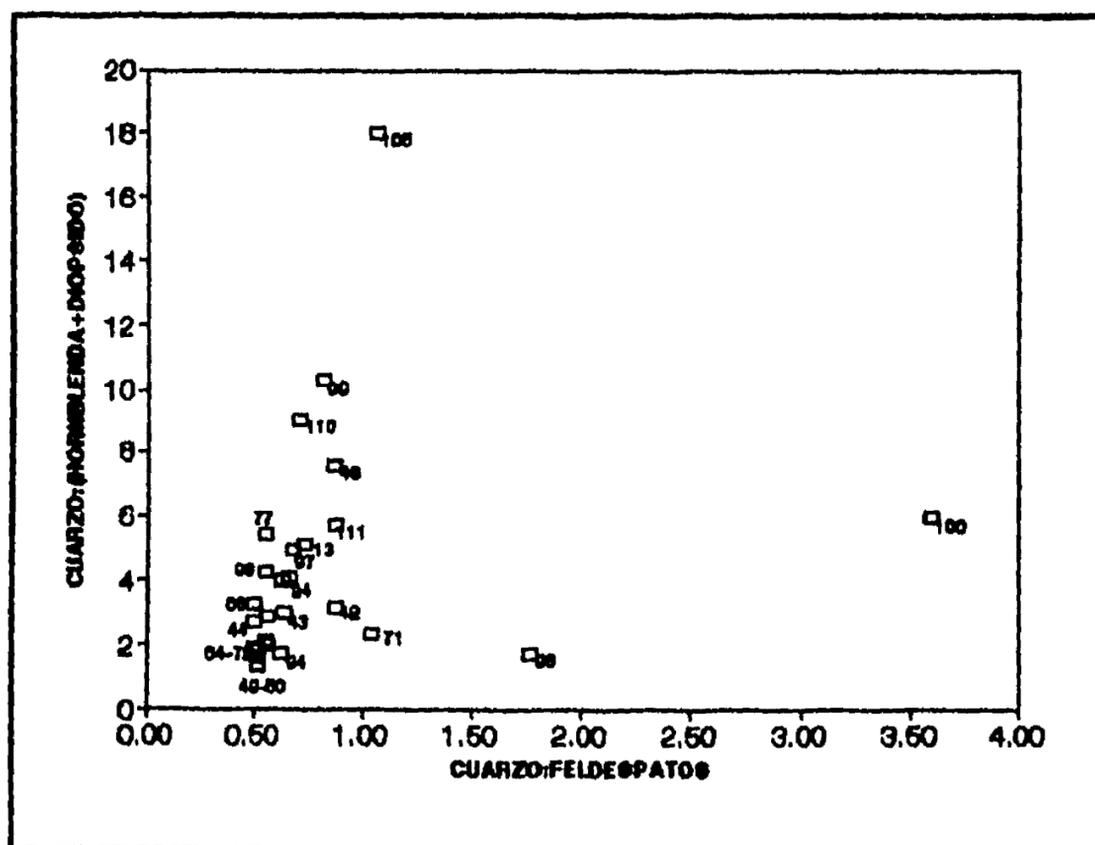


Figura 40. Diagrama de dispersión de las relaciones mineralógicas.

Microscopía petrográfica y estereoscópica. Se observaron y analizaron, con microscopio petrográfico, las secciones delgadas y, con microscopio estereoscópico, las partículas de sedimentos, de las localidades 13, 24, 42, 43, 44, 48, 49, 64, 66, 71, 72, 77, 78, 79, 80, 89, 90, 94, 97 y 98, que corresponden a las muestras estudiadas por difracción de rayos X y con los mismos criterios de selección.

Se pudieron identificar los siguientes tipos de partículas sedimentarias: cuarzo, feldespato, bioclastos calcáreos, fragmentos de rocas volcánicas, metamórficas y sedimentarias, anfíbol, piroxeno, magnetita, clorita, serpentina y masas fosfáticas. De acuerdo a su frecuencia (empleando los diagramas de Flugel, 1982) se estableció si eran abundantes (más del 20%), comunes (del 5 al 20%) o raros (menos del 5%). Los resultados de este análisis por muestra se describen en la tabla 19.

Dado que el fósforo en los sedimentos del área estudiada se encuentra principalmente formando masas fosfáticas interesó describir este tipo de partículas para lo cual se hizo uso de los siguientes términos propuestos por Adams *et al.* (1984):

Agregados fosfáticos: son masas irregulares formadas por un número pequeño de partículas reconocibles cementadas por micrita fosfática.

Córtex: es el material que rodea o reviste al núcleo de una partícula fosfática.

Intraclasto fosfático: es una masa fosfática que estuvo alguna vez formando parte del suelo marino y que fue posteriormente erosionada y retrabajada para formar un nuevo sedimento.

Núcleo ooidal: es una partícula no fosfática situada en el interior de una masa fosfática ooidea.

Masa fosfática: es una partícula sedimentaria constituida por minerales del grupo de la apatita, de origen, estructura y forma diversa, según lo cual puede clasificarse como agregado, ooideo,

peloide o intraclasto.

Ooideo fosfático: es una masa esferoidal o elipsoidal menor de 2 mm con un núcleo; el córtex puede estar compuesto de una o más láminas concéntricas.

Ooideo superficial: es un ooideo con una sólo capa en el córtex.

Peloide fosfático: masa compuesta de micrita fosfática, esferoidal o elipsoidal sin núcleo ni estructura interna definida.

Por regiones se encontraron los siguientes resultados:

Región I. Se observan abundantes fragmentos calcáreos biógenos (conchas de moluscos), cuarzo, feldespatos y fragmentos de rocas volcánicas con fenocristales de feldespatos. Son comunes los peloides fosfáticos y raros los ooides fosfáticos que son de tipo superficial con córtex delgados, el tamaño de estas masas fosfáticas es menor de 0.20 mm de diámetro. Algunos minerales de anfíboles y piroxenos presentan característicos bordes subredondeados. Los fragmentos de roca sedimentaria corresponden a rocas detríticas de grano fino, algunos de ellos fosfatizados o calcificados. También se observan partículas de magnetita subredondeadas. Son muy raras las testas de foraminíferos, sólo presentes en las muestras de las mayores profundidades (figura 41).

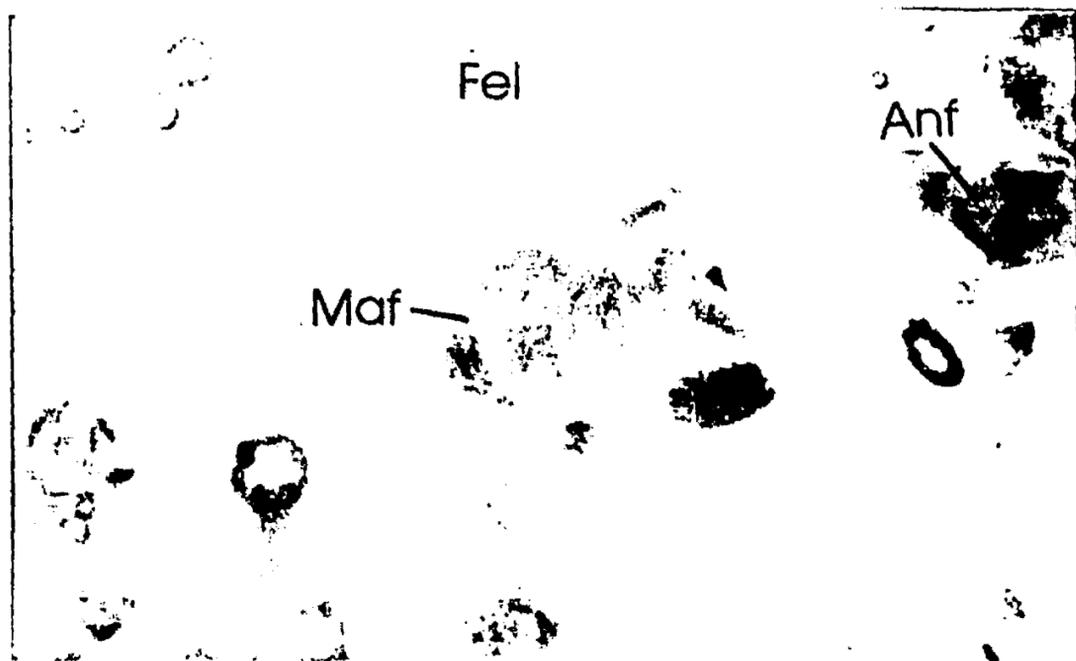
Región II. Se presentan abundantes fragmentos de rocas metamórficas, bioclastos calcáreos, cuarzo y feldespato. Los primeros bien localizados en el borde de la laguna con límite en isla Margarita, del tipo de rocas ultramáficas metamorfizadas, esquistos y pizarras. En estos fragmentos se identifican minerales de serpentina y clorita. Las masas fosfáticas son peloides circulares y elípticos en sección trasnversal, de 0.20 mm de diámetro en promedio, presentes con más frecuencia hacia el límite con el continente. Los fragmentos de roca sedimentaria y volcánica,

Tabla 19.

Análisis mineralógico con microscopio petrográfico.

