



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE SUCRE
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE VENEZUELA
COORDINACIÓN DE POSTGRADO EN CIENCIAS MARINAS
PROGRAMA DE MAESTRÍA MENCIÓN OCEANOGRAFÍA QUÍMICA

BATIMETRÍA Y EVALUACIÓN DE SEDIMENTOS RECIENTES DEL GOLFO DE
CARIACO, VENEZUELA

Ing. FRANCISCO JOSÉ PINTO GARCÍA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR EL TÍTULO MAGISTER SCIENTIAUM EN CIENCIAS MARINAS
MENCIÓN OCEANOGRAFÍA QUÍMICA

CUMANÁ, 2012



CEPCM/TG-14-2012

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
NÚCLEO DE SUCRE
POSTGRADO EN CIENCIAS MARINAS

ACTA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO

Nosotros, Prof. Gregorio Martínez, Prof. Carlos Yanez, Profa. María Valentina Fuentes, integrantes del jurado designado por la Comisión Coordinadora del Programa de Postgrado en Ciencias Marinas, para examinar el Trabajo de Grado intitulado: **"BATIMETRÍA Y SEDIMENTOS RECIENTES EN EL GOLFO DE CARIACO, VENEZUELA"**, presentado por el **Ing. Francisco Pinto, C.I: 13.836.303**, a los fines de cumplir con el requisito legal para optar al grado de *Magister Scientiarum* en Ciencias Marinas, Mención Oceanografía Química.

Hacemos constar que hemos examinado el mismo e interrogado al postulante en sesión pública celebrada hoy, a las 9:00 a.m., en la Sala de Reuniones "Dr. Pedro Roa Morales", del Instituto Oceanográfico de Venezuela.

Finalizada la defensa del trabajo por parte del postulante, el jurado decidió **APROBARLA** por considerar, sin hacerse solidario de las ideas expuestas por el autor, que el mismo, se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado de la institución.

En fe de lo anterior, se levanta la presente acta, que firmamos conjuntamente con la Coordinadora del Postgrado en Ciencias Marinas en la ciudad de Cumaná, a los nueve días del mes de agosto de dos mil doce.

Jurado Examinador:

Prof. Gregorio Martínez (Tutor) 

Prof. Carlos Yanez 

Profa. María Valentina Fuentes 

Coordinadora Programa de Postgrado:

Dra. Mary Isabel Segnini de Bravo


Firma y Sello 

ÍNDICE

<u>DEDICATORIA.....</u>	<u>I</u>
<u>AGRADECIMIENTOS.....</u>	<u>II</u>
<u>LISTA DE TABLAS.....</u>	<u>III</u>
<u>LISTA DE FIGURAS.....</u>	<u>IV</u>
<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>1</u>
<u>METODOLOGÍA.....</u>	<u>7</u>
<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</u>	<u>45</u>
<u>BIBLIOGRAFÍA.....</u>	<u>88</u>
<u>ANEXOS.....</u>	<u>96</u>
<u>Hoja de Metadatos.....</u>	<u>99</u>

DEDICATORIA

A Dios, a la vida,

A mis padres, a mi esposa e hijos y a mis hermanas.

"Lo importante es no dejar de hacerse preguntas"

(Albert Einstein)

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Armando Ramírez, porque sus consejos y palabras están siempre presentes, no solo a nivel profesional sino personal. Con una visión extraordinaria y una manera simple de explicar temas complejos. Gracias Prof....

Al Prof. Gregorio Martínez, por ser tutor, guía, y un gran amigo. A la Prof. Mayre Jiménez por haberme dado una oportunidad y confiar en mí. Al Dr. Luis Felipe Caraballo, por su tiempo y consejos.

Al Dr. José Arismendi y Msc. Santiago Yepéz de la Fundación Instituto de Ingeniería, por la gran ayuda que me prestaron en la elaboración de este estudio.

Al mi familia del departamento de Oceanografía.

Al Prof. Carlos Yanes, María Rodríguez y Nayer Aranguren, en el Instituto de Ciencias de la Tierra.

A mi esposa Liliana, mi hijo Luis Francisco, y toda mi familia, por su comprensión y paciencia.

Gracias a todos los que de una u otra manera participaron en este estudio.