Muestra	Q	Fld	Bicl	FRV	FRM	FRS	An	Pi	Mg	MaFos
13	XXX	XX	XXX	XX	—	XX	XX	XX	X	XX
24	XXX	XXX	XXX	XXX	—	—	XX	XX	—	XX
42	XXX	XX	XX	XX	—	XX̄	XX	XX	XX̄	X
43	XXX	XXX	XXX	XXX	—	XX	XX	XX	XX	XX
44	XXX	XXX	X	XXX	—	—	X	X	XX	XX
48	XXX	XXX	XXX	XX	—	X̄	XX	XX	X	X
49	XXX	XXX	XXX	XXX	—	—	XX	XX	XX	XX
64	XXX	XXX	XXX	X	XX̄	—	XX	XX	XX	X
66	XXX	XXX	X	X	X	X̄	XX	XX	XX	XX
71	XXX	X	XXX	—	XXX	—	XXX	XX	X	X
72	XXX	XX	X	—	—	XX̄	XX	XX	X	XX
77	XXX	XX	XXX	X̄	XX̄	—	X	X	X	X
78	XXX	XXX	X	XX	X	—	XX	X	X	XX
79	XXX	XXX	X	X	—	XX̄	XX	XX	X	X
80	XXX	XXX	X	X	—	XX	XX	XX	XX	XX
89	XXX	XXX	X	—	—	X	XX	XX	X	XX
90	XXX	XXX	—	—	—	X	XX	XX	XX	X
94	XXX	XXX	X̄	—	XX̄	—	XX	XX	X	XX
96	XXX	XXX	—	—	—	—	XXX	XXX	XXX	XXX
98	XXX	XXX	—	XX̄	—	—	XX	XX	XX	XXX

Q= cuarzo; Fld= feldespatos; Bicl= bioclastos; FRV= Fragmento de roca volcánica; FM= Fragmento de roca metamórfica; FRS= Fragmento de roca sedimentaria; An= Anfíboles; Pi= Piroxenos; Mg= magnetita; MaFos= Masas fosfáticas.
 Simbología: — = No Observado; X= Raro (Menos de 5%); XX= Común (De 5 a 20%); XXX= Abundante (Más de 20%).



A

0.250 mm



B

0.250 mm

Figura 41. Fotomicrografías de secciones delgadas de la región I, muestra 49. Maf= masa fosfática; Anf= anfíbol; Fel= Feldespato. (A) Luz paralela; (B) Nícoles cruzados.

FALLA DE ORIGEN

asi como la magnetita, son de raros a comunes. Los anfíboles y piroxenos se presentan en masas o cristales, también asociados a rocas metamórficas (figura 42).

Región III. Existe un comportamiento similar de los fragmentos de rocas metamórficas, volcánicas y sedimentarias, bioclastos y magnetita al descrito en la Región II. Se observan peloides fosfáticos en sección circular y elíptica de 0.20 a 0.40 mm de diámetro más frecuentes en el límite lagunar hacia el continente, también se presentan intraclastos y agregados fosfáticos hasta de 0.40 mm y ooides superficiales, aunque son muy raros. Asociados a las masas fosfáticas persisten minerales ferromagnesianos (anfíbol y piroxeno) con bordes subredondeados (figura 43).

Región IV. Aquí las masas fosfáticas aumentan en frecuencia y diversidad, sus tamaños oscilan entre 0.20 y 0.40 mm y son predominantemente peloides, algunos agregados e intraclastos, los ooides son más regulares, de tipo sencillo y de córtex delgados, algunos peloides denotan varias partículas detríticas minerales en su interior lo que pudiera indicar su procedencia de pelets fecales de organismos tragadores de fango (figura 44).

En microscopio estereoscópico es muy notoria la superficie pulida de las masas fosfáticas, sus formas esféricas y elipsoidales, su color café rojizo, castaño oscuro o café amarillento y el lustre resinoso. Algunas partículas de magnetita y minerales ferromagnesianos también aparecen de subredondeados a angulosos. Las magnetitas son opacas y de lustre metálico, los ferromagnesianos de opacos a traslúcidos de color verde oscuro y lustre vítreo. Los bioclastos calcáreos corresponden en su mayoría a pequeños fragmentos de conchas de moluscos. Los fragmentos de roca metamórfica tienen un característico color verde producido por la serpentina y la clorita. Los fragmentos de rocas volcánicas y sedimentarias son opacos de colores oscuros difícilmente diferenciables (figuras 45 y 46).



A

0.250 mm



B

0.250 mm

Figura 42. Fotomicrografías de secciones delgadas de la región II, muestra 66. Maf= masa fosfática; Pir= Piroxeno; Erf= Fragmento de roca fosfatizada. (A) Luz paralela; (B) Nícoles cruzados.

FALLA DE UNIFORMIDAD



0.250 mm

A



0.250 mm

B

Figura 43. Fotomicrografías de secciones delgadas de la región III, muestra 77. Frm= Fragmento de roca metamórfica.
(A) Luz paralela; (B) Nícoles cruzados.



A

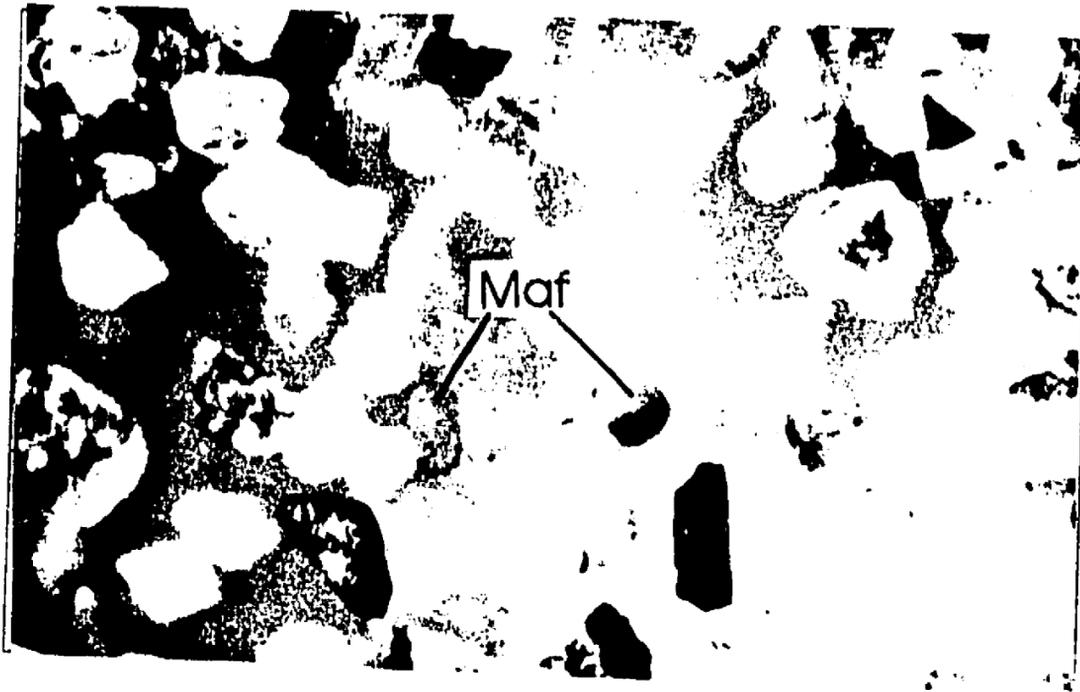
0.250 mm



B

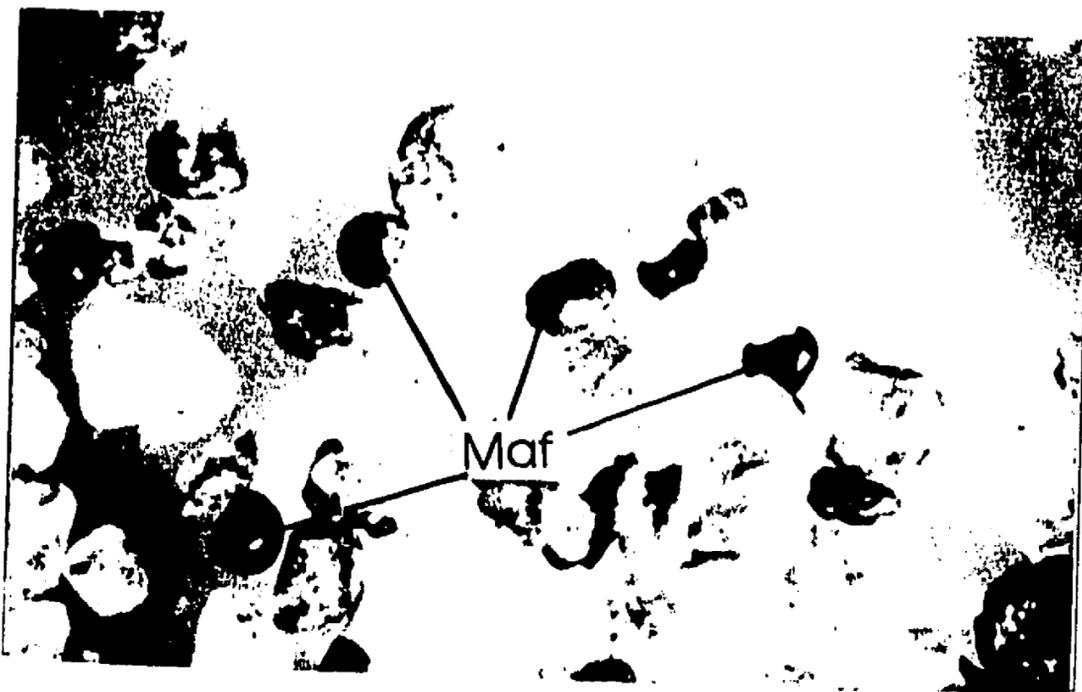
0.250 mm

Figura 44. Fotomicrografías de secciones delgadas de la región IV, muestra 94. Maf= Masa fosfática; Anf= Anfíbol.
(A) Luz paralela; (B) Nícoles cruzados.



1.0 mm

A

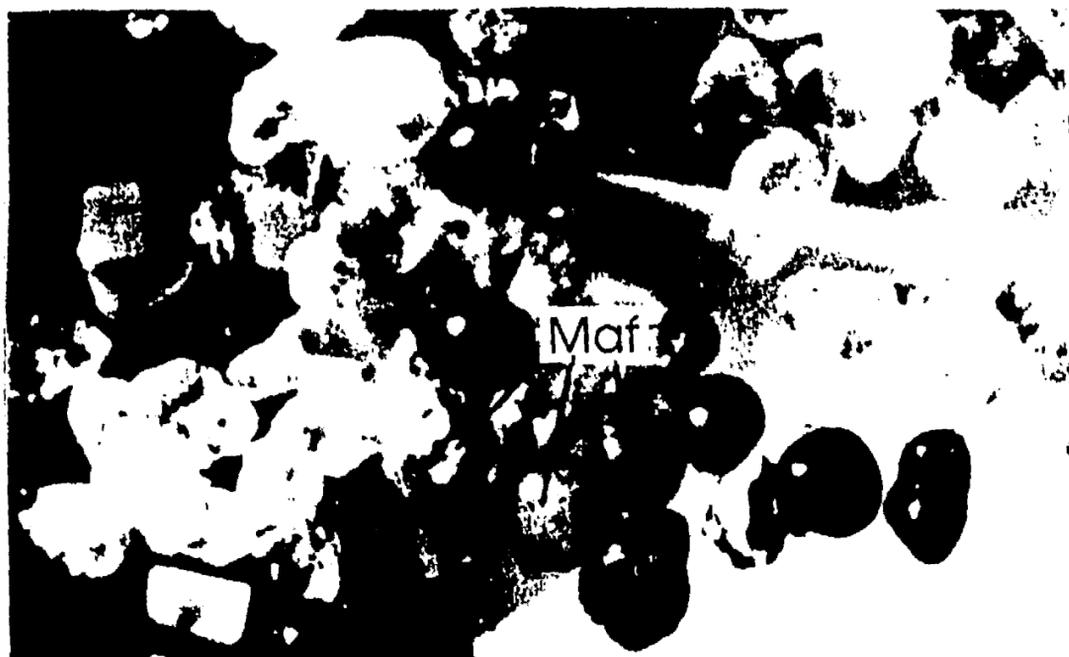


1.0 mm

B

Figura 45. Fotomicrografías estereoscópicas de la región I.
Maf= masas fosfáticas. (A) Muestra 24; (B) Muestra 49.

FALLA DE ORDEN



A

1.0 mm



B

1.0 mm

Figura 46. Fotomicrografías estereoscópicas de la región IV.
Maf= masas fosfáticas. (A) Muestra 94; (B) Muestra 98.

De acuerdo con estas observaciones, tanto en secciones delgadas como estereoscópicas, los sedimentos pueden clasificarse como correspondientes a arenas arcólicas líticas, mineralógicamente en etapa de submadurez a madurez (Folk, 1951; 1974).

CONCLUSIONES

Los sedimentos superficiales de la zona costera suroeste de la península de Baja California revelan enriquecimiento en fósforo de uno a dos órdenes de magnitud respecto a sedimentos costeros de otras localidades y a promedios mundiales. Los metales Ag y Cd también denotan un enriquecimiento en un orden de magnitud respecto a las mismas referencias. Las partes central y norte del área de estudio muestran el mayor enriquecimiento de sedimentos fosfatados y las mejores correlaciones entre el P y los metales pesados, particularmente con Cd, Co, Cr y Ag, por lo que se puede afirmar que estos elementos se encuentran química y mineralógicamente asociados. Hacia el sur aún cuando también existen valores anómalamente altos de fósforo éste no muestra correlaciones significativas con los metales pesados antes mencionados por lo que es probable que exista una fuente distinta de sedimentos fosfatados y/o una mayor dilución de éstos por sedimentos siliciclásticos terrígenos (figura 47).

El fósforo se encuentra formando parte de la estructura cristalina del mineral carbonato-apatita identificado así por su patrón de difracción de rayos X y por sus propiedades ópticas observadas en láminas delgadas con microscopio petrográfico. Con esta última técnica se observó que este mineral se encuentra formando diferentes tipos de masas fosfáticas.

Las masas fosfáticas corresponden a partículas peloides y ooides superficiales abundantes en el intervalo de tamaño de 4 a 2 ϕ (0.062 a 0.25 μm); hacia el extremo norte del área de estudio se identificaron masas fosfáticas de mayor tamaño a 2 ϕ ($> 0.25 \mu\text{m}$).

Es posible diferenciar geoquímica, mineralógica y texturalmente los sedimentos fosfáticos de la parte sur del área de estudio, de los de la parte central y norte. Los primeros, en las zonas más someras, manifiestan influencia de las formaciones

FALLA DE ORIGEN

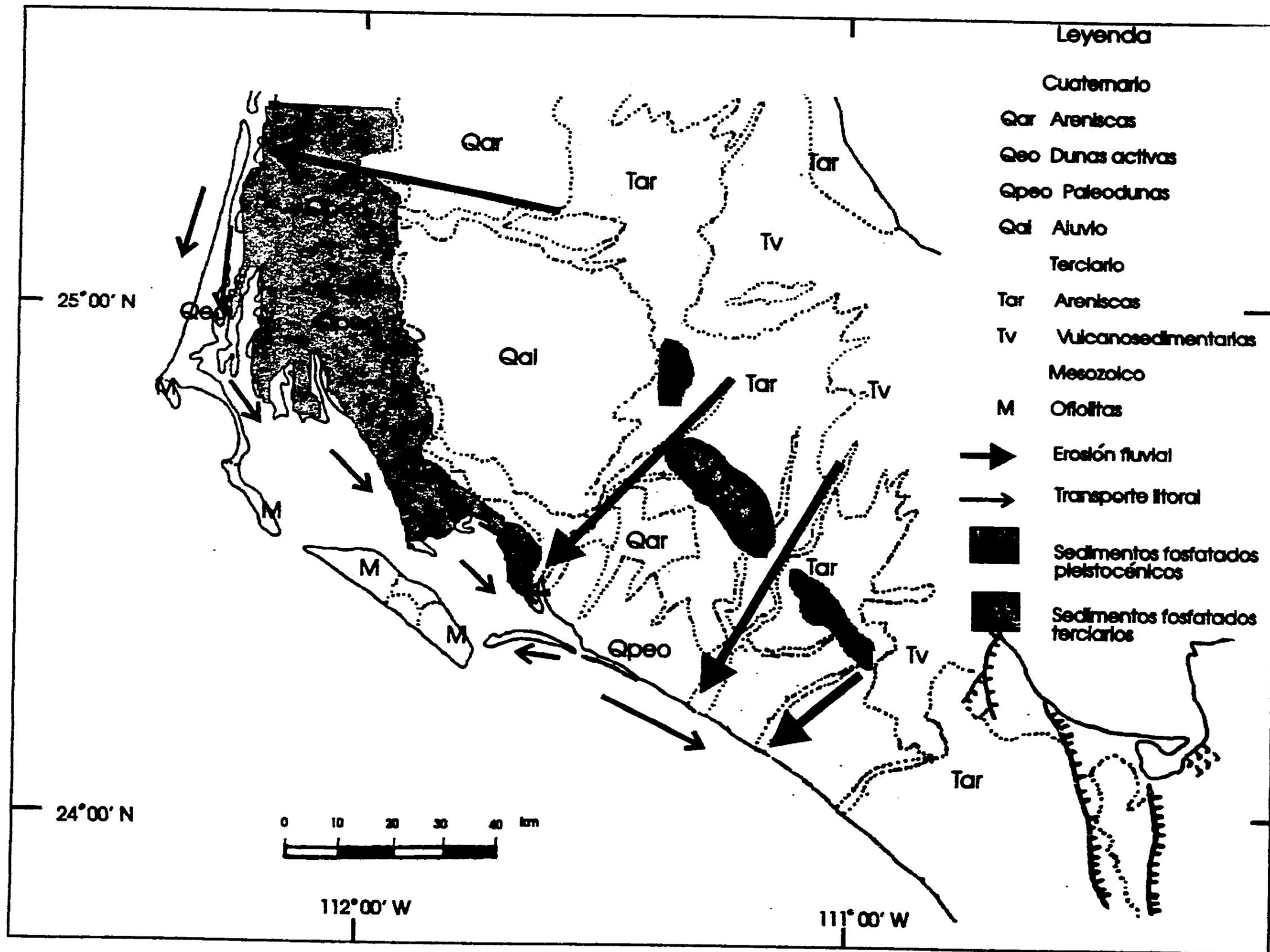


Figura 47. Modelo esquemático de distribución de los sedimentos superficiales

sedimentarias fosfáticas de edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior (Formación San Gregorio) que afloran en la vertiente occidental del sur de la península,; y en las partes más profundas denotan procesos de adsorción de metales en la fracción textural más fina. Por otra parte, los sedimentos de la parte central y norte muestran un gradiente de enriquecimiento de fósforo y de aumento de tamaño de las partículas fosfáticas hacia el norte y hacia la costa lo que sugiere también una fuente de origen continental. Además denotan índices de correlación muy altos entre los elementos analizados y patrones de difracción de rayos X muy similares entre las muestras. Estos sedimentos a su vez revelan una gran similitud con los sedimentos de una formación costera fosfática pleistocénica (sin nomenclatura) y con los de las paleodunas adyacentes a la línea de costa que se internan varios kilómetros en el continente. La formación pleistocénica ha sido observada con concentraciones de P_2O_5 entre 2 y 8% desde los 10 m sobre el nivel del mar hasta, por lo menos, los 16 m bajo este nivel, pudiendo continuar a mayor profundidad. Por lo anterior se sugiere que los sedimentos fosfatados superficiales costeros y lagunares detectados en las partes central y norte del área de estudio pudieran provenir de la erosión y redepósito de los sedimentos de las paleodunas y de la formación marina pleistocénica con el ascenso holocénico del nivel del mar.