Y quiero finalizar agradeciendo a las instituciones que hicieron posible este estudio: Universidad de Oriente (UDO), Instituto Oceanográfico de Venezuela (IOV), Universidad Central de Venezuela (UCV), Instituto de Ciencias de la Tierra (ICT), Fundación Instituto de Ingeniería (FII).

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de Kc, con la interpretación de las formas y características de las cuencas hidrográficas, según Gravelius.....	18
Tabla 2. Resumen de las formaciones geológicas, tipos de rocas y minerales, de la zona adyacente al golfo de Cariaco.	43
Tabla 3. Valores arrojados de la estadística descriptiva (máximos y mínimos de elevación (Z), desviación estándar, varianza y curtosis).....	45
Tabla 4. Prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	46
Tabla 5. Parámetros de los modelos de semivarianza ajustados a los datos recolectados.....	48
Tabla 6. Cuencas hidrográficas adyacentes al golfo de Cariaco y sus principales parámetros hidrológicos.....	54
Tabla 7. Interpretación de la textura de los sedimentos del golfo de Cariaco.....	59
Tabla 8. Resumen clasificación del sedimento por estaciones.....	60
Tabla 9. Parámetros estadísticos (mediana, media, selección, asimetría y curtosis) para las muestras colectadas en el golfo de Cariaco.....	66
Tabla 10. Principales elementos identificados en los sedimento por fracciones....	76
Tabla 11. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis para cada uno de los minerales y fragmentos de rocas identificados con la zona, profundidad y fracciones.....	77
Tabla 12. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis para cada uno de los parámetros relacionados con la zona, profundidad y estaciones.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagen de la zona norte de Venezuela y sur del Mar Caribe, mostrando la ubicación del golfo de Cariaco. Fuente: Google Earth.....	7
Figura 2. Esquema de aplicación de relleno en una imagen con el uso del comando fill (ArcMap).....	13
Figura 3. Direcciones posibles de flujo.....	14
Figura 4. Esquema de los métodos para determinar el orden de los drenajes.....	16
Figura 5. Distribución espacial de las estaciones de sedimento marino superficial (color negro) y costero (color rojo).....	19
Figura 6. Escala granulométrica (Wentworth, 1922) y las equivalencias en phi ϕ propuesta por Krumbein (1936).....	22
Figura 7. Ecuaciones propuestas por Folk y Ward (1957) para el cálculo de los parámetros estadísticos del tamaño de grano.	23
Figura 8. Coeficientes de clasificación y curtosis para el tamaño de partículas (Folk y Ward, 1957).....	23
Figura 9. Coeficientes de asimetría para el tamaño de partículas (Folk y Ward, 1957).....	24
Figura 10. Grafico indicando los parámetros estadísticos de medidas de tendencia central.	24
Figura 11. Geodinámica actual de la región del Caribe. EPF: Sistema de fallas de El Pilar, SSF: Falla de San Sebastián, BF: Falla de Boconó, OAF: Sistema de fallas Oca – Ancón, SMBF: Falla Santa Marta – Bucaramanga. (Modificado por Audemard, 2007).....	29
Figura 12. Evolución de la placa del Caribe, del Apítense temprano al Mioceno medio. Modelo Pacífico (Modificado de Pindell y Kenan, 2001. Tomado de Ávila, 2005).....	31

Figura 13. Evolución de la placa del Caribe, del Cretácico temprano al Oligoceno – Mioceno temprano al Mioceno medio. Modelo Intra – América (Modificado por Meschade y Barrett, 1998. Tomado de Viera, 2005).....	32
Figura 14. Evolución geodinámica de la placa del Caribe. 1: Cretácico tardío, 2: Paleoceno, 3: Eoceno, 4: Oligoceno, 5: Mioceno, 6: Mioceno tardío – Reciente (línea negra). (Tomado de Lugo y Mann, 1995).....	35
Figura 15. Principales cuencas en la zona costa afuera de Venezuela (tomado de Ysaccis, 1997).....	38
Figura 16. Mapa geológico de Venezuela (ZONA NORORIENTAL).....	44
Figura 17. Histograma para la variable profundidad y la línea de distribución normal.....	46
Figura 18. Semivariograma anidado de los datos de profundidad recolectados y el modelo de ajustado.....	47
Figura 19. Grafico de dispersión, valores de elevación recolectados Vs. estimados por el modelo Kriging.....	49
Figura 20. Grafico de distribución de los valores residuales superiores e inferiores al 15 % de error.....	50
Figura 21. Modelo digital batimétrico del golfo de Cariaco.....	51
Figura 22. Red de corrientes de drenaje en las cuencas según órdenes propuestos por Shreve (1967).....	55
Figura 23. Distribución espacial de las fracciones gruesa (gris claro) y fina o lodo (gris oscuro) de los sedimentos colectados en el golfo de Cariaco.....	58
Figura 24. Diagrama de Shepard Grava-Arena-Lodo.....	60
Figura 25. Distribución de las fracciones arena, en las muestras colectadas en el golfo.....	61
Figura 26. Distribución espacial de la fracción arena (%)......	62