Litológicamente esta formación pleistocénica está compuesta por areniscas de origen marino con lentes de coquinas y arcillas que subyacen a areniscas de paleodunas no consolidadas; haciendo un análisis textural comparativo, dicha formación en sus facies marinas se asemeja a los sedimentos que hoy se encuentran desde 30 a 100 m de profundidad. Las marcas de línea de costa antigua observadas sobre la costa (hasta casi los 40 m de altitud) en la parte sur del área de estudio, así como la extensión de paleodunas que se internan en el continente hasta aproximadamente la misma altura máxima de estas marcas, soportan el planteamiento de que la formación pleistocénica se haya depositado en un fondo lagunar o de

bahía de mayor profundidad y extensión que el actual durante el(los) anterior(es) intervalo(s) interglaciares pleistocénicos, hace más de 100 000 años AP cuando el nivel de mar pudo haber alcanzado esas alturas.

El tipo de masas fosfáticas encontradas (peloides y ooides sencillos) sugieren un solo evento de fosfatización y los relativamente bajos contenidos de fósforo (en relación a las fosforitas) indican una gran dilución por efecto de aportes siliciclásticos procedentes de una área emergida muy cercana.

Se identificó un grupo de sedimentos geoquímica y mineralógicamente bien diferenciado de los sedimentos fosfatados, el cual se localiza en las márgenes de las islas Margarita y Magdalena y se caracteriza por la presencia de minerales resultado de procesos de metamorfismo (clorita y serpentina) y por sus altos niveles de metales pesados. Estos sedimentos provienen de la erosión del complejo ofiolítico aflorante en las islas citadas.

El modelo sugerido para explicar la presencia de los sedimentos fosfatados del área de estudio se fundamenta en tres etapas (figura 48):

1. Existencia de un nivel del mar a 30 o 40 m por arriba del nivel del mar actual durante el(los) pasado(s) período(s) interglaciar(es) pleistocénicos (+ de 100 000 años AP) que formó una bahía o sistema lagunar sobre cuyo fondo se llevó a cabo un proceso de fosfatización de pelets fecales y formación de ooides sencillos en la interfase sedimento-agua.

2. Regresión de la línea de costa durante el pasado período glacial (entre 100 000 y 18 000 años AP), que al ir dejando expuesta una gran superficie del fondo lagunar favoreció el desarrollo y acreción de dunas costeras con la intensificación de los vientos, proceso climatológico característico durante los

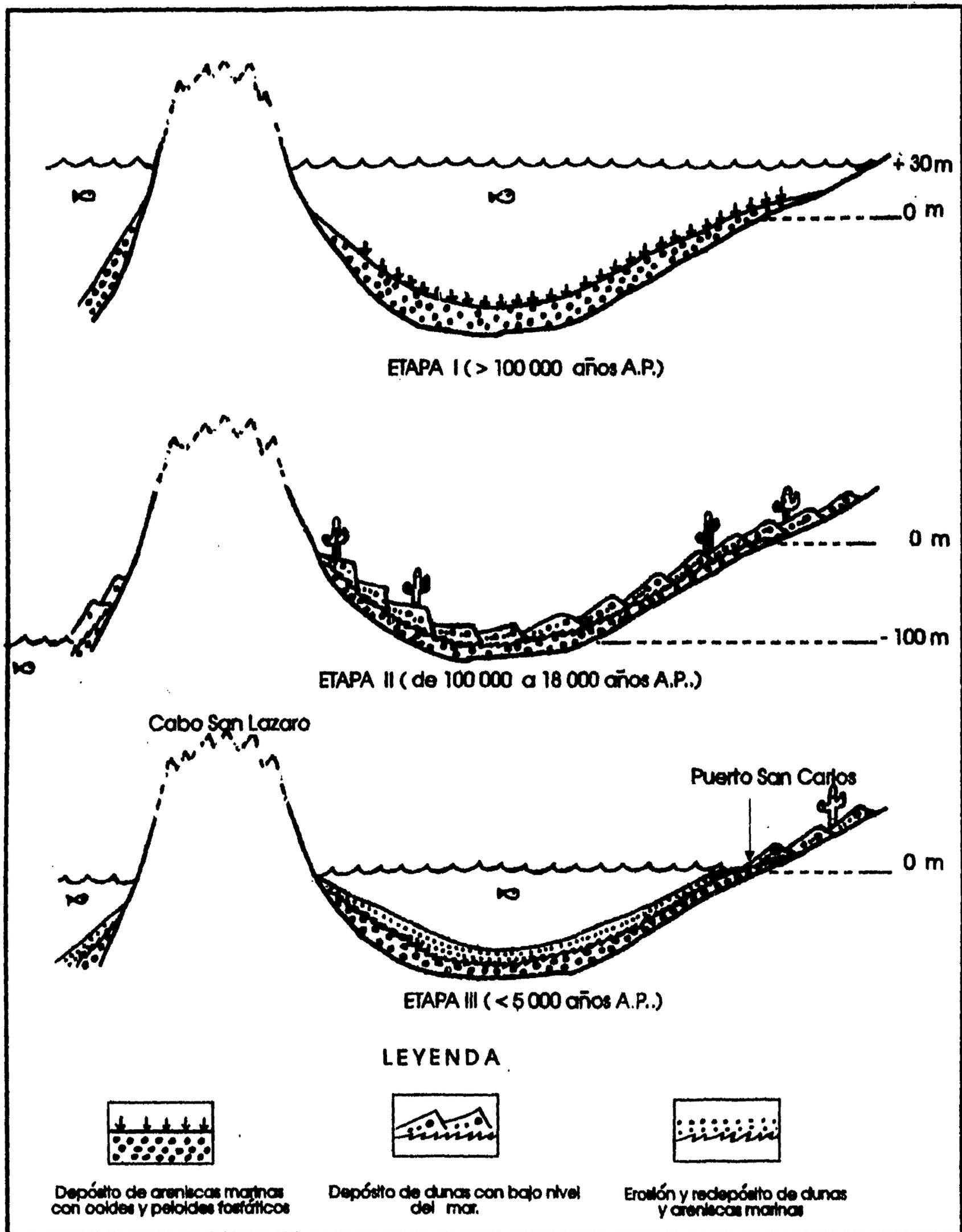


Figura 48. Modelo esquemático de evolución de los depósitos en una sección oeste-este de Cabo San Lázaro a Puerto San Carlos (escala vertical exagerada)

intervalos de baja temperatura terrestre.

3. Transgresión holocénica (18 000 años AP a la actualidad) que favoreció la erosión y redepositación, en los fondos y costas lagunares recientes, tanto de material de la formación marina pleistocénica como de las paleodunas que la sobreyacen.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma de Baja California Sur y a sus autoridades por el apoyo institucional para el desarrollo del proyecto de investigación que condujo al presente trabajo. A la Universidad Nacional Autónoma de México a través del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, estación Mazatlán, y del Instituto de Geología, por su apoyo material y humano en todo el trabajo experimental que se desarrolló en sus laboratorio de Química Marina y Geoquímica, respectivamente. A la misma UNAM, a través de la Dirección General de Intercambio Académico, por la asignación de una beca para el desarrollo de la tesis; particularmente a su personal del departamento de Becas Nacionales por sus consideraciones. A la Secretaría de Educación Pública, a través de la Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica, por su contribución financiera para el desarrollo del trabajo de campo y laboratorio.

Agradezco personalmente el apoyo del Dr. Federico Páez Osuna que a través de sus consejos, orientaciones y ánimos impulsó la realización de este trabajo. A los miembros del comité asesor de la tesis y del jurado del examen de grado por sus observaciones y recomendaciones en la revisión del manuscrito: Dr. Adolfo Molina Cruz, Dr. Arturo Carranza Edwards, Dr. Eduardo Aguayo Camargo, Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez, Dra. Leticia Rosales Hoz y Dr. Mario Gutiérrez Estrada. Al personal administrativo del proyecto académico por sus atenciones.

LITERATURA CITADA

Acosta-Ruiz, M.J. y Lara-Lara, R., 1978. Resultados fisicoquímicos en un estudio de variación diurna en el área central de bahía Magdalena, BCS. *Ciencias Marinas*, 5(1):37-46.

Adams, A.E., MacKenzie, W.S. y Guilford, C., 1984. *Atlas of sedimentary rocks under the microscope*. John Wiley and Sons. New York. 104 p.

Ames, L.L., 1959. The genesis of carbonate-apatite. *Econ. Geol.*, 54: 829-841.

Atschuler, Z.S., 1980. The geochemistry of trace elements in marine phosphorites, Part I. Characteristic abundances and enrichment. In: Bentor, Y.K. (ed), *Marine phosphorites-geochemistry, occurrence, genesis*. Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Pub. 29:19-30.