Figura 27. Distribución espacial de la fracción lodo grueso – medio (%).....	63
Figura 28. Distribución espacial de la fracción lodo fino – arcilla (%).....	64
Figura 29. Distribución espacial del tamaño medio de grano Mz (ρ).....	67
Figura 30. Distribución espacial de la selección del tamaño de granos (ρ).....	68
Figura 31. Distribución espacial de la asimetría del tamaño de granos (ρ).....	69
Figura 32. Distribución espacial de la curtosis del tamaño de granos (ρ).....	70
Figura 33. Distribución espacial de los ambientes discriminados por la función A1 (eólico/fluvial).....	72
Figura 34. Distribución de los ambientes discriminados por la función A3 (Marino somero/deltaico).....	73
Figura 35. Relación entre funciones discriminatorias A1 y A3 mostrando los ambientes del golfo de Cariaco.....	74
Figura 36. Representación gráfica entre los parámetros (zona, profundidad y fracciones), y los minerales y fragmentos de rocas identificados para los dos primeros componentes principales.....	79
Figura 37. Distribución espacial del carbonato identificado en el golfo de Cariaco (%).....	80
Figura 38. Distribución espacial del cuarzo identificado en el golfo de Cariaco (%).	80
Figura 39. Distribución espacial de los fragmentos de rocas sedimentarias identificados en el golfo de Cariaco (%).....	81
Figura 40. Distribución espacial de los fragmentos de rocas metamórficas identificados en el golfo de Cariaco (%).....	82
Figura 41. Gráficos de cajas y bigotes para las zonas y su relación el tamaño medio de grano.....	83
Figura 42. Representación grafica entre las clases texturales (arena, lodo fino –	

arcilla y lodo) y los parámetros estadísticos (tamaño medio de grano, selección y mediana) para los dos primeros componentes principales.....85

RESUMEN

Se realizó un estudio batimétrico y sedimentológico del golfo de Cariaco. En primer lugar se recopilaron los datos de profundidad de mapas publicados y campañas oceanográficas hasta el año 2010, para generar un modelo digital batimétrico del golfo de Cariaco, utilizando el método de interpolación geoestadístico Kriging. Se realizaron análisis estadísticos descriptivos a los datos generados observándose valores de profundidad media de -30,28 m, y mediana -21,29 m, esto sugiere que la profundidad no se distribuyen de forma proporcional a lo largo de la superficie del golfo. También tenemos que el 25% de la superficie del golfo se encuentra por debajo de los 52m, lo que representa 150 km² aproximadamente de la superficie total del golfo, mientras que el 15% se encuentra por encima de los 5m (+/- 100 km²). En segundo lugar se delimitaron las cuencas de los ríos, arroyos y quebradas que desembocan en el golfo, con el sistema de información geográfico ArcGIS, utilizando la herramienta Hydrology de ArcMap. Se delimitaron 74 cuencas para la zona, siendo las de mayor área los ríos Carinicua y Manzanares ocupando una superficie de 1187 y 1162 km² respectivamente. Las cuencas de los ríos Tunantal, Guaracayal, Taracacoa, Mariguitar y Guirintal al sur y “arroyos de Guacarapo” al norte son consideradas cuencas pequeñas, las restantes son microcuencas. Se estudiaron los sedimentos recientes del golfo de Cariaco, con la captación de 76 muestras, de las cuales 70 son sedimentos marinos y 6 costeros, para la determinación de la textura, parámetros estadísticos del tamaño de grano, identificación de ambientes de depósitos. Obteniéndose 10 texturas: Arcilla (37,14 %), Arena (22,86 %), Lodo arenoso (14,29 %), Arena lodosa (12,86 %), Arena gravosa (4,29 %), Arena limosa (2,86 %), Arena limo gravosa (1,43 %), Arena gravo limosa (1,43 %), Grava arenosa (1,43 %), Limo arenoso (1,43 %). También se identificaron sedimentos de origen eólico en la zona centro oriental, al igual que ambientes fluviales en la franja costera sur. Se identificaron 13 minerales, y 4 tipos de fragmentos de rocas sedimentarios y 4 metamórficos, los principales minerales son el carbonato y cuarzo, con una relación de proporción inversa en las fracciones determinadas y en la tendencia espacial. No encontró diferencias significativas entre la batimetría y las clases texturales reportadas, mientras que si existe relación entre la batimetría y el carbonato, cuarzo y fragmentos de rocas en el golfo de Cariaco