Alvarez-Arellano, A.D., 1992. Las arenas fosfáticas de la zona costera suroeste de la península de Baja California. In: Carrillo-Chávez, A. y Alvarez-Arellano, A. (eds), *Primera Reunión Internacional sobre geología de la península de Baja California*. Memorias:11-22

Alvarez-Arellano, A.D. y Páez-Osuna, F., 1995. Estudio geoquímico de siete muestras de las formaciones fosfáticas del sur de la península de Baja California. *Geofísica Internacional* (aceptado).

Alvarez-Borrego, S., Galindo-Bect L.A., y Chee-Barragán, A., 1975. Características hidroquímicas de bahía Magdalena, BCS. *Ciencias Marinas*, 2(2):94-109.

Askren, D. y Badan, A., 1978. *Conceptos de oceanografía física*. School of Oceanography. Oregon State University. 160 p.

Beal, H.C., 1948. *Reconnaissance of the geology and oil possibilities of Baja California, México*. Geol. Soc. of Am. Memoir 31:138 p.

Bentor, Y.K., 1980. Phosphorites-The unsolved problems. In: Bentor, Y.K. (ed), *Marine phosphorites-geochemistry, occurrence, genesis*. Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ. 29:3-18.

Birch, G.F., 1980. *A model of penecontemporaneous phosphatization by diagenetic and authigenic mechanisms from the western margin of Southern Africa*. Soc. Econ. Paleont. Miner., Spec. Publ. 29:79-100.

Blake, M.C, Jayko, A.S., Moore, T.E., Chávez, V.E., Saleeby, J.B. y Seel, K., 1984. Tectonostratigraphic terranes of Magdalena island, Baja California Sur. In: V.A. Frizzell, Jr. (ed), *Geology of the Baja California peninsula: Pacific Section SEPM*, v. 39:183-191.

Bushinsky, G.I., 1964. On shallow water origin of phosphorite sediments. In: Straaten, L.M.J.V. (ed), *Deltaic and shallow marine deposits*. Amsterdam Elsevier:62-70.

Burnett, W.C., 1977. Geochemistry and origin of phosphorite deposits from off Peru and Chile. *Geol. Soc. Am. Bull.* 88:813-823.

Burnett, W.C., Veeh, H.H. y Soutar, A., 1980. U-Series, oceanographic and sedimentary evidence in support of recent formation of phosphate nodules off Peru. In: Bentor, Y.K. (ed), *Marine phosphorites-geochemistry, occurrence, genesis*. Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ. 29:61-72.

Burnett, W.C., Roe, K.K. y Piper, D.Z., 1983. Upwelling and phosphorite formation in the ocean. In: Suess, E. y Thiede, J. (eds), *Coastal upwelling and its sediment record, Part A*, New York, Plenum Press: 377-396.

Burnett, W.C., 1990. Phosphorite growth and sediment dynamics in the Modern Peru shelf upwelling system. In: Burnett, W.C. y Riggs, S.R. (eds), *Phosphate deposits of the world*, Cambridge University Press, 3: 62-72.

Carranza-Edwards, A., Gutiérrez-Estrada, M. y Rodríguez-Torres, R., 1975. Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. *An. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 2(1):81-88.

Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L. y Lozano-Santa Cruz, R., 1988a. Estudio de metales en arenas de playa de San Antonio del Mar, BC, México. *An. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 15(1):215-222.

Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., Lozano-Santa Cruz, R., 1988b. Estudio sedimentológico de playas del estado de Oaxaca México. *An. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 15(2):23-38.

Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., Aguirre-Gómez, A. y Galán-Alcalá, A., 1988c. Estudio de metales en sedimentos litorales de Sonora, México. *An. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 15(2):225-234.

Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., Ruiz-Ramírez, E. y Santiago-Pérez, S., 1989. Investigatios of phosphorite deposits in the Gulf of Tehuantepec, México. *Marine Mining*, 8:317-323.

Chávez-López, S. y Sarracino-Ramírez, D., 1988. Estudio sedimentológico y morfológico de la laguna Santo Domingo, BCS, México. Tesis de licenciatura. Univ. Autón. de Baja Calif. Sur :95 p.

Chester, R., 1990. *Marine geochemistry*. Unwin Hyman. Boston-Sydney-Wellington.:462 p.

Christensen, N. y Rodríguez, N., 1979. A study of sea level variations and currents of Baja California. *J. Phys. Ocean.*, 9(3):177-184, Reimpreso de Colección de reimpresos, CICESE (1979):

Cook, P.J., Shergold, J.H., Burnett, W.C. y Riggs, S.R., 1990. Phosphorite research: a historical overview. In: Notholt, A.J.G. y Jarvis, I, (eds), *Phosphorite research and development*. Geol. Soc. Spec. Publ. 52:1-22.

Cullity, B.D., 1959. *Elements of X-ray diffraction*. Addison-Wesley Pub. Co. Inc.: 514 p.

Dana, E.S. y Ford, W.E., 1969. *Tratado de mineralogía*. CECSA, 912 p.

Davis, J.C., 1973. *Statistics and data analysis in Geology*. John Wiley, New York, 646 p.

D'Anglejan, B.F., 1967. Origin of marine phosphorites off Baja California, México. *Mar. Geol.*, 5:15-44.

Defense Mapping Agency USA, 1976. Bahia Magdalena. North America-México, Baja California west coast. Chart 21121, Hydrographic Topographic Center, Washington, D.C., esc. 1:72 270.

Fellows, P.M., y Spears, D.A., 1978. The determination of feldespars in mudrocks using an X-ray powder diffracton method. *Clays and Clay Miner.*, 26(3):231-236.

Flugel, E., 1982. *Microfacies analysis of limestones*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.

Folk, R.L., 1951. Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *J. Sedim. Petrol.*, 21:127-130.

Folk, R.L., 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphills, Austin, Texas. 159 p.

Friedman, G.M., 1962. On sorting, sorting coefficients and the lognormality of the grain-size distribution of sandstones. *J. Geol.*, 70:737-753.

Friedman, G.M., 1967. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *J. Sediment. Petrol.*, 37:327-354.

Friedman, G.M. y Sanders, J.E., 1978. *Principles of sedimentology*. John Wiley & Sons, 792 p.

Galli-Olivier, C., Garduño, C.G. y Gamiño, J., 1990. Phosphorite deposits in the Upper Oligocene, San Gregorio Formation at San Juan de la Costa, BCS, México. In: Burnett, W.C. y Riggs, S.R. (eds), *Phosphate deposits of the world v. 3, Neogene to modern phosphorites*. Cambridge University Press: 122-126.

Galli-Olivier, C., 1993. Fosforita de San Juan de la Costa (bahía de La Paz), BCS, México: 17 años de investigaciones. Univ. Autón. de Baja Calif. Sur. *Rev. Inv. Cient.* 4(1):115-135.

García, E. y Mosiño, P., 1967. Los climas en Baja California. Inst. Geogr. Univ. Nac. Autón. de México, 27 p.

García-Escobar, H., 1993. Análisis de viento frente a bahía San Hipólito y el área comprendida entre bahía Magdalena y Cabo San Lucas, BCS, en junio y julio de 1989. *Inv. Mar. CICIMAR*, 8(2):95-96.

Gómez, J. y Vélez, H., 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la corriente de California. *Ciencias Marinas*, 8(2):167-176.

Gómez, J., 1984. Estructura hidrológica promedio frente a Baja California. *Ciencias Marinas*, 9(2):66-75.

Green-Ruiz, C.R. y Larrinaga-Cunningham, H., 1986. Sedimentología y geoquímica de la laguna de La Paz, BCS. Tesis de licenciatura. Univ. Autón. de Baja Calif. Sur :80 p.

Guilbert, J.M. Y Park, Ch.F., 1986. *The geology of ore deposits*. W.H. Freeman and Co. N.Y., 946 p.

Gulbrandsen, R.A., 1966. Chemical composition of phosphorites of the Phosphoria Formation. *Geochim. Cosmochim. Acta* 30:769-778.

Gutiérrez-Galindo, E., Flores-Muñoz, G., Ortega-Lara, V. y Villaescusa-Celaya, A., 1994. Metales pesados en sedimentos de la costa fronteriza Baja California (México)-California (EUA). *Ciencias Marinas*, 20(1):105-121.

Heim, A., 1922. Notes on the Tertiary of southern lower California. *Geol. Mag.* 59:529-547.

Heinrich, E. W., 1965. *Identificación microscópica de los minerales*. Urmo, S.A. de Ediciones, Bilbao: 456.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 1981. Carta de climas. Hoja La Paz. Escala 1:1 000 000.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 1981-1984. Cartas geológicas y topográficas. Hojas La Paz, San Isidro, Santa Rosalía, Guerrero Negro, Loreto y San José del Cabo. Escala 1:250 000.

INEGI-FI-UNAM (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México), 1984. Geología de la República Mexicana, 88 p.

Jahnke, R.A., Emerson, S.R., Roe, K.K. y Burnett, W.C., 1983. The present day formation of apatite in mexican continental margin sediments. *Geochem. Cosmochem. Acta* v. 47: 259-266.

Kennet, J., 1982. *Marine Geology*. Prentice-Hall, Nueva York: 812 p.

Knauer, G.A. y Martin, J.H., 1981. Phosphorus-Cadmium cycling in northeast Pacific waters. *J. Mar. Res.*, 39:65-76.

Kolodny, Y., 1981. Phosphorites. In: C. Emiliani (Ed), *The Sea, The Oceanic Lithosphere*, Vol. 7, John Wiley & Sons Inc., New York, 981-1023.

Krauskopf, K.B., 1979. *Introduction to geochemistry*. McGraw-Hill Book Company: 617 p.