INTRODUCCIÓN

Para llevar a cabo el manejo adecuado de una zona costera es necesario entender los ambientes costeros, así como los procesos involucrados en su dinámica (CUPUL et al., 2006). Estas regiones, en especial las situadas en las zonas tropicales, se caracterizan tener una alta productividad biológica. En ellas, los procesos hidrodinámicos se desarrollan con mayor rapidez y sus características hidroquímicas, físicas y biológicas se encuentran afectadas por el aporte continental, precipitaciones, acción de los vientos, radiación solar y geomorfología de los fondos (SALAZAR, 1989). Los principales factores que modifican los ambientes de playa y la zona cercana a la costa son el oleaje, las corrientes, las mareas y en menor grado el viento (DAVIS, 1986).

Por lo tanto, la cuenca hidrográfica que fluye a las zonas costeras engloba los recursos hídricos superficiales y subsuperficiales, los recursos del suelo y la tierra, los ecosistemas de humedales y los ecosistemas asociados, incluidos los sistemas marino costeros y cercanos a las costas que están vinculados hidrológica o ecológicamente con la cuenca hidrográfica (SECRETARÍA DE LA CONVENCION DE RAMSAR, 2010). Las características del sedimento y las condiciones hidráulicas del cauce de las corrientes del arroyo son decisivas para determinar el tipo de transporte de los sedimentos, ya sea en suspensión o como carga de lecho. El desarrollo de esas tendencias se atribuye a dos grupos de procesos que actúan dentro del cauce de ríos y quebradas: abrasión mecánica (lascar, triturar, fragmentar, la combinación de estos procesos reducen el tamaño del grano a través del tiempo y la distancia) y selección hidráulica (se puede explicar en términos de tres grupos de procesos: “atrapamiento” selectivo, transporte selectivo y depositación selectiva) (COSTA, 1988).

Las principales fuentes de aporte de sedimentos para los sistemas costeros son los sistemas de escurrimiento de agua de las tierras altas, la tierra firme costera, los afloramientos costeros formados por la acumulación de sedimentos, los arrecifes coralinos, la muerte de organismos marinos de esqueletos calcáreos, los volcanes y la sedimentación

química. Los procesos de erosión, transporte y depositación que actúan en la línea de la costa dependen de las características individuales de los granos, de las propiedades del sedimento en general (densidad, forma, tamaño, selección, velocidad de caída, entre otros) y de las características físicas y mecánicas del fluido (WOODROFFE, 2002). En la plataforma continental somera, la energía es proporcionada por el oleaje originado por el viento, oleaje de tormenta y marejadas, mientras que WRIGHT et al. (1991) señala que el oleaje da origen a las corrientes costeras y al transporte de sedimento en la plataforma interna.

Los sedimentos marinos son una mezcla de materiales que provienen de varias fuentes: una completamente terrígena, aportada por los ríos que drenan los continentes; otra próximo-costera, mezcla terrígena y marina; y finalmente la netamente marina, material autóctono generado en los mares y océanos (DAVIES, 1985; LEEDER, 1991). La naturaleza granulométrica de los sedimentos es típica para cada área del fondo oceánico, predominando el material marino (organógeno) sobre el terrígeno en la parte más alejada del litoral (CARABALLO, 1970). Entre los factores atmosféricos, el clima tiene efecto sobre el intemperismo y erosión de la roca o del suelo. Estos dos procesos son los responsables de la producción de sedimento