Krumbein, W.C., 1936. Application of logarithmic moments to size-frequency distributions of sediments. *J. Sed. Petrol.*, 6:35-47.

Lamboy, M., 1990. Microbial mediation in phosphatogenesis: new data from the cretaceous phosphatic chalk of northern France. In: Notholt, A.J.G. y Jarvis, I, (eds), *Phosphorite research and development*. Geol. Soc. Spec. Publ. 52:157-167.

Langbein, R.K. y Schumm, J.L.H., 1958. *Hidrología para ingenieros*. McGraw-Hill Latinoamericana S.A. :386 p.

Lankford, R.R., 1977. Coastal lagoons of Mexico: Their origin and classification. In: Wiley, M. (ed), *Estuarine Processes*, 2. Academic Press. New York, 428 p.

Levinson, A.A., 1974. *Introduccion to exploration geochemistry*. Applied Publishing Ltd. Wilmette, Ill., USA: p.

López-Ramos, E., 1983. *Geología de México*. Edición del autor, Tomo III:453 p.

Lozano, R.F., 1975. Evaluación petrolífera de la península de Baja California. *Bol. Asoc. Mex. de Geol. Petrol.*, 27(4):329 p.

Lugo-Hubp, J., 1989. *Diccionario geomorfológico*. Instituto de Geografía, UNAM:337 p.

MacKenzie, W.S. y Guilford, C., 1980. *Atlas of rock-forming minerals in thin section*. Longman Scientific and Technical: 98 p.

Manheim, F.T., Pratt, R.M. y McFarlin, P.F., 1980. *Composition and origin of phosphorite deposits of the Blake Plateau*. *Soc. Econ. Paleont. Miner., Spec. Publ.*, 29:117-137.

Maraver-Romero, D., 1992. *Geología y explotación por fosfato en el yacimiento Santo Domingo, BCS, México*. Tesis de licenciatura. Univ. Autón. de Baja Calif. Sur :71 p.

Martens, C.S. y Harris, R.C., 1970. Inhibition of apatite precipitation in the marine environment by Mg-ions. *Geochem. Cosmochem. Acta*, 34: 621-625.

Mattaver, R., 1976. *Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre*. Omega, Barcelona:524 p.

Mayer, L.M. y Fink, K., 1980. Granulometric dependence of Chromium accumulation in estuarine sediments in Maine. *Estuar. Coast. Mar. Sci.* 11:491-503.

Mina U., F., 1975. Bosquejo geológico del Territorio Sur de Baja California. *Bol. Asoc. Mex. de Geol. Petrol.*, 9(3-4):139-269.

Moore, D.G. y Curray, J.R., 1982. *Geologic and tectonic history of the Gulf of California*. Initial Reports, Deep Sea Drilling Project, 64(2)1279-1293.

Morrison, D.F., 1967. *Multivariate statistical methods*. New York: McGraw-Hill.

Mullins, H.T. y Rasch, R.F., 1985. Sea-floor phosphorites along the central California continental margin. *Econ. Geol.*, 80:696-715.

Murillo, J.M., Osborne, R.H. y Gorsline, D.S., 1994. Fuentes de abastecimiento de arena de playa en isla Creciente, BCS: Análisis de Fourier para forma de granos. *Ciencias Marinas*

Osuna-López, J.I., Páez-Osuna, F y Ortega-Romero, P., 1986. Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn en los sedimentos del puerto y antepuerto de Mazatlán. *Ciencias Marinas* 12(2):35-45.

Páez-Osuna, F., Fong-Lee, R.F. y Hernández-Pérez, H., 1984. Comparación de tres técnicas para analizar materia orgánica en sedimentos. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México.*, 1(1):257-264.

Páez-Osuna, F., Botello, A.V. y Gutiérrez, S., 1986. Heavy metals in Coatzacoalcos estuary and Ostión lagoon, México. *Mar. Poll. Bull.*

Páez-Osuna, F. y Osuna-López, J.I., 1987. Acumulación de metales pesados en Mitla: una laguna costera tropical. *Ciencias Marinas*, 13(3):97-112.

Páez-Osuna, F. y Osuna-López, J.I., 1990. Heavy metals distribution in geochemical fractions of surface sediments from the lower Gulf of California. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 17(2):287-298.

Páez-Osuna, F., Bojórquez-Leyva, H. y Osuna-López, I., 1991. Accumulation and distribution of phosphorus in sediments of the Gulf of California. *Mar. Min.*, 10:285-301.

Prevot, L. y Lucas, J., 1980. Behavior of some trace elements in phosphatic sedimentary formations. *Marine Phosphorites, a Symposium*. Soc. Econ. Pal. Min. Special Publication No. 29: 31-40.

Prieto-Mendoza, J., 1991. Características petrográficas de las masas fosfáticas de la Formación San Gregorio (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior) y de los sedimentos modernos, BCS, México. Tesis de licenciatura. Univ. Autón. de Baja Calif. Sur :68 p.

Purnachandra-Rao, V., 1986. Phosphorites from the Error Seamount, northern Arabia Sea. *Mar. Geol.*, 71:177-186.

Raiz, E., 1964. Landforms of Mexico. Office of Naval Research, Cambridge, Mass. Mapa a escala 1:4000 000.

Rangin, C. 1979. Evidence for superimposed and collision processes during Jurassic-Cretaceous time along Baja California continental borderland. In: Abbot, P.L. y Gastil, R.G. (eds), *Baja California Geology*, San Diego State University Publications p. 37-51.

Reimers, C.E., Kastner, M. y Garrison, R.E., 1990. The role of bacterial mats in phosphate mineralization with particular reference to the Monterey Formation. In: Burnett, W.C. y Riggs, S.R. (eds), *Phosphate deposits of the world v. 3, Neogene to modern phosphorites*. Cambridge University Press: 300-311.

Reyes-Coca, S. y Rojo-Salazar, P., 1985. Variabilidad de la precipitación en la península de Baja California. *Rev. Geof.* (22/23):111-128, reproducido en Colección de Reimpresos CICESE (1986-II):152-169.

Reyes-Coca, S., Pavía-López, E., Candela-Pérez, J. y Troncoso-Gaitán, R., 1984. Estudio preliminar de las condiciones meteorológicas y climatológicas alrededor del Golfo de California, 1a. parte: análisis del viento. *Cienc. Mar.* 10(2):9-26.

Riggs, R.S., 1979. Petrology of the Tertiary phosphorite system of Florida. *Econ. Geol.*, 74: 195-220.

Riley, J.P. y Chester, R., 1971. *Introduction to marine chemistry*. Academic Press London and New York 465 p.

Secretaría de Marina, 1987. Carta isobatimétrica. Zona económica exclusiva y márgenes continentales del oeste de México.

Salinas-González, F. y Pinet-Planscencia, R., 1991. Corrientes geostróficas frente a bahía Magdalena, BCS, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 6(2):251-258.

Schwartzlose, R y Reid, J.L., 1972. Near shore circulation in the California current. *CalCOFI Report* 16:57-65.

Schwennicke, T., 1993. Deep and shallow water phosphorite-bearing strata of the Upper Oligocene of Baja California, México (San Juan Member, El Cien Formation). *Zbl. Geol. Palaont. Teil.*, (1/2):567-580.

Selley, R.C., 1976. *An Introduction to sedimentology*. Academic Press, 408 p.

Sheldon, R.P., 1980. Episodicity of phosphate deposition and deep oceanic circulation- a hypothesis. In: Bentor, Y.K. (ed), *Marine phosphorites-geochemistry, occurrence, genesis*. Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ. 29:239-247.

Sheldon, R.P., 1982. Phosphate rock. *Sci. Am.*, 246:45-51

Slansky, M., 1986. *Geology of sedimentary phosphates*. Elsevier. New York, Amsterdam, Oxford. 210 p.

Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* 30:377-392.

Williams, H., Turner, F.J. y Gilbert, Ch., 1980. *Petrografía. Introducción al estudio de las rocas en secciones delgadas*. CECSA: 430 p.

Wooster, W.S. y Reid Jr, J.L., 1963. Eastern boundary currents. *The Sea*, 2:253-280.

Yeats, R.S. y Haq, B.U., 1981. Deep-sea drilling off the Californias: implications of Leg 63. In: Yeats, R.S. y Haq, B.U. , *Initial Reports DSDP, 63*: Washington (U.S. Govt. Printing Office), 949-961.

Zanin, Yu.N., Zverev, K.V., Solotchina, E.P., 1990. Clay minerals and phosphorite genesis in the Upper Cretaceous of the northern Siberian plataform. In: Notholt, A.J. y Jarvis, I. (eds), *Phosphorite research and development*. Geol. Soc. Sp. Pub. 52:223-235.

Zárate-Vidal, S.E., 1991. La costa occidental de Baja California. Corriente de California. In: De la Lanza-Espino, G. (ed), *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT Editor, :287-295.

ANEXOS

Anexo 1.

Distribución porcentual de tamaño de sedimentos por intervalo de clase.

Muestra	Punto medio del intervalo de clase (unidades Phi)							
	<-2.5	-1.5	-0.5	0.5	1.5	2.5	3.5	>4.5
1	7.12	20.17	24.45	28.34	16.30	2.34	0.55	0.72
2	-	0.17	0.62	6.71	64.63	27.25	0.61	0.01
3	-	0.13	0.12	1.81	12.58	61.67	23.55	0.12
4	-	0.67	1.37	6.74	27.08	48.06	12.64	3.41
5	-	-	-	0.24	22.84	70.63	6.21	0.05
6	-	-	0.01	1.86	14.84	64.25	18.95	0.09
7	-	-	-	1.56	10.84	71.86	15.64	0.08
8	-	-	-	-	0.27	83.92	15.76	0.04
9	-	4.75	1.31	2.66	15.28	59.43	15.19	1.35
10	-	5.61	6.59	10.31	19.48	42.52	11.91	3.57
11	-	-	-	-	0.36	82.41	17.14	0.07
12	-	-	0.02	1.65	23.57	62.95	11.71	0.07
13	-	-	-	1.91	14.73	74.19	9.07	0.06
14	-	-	-	0.05	7.86	84.05	7.97	0.05
15	7.39	13.51	12.49	17.29	26.61	17.35	4.36	0.95
16	-	0.52	1.33	11.39	48.35	35.64	2.47	0.27
17	-	0.21	2.53	12.27	50.01	33.71	1.25	0.01
18	-	0.02	0.12	0.52	5.87	51.97	32.01	9.47
19	-	-	-	0.09	20.15	71.16	8.56	0.01
20	-	0.16	0.08	0.83	17.91	72.34	8.61	0.05
21	-	8.66	27.32	47.06	14.72	2.05	0.06	0.09
22	-	0.75	4.18	4.99	5.94	29.01	26.21	28.80
23	-	-	0.01	0.08	3.31	72.57	23.79	0.23
24	-	-	-	0.08	6.88	75.47	17.41	0.14
25	-	0.39	0.22	5.56	21.97	52.51	13.68	5.66

Continúa

Continúa anexo 1

26	-	2.24	0.91	0.95	8.21	55.79	29.81	2.08
27	-	0.07	0.23	6.12	41.07	45.11	7.04	0.33
28	-	-	-	-	3.97	85.98	9.95	0.09
29	-	-	-	0.03	0.42	73.26	25.92	0.35
30	-	-	-	1.62	13.11	43.16	15.83	26.20
31	-	-	-	0.21	2.41	74.53	21.74	1.11
32	-	0.11	0.17	0.37	5.06	48.72	38.75	6.82
33	-	-	0.31	1.47	9.41	66.48	21.78	0.53
34	-	-	9.41	3.99	6.78	20.39	40.41	19.0
35	-	-	-	1.41	1.85	3.19	52.82	40.70
36	-	2.04	3.18	3.55	5.35	15.68	45.79	24.30
37	5.24	18.83	28.27	22.21	13.28	5.39	5.08	1.66
38	-	-	0.61	1.47	4.68	23.91	66.63	2.71
39	-	0.08	0.45	1.69	6.16	44.59	45.61	1.42
40	-	0.81	0.97	1.47	2.91	8.63	65.87	19.30
41	-	3.84	5.38	6.21	6.01	6.75	46.47	25.30
42	-	0.76	0.77	0.46	1.17	2.61	53.53	40.60
43	-	1.88	2.13	8.69	16.73	31.53	34.89	4.13
44	-	0.14	0.71	2.93	13.41	59.58	22.48	0.74
45	-	0.16	0.83	2.99	7.42	41.66	42.96	3.96
46	-	0.52	1.13	6.15	20.21	54.52	15.19	2.28
47	-	0.18	0.27	0.46	0.97	26.07	48.89	23.10
48	-	3.51	2.14	1.45	1.75	30.61	50.21	10.30
49	-	0.85	1.03	2.69	9.97	37.74	36.01	11.60
51	6.93	7.63	22.32	34.92	19.03	7.72	1.29	0.13
52	-	0.62	0.18	0.21	1.31	6.61	69.13	21.90
53	-	-	0.11	0.17	0.84	1.41	56.47	41.00
54	-	-	-	-	-	1.81	31.71	66.40
55	-	-	-	-	-	2.86	51.01	46.10
56	4.03	9.37	12.91	14.61	7.43	16.56	30.09	4.98
57	-	0.07	0.22	2.18	14.07	57.11	24.42	1.93
58	-	0.06	0.28	1.14	11.87	73.81	12.04	0.76
59	-	-	-	-	7.65	45.72	22.93	23.7
61	-	1.61	0.22	0.78	26.81	67.56	2.12	0.88
62	2.83	5.95	9.58	7.33	39.56	32.71	1.51	0.51
63	-	0.57	1.48	3.58	42.76	49.92	1.62	0.04
64	-	0.08	1.07	6.02	16.46	54.02	15.97	6.35
65	0.41	2.02	9.33	10.95	25.21	47.25	4.61	0.19
66	-	0.11	0.22	0.52	5.94	81.26	9.52	2.41
67	-	0.02	0.03	0.17	6.01	86.65	6.89	0.21
68	2.37	7.91	14.18	11.61	17.13	38.28	7.68	0.79
69	0.66	3.96	13.81	20.97	19.62	33.23	5.77	1.96
70	-	-	-	0.02	4.59	86.76	8.41	0.21
71	18.31	22.95	24.02	17.11	9.71	6.53	1.17	0.18
72	0.58	0.81	0.82	0.57	6.14	77.65	12.94	0.44
73	-	0.01	0.01	0.04	4.25	83.21	12.21	0.24
74	-	-	0.03	0.02	0.56	81.71	17.26	0.41

Continúa

Continúa anexo 1

75	-	-	0.01	0.03	0.24	79.14	19.81	0.75
76	-	3.24	8.71	13.06	19.52	37.71	16.63	1.08
77	-	0.31	1.69	14.51	52.03	27.85	2.69	0.88
78	-	0.11	0.28	0.57	1.83	77.37	19.16	0.64
79	-	0.01	0.04	0.05	0.81	65.75	24.83	8.51
80	-	0.11	0.21	0.41	17.33	70.56	10.13	1.24
81	-	0.78	0.24	0.32	19.71	73.72	4.03	1.17
82	-	0.29	0.42	1.53	22.07	73.08	2.45	0.13
83	-	-	0.01	0.08	0.42	76.06	22.94	0.45
84	6.13	24.27	26.92	19.78	12.21	7.81	2.39	0.46
85	-	0.02	0.04	0.07	1.79	80.51	17.21	0.34
86	-	0.12	0.11	0.36	7.73	81.65	9.75	0.27
87	0.99	0.04	0.05	0.13	19.55	70.64	6.42	2.13
88	-	-	0.01	0.08	0.54	82.41	16.69	0.25
89	-	-	0.14	0.17	1.58	87.19	8.73	2.17
90	-	0.01	0.01	0.05	1.73	83.34	9.03	5.79
91	0.58	0.56	0.21	0.31	4.91	88.49	4.75	0.14
92	1.43	1.71	3.48	4.04	53.63	34.81	0.43	0.43
93	-	4.11	4.71	5.15	10.72	53.21	18.81	3.21
94	-	-	0.01	0.01	4.01	91.33	4.56	0.07
95	-	0.02	0.02	0.16	0.92	92.59	5.96	0.29
96	-	-	-	0.14	10.21	65.37	14.26	9.99

Anexo 2.

Parámetros texturales de los sedimentos.

Muestra	Media	Dev.St.	Sesgo	Curtosis
1	-0.10	1.32	0.25	3.11
2	1.70	0.61	0.30	4.82
3	2.56	0.68	-0.74	5.30
4	2.22	0.97	-0.41	4.33
5	2.32	0.52	-0.26	3.52
6	2.50	0.64	-0.40	3.77
7	2.51	0.57	-0.46	4.89
8	2.65	0.37	1.76	4.74
9	2.24	1.13	-1.73	6.79
10	1.76	1.52	-0.67	2.57
11	2.66	0.38	1.61	4.35
12	2.34	0.63	-0.25	3.42
13	2.40	0.55	-0.68	5.19
14	2.50	0.40	0.08	6.61
15	0.66	1.67	-0.24	2.22
16	1.75	0.79	-0.47	4.34
17	1.68	0.77	-0.59	3.70
18	2.93	0.77	0.13	3.57
19	2.38	0.52	-0.15	3.49
20	2.38	0.56	-0.91	7.61
21	0.24	0.89	0.00	3.31
22	3.02	1.37	-1.00	3.71
23	2.70	0.49	0.46	3.76
24	2.60	0.49	0.27	4.29
25	2.39	0.93	-0.13	4.19
26	2.62	0.96	-1.91	9.41
27	2.03	0.74	-0.08	3.40
28	2.56	0.37	0.79	7.26
29	2.76	0.45	1.01	2.96
30	3.01	1.06	0.07	2.06
31	2.71	0.49	0.78	4.83
32	2.95	0.74	-0.27	4.89
33	2.59	0.64	-0.58	5.44
34	2.85	1.45	-1.07	3.32
35	3.79	0.74	-1.63	7.77
36	3.14	1.35	-1.57	5.41

Continúa

Continúa anexo 2

37	0.14	1.56	0.64	3.08
38	3.12	0.73	-1.77	7.54
39	2.87	0.74	-1.13	5.83
40	3.42	0.93	-2.37	11.43
41	2.97	1.63	-1.34	3.83
42	3.77	0.87	-2.91	16.46
43	2.45	1.23	-0.92	3.78
44	2.52	0.76	-0.88	5.45
45	2.84	0.87	-1.08	5.36
46	2.31	0.91	-0.68	4.77
47	3.41	0.80	-0.88	6.21
48	2.95	1.23	-2.01	7.71
49	2.87	1.05	-0.97	5.19
51	0.30	1.32	-0.18	2.97
52	3.58	0.73	-2.64	18.66
53	3.86	0.59	-1.09	8.05
54	4.14	0.51	-1.00	2.83
55	3.93	0.55	-0.24	2.03
56	1.57	1.99	-0.40	1.90
57	2.58	0.75	-0.40	4.37
58	2.48	0.59	-0.60	7.47
59	3.12	0.92	0.22	1.96
61	2.18	0.73	-2.03	12.39
62	1.31	1.35	-1.05	3.62
63	1.95	0.71	-1.23	6.40
64	2.46	0.96	-0.25	3.88
65	1.69	1.16	-0.99	3.53
66	2.56	0.55	0.00	11.54
67	2.50	0.38	0.21	11.79
68	1.32	1.58	-0.60	2.39
69	1.37	1.39	-0.27	2.52
70	2.54	0.37	0.70	8.43
71	-0.47	1.53	0.51	2.57
72	2.47	0.76	-3.11	19.66
73	2.58	0.41	0.60	7.53
74	2.67	0.40	1.41	6.11
75	2.70	0.43	1.45	5.33
76	1.84	1.33	-0.65	2.77
77	1.67	0.82	0.02	4.27
78	2.66	0.52	-0.72	12.38
79	2.90	0.66	1.02	3.84
80	2.43	0.61	-0.25	6.94
81	2.32	0.64	-1.61	13.46
82	2.25	0.57	-1.70	10.07
83	2.73	0.44	1.09	4.08
84	-0.07	1.48	0.54	2.75
85	2.65	0.43	0.72	7.69

Continúa anexo 2

86	2.51	0.47	-0.91	12.88
87	2.35	0.76	-2.19	18.24
88	2.66	0.39	1.40	5.82
89	2.60	0.44	1.46	13.33
90	2.68	0.55	2.00	7.89
91	2.43	0.60	-4.94	38.55
92	1.65	0.97	-1.77	8.15
93	2.23	1.28	-1.26	4.62
94	2.50	0.29	0.21	13.20
95	2.55	0.29	1.07	25.26
96	2.72	0.50	1.61	5.78

Anexo 3.

Cargas de factores (Factor Scores) resultado del Análisis de Factores

Muestra	Factor 1	Factor 2	Factor 2
1	0.38152	-0.67557	0.69819
2	0.04080	-0.44990	0.28765
3	-0.72085	-0.34468	0.26964
4	-0.74269	-0.54203	0.82482
5	-0.06768	-0.01593	-0.38138
6	-0.52857	-0.22217	-0.31484
7	-0.48832	-0.05827	-0.56149
8	0.53385	0.80843	-1.21952
9	-0.12460	0.11061	-0.65762
10	0.20127	-0.01164	-0.40551
11	0.00473	0.13268	-0.85435
12	-0.30383	0.28521	-0.70593
13	-0.33546	0.13317	-0.19625
14	0.27196	0.31750	-0.31702
15	-0.31017	-0.13894	0.05355
16	0.42494	-0.11120	-0.91701
17	-0.15141	-0.06126	0.07915
18	0.75965	-0.24548	-0.28447
19	0.02612	0.30407	-0.92341
20	-0.45545	-0.16934	-0.46088
21	0.55028	-0.40726	-0.36713
22	0.81902	-0.53876	0.63556
23	0.34235	0.20235	-1.06641
24	0.22979	0.35277	-0.81322
25	0.42131	-0.31501	-0.02165
26	-0.33412	-0.27776	-0.22315
27	-0.36657	-0.38259	-0.52179
28	0.52652	-0.05812	-0.8013
29	2.01049	0.05373	-0.56137
30	-0.03862	-0.36686	-0.79821
31	-0.28871	-0.28445	-1.06352
32	0.76191	-0.31898	-1.00699
33	-0.10491	0.20087	-0.73085
34	0.13626	-0.01973	-0.11681
35	0.28862	-0.16762	0.22047
36	0.34233	-0.22357	0.62414
37	-0.19513	-0.63063	2.66195
38	-0.15828	-0.23081	0.18558
39	-0.26698	-0.03077	-0.07212
40	-0.02143	-0.48851	1.05418

Continúa anexo 3

41	-0.54994	-0.64888	2.59063
42	-0.04458	-0.23023	0.69770
43	-0.24599	-0.26442	0.42152
44	-0.27424	-0.08229	-0.72638
45	-0.41760	-0.34909	0.45203
46	-0.06448	-0.16256	-0.41923
47	0.13999	-0.03624	0.34487
48	-0.19369	-0.02686	0.75413
49	-0.13516	-0.04996	-0.02228
50	-0.37836	-0.04104	-0.03091
51	-0.16802	-0.20071	0.51523
52	0.03019	-0.25926	-0.26475
53	-0.14230	0.43559	-0.51762
54	0.03248	-0.01726	0.23799
55	0.14580	-0.41069	0.68972
56	-0.21340	-0.62150	2.07349
57	-0.14495	-0.21993	-0.58947
58	-0.10060	-0.10721	-0.61996
59	-0.27566	0.23099	-0.58925
61	-0.42085	-0.27639	-0.03473
62	0.08812	-0.23850	0.65366
63	-0.39479	-0.28037	-0.02666
64	0.48271	-0.09339	2.08404
65	-0.70229	-0.50373	1.25915
66	-0.41228	-0.10627	-0.87649
67	-0.61022	-0.02310	-0.69104
68	-0.33117	-0.37158	2.34687
69	-0.49493	-0.21209	2.84235
70	-0.89763	-0.46198	0.01390
71	3.72166	0.05815	1.56210
72	-0.58674	-0.11459	-0.51866
73	-0.57140	0.00864	-0.66649
74	-0.63567	-0.28362	-0.92413
75	-0.60372	-0.24284	-1.01369
76	0.96330	-0.34818	1.86736
77	6.63051	-0.90540	-0.33559
78	-0.60360	-0.23222	-0.43919
79	-0.71548	-0.23184	-0.72465
80	-0.43277	0.05055	-0.50364
81	-0.70438	0.11350	-0.57790
82	-0.77958	-0.01692	0.04546
83	-0.74516	-0.25746	-1.04181
84	0.55318	-0.64068	2.25936
85	-0.75974	-0.25876	-0.88030
86	-0.75707	-0.02711	-0.62136
87	-0.74080	0.28140	-0.69390
88	-0.76574	-0.19631	-0.80232
89	-0.84469	-0.30593	-0.79770

Continúa anexo 3

90	-0.75768	-0.18956	-0.83596
91	-0.64393	-0.03225	-0.60996
92	-0.64605	1.07019	1.00615
92	-0.30205	-0.03415	0.78240
94	-0.55541	0.17572	-0.64714
95	-0.46316	0.23437	-0.74548
96	4.61069	0.91063	-2.06263
97	-0.07359	0.14555	-0.51226
98	-0.25267	0.15453	-0.50078
99	-0.36234	0.03569	-0.59685
100	0.03255	1.33269	0.61323
101	0.76876	1.72191	1.89870
102	-0.79047	-0.95907	0.72733
104	0.37436	1.04370	3.23216
105	-0.25058	9.44917	0.62746
106	0.40357	0.51794	-0.43344
107	0.97142	-0.31256	-0.97609
108	1.02430	-0.58985	-0.26167
109	-0.12748	-0.04140	-0.60018
110	-0.29577	-0.51746	1.71500
111	-0.66283	-0.05088	-0.81227

Anexo 4.

Cargas de los factores 1 y 2 (Factor Scores) del Análisis de Factores con muestras depuradas.

Muestra	Factor 1	Factor 2
2	0.41097	-0.11944
6	-0.38227	-1.07298
7	-0.54209	-0.71697
12	0.03576	-1.01145
13	-0.05551	-0.04690
17	0.66069	-0.47579
20	0.16288	-1.87771
24	1.11688	-0.22913
25	1.51617	0.50301
26	0.17427	-0.79710
27	-0.14402	-1.42786
31	-0.16176	-2.04288
33	0.15931	0.24723
34	1.34812	-0.16788
35	1.97624	-0.31450
36	2.20886	-0.00684
37	1.64549	0.37532
38	0.36330	-0.03275
39	-0.16297	0.70665
40	1.26564	0.35763
41	1.50852	0.61352
42	1.76612	-0.08425
43	0.38786	0.11790
44	-0.33693	0.07651
45	-0.17151	0.27226
46	0.33310	-0.21786
47	1.84293	-0.18482
48	0.89883	0.67753
49	0.56780	0.18950
50	0.15378	0.17965
51	0.83334	-0.10431
52	0.88449	-0.67520
53	1.08768	0.09537
54	1.78171	-0.15547
55	1.23860	0.07866
56	1.17956	0.71683
57	-0.06917	-0.48723
58	-0.06920	-0.05195
59	0.49956	-0.09881
61	-0.27670	-0.06712
63	-0.15940	0.02012
65	0.15468	0.00989
66	-0.43193	-0.47204

Continúa anexo 4

67	-1.06332	0.07527
70	-0.65664	-1.23571
72	-0.99266	0.01804
73	-1.11287	0.31702
74	-1.06321	-0.94538
75	-1.11641	-0.71193
78	-0.96355	-0.03590
79	-1.12060	-0.76030
80	-0.90520	1.06981
81	-1.24273	0.47657
82	-0.99667	0.68125
83	-1.25653	-0.99709
85	-1.14510	-0.69479
86	-1.18967	-0.19227
87	-1.12925	0.47034
88	-1.32280	-0.70372
89	-1.33137	-1.34923
90	-1.30232	-0.76017
91	-1.10135	0.21889
92	-0.86279	5.17513
93	0.06545	2.47971
94	-1.05928	0.98882
95	-1.05725	1.39598
98	-0.57554	1.64693
99	-0.69810	1.07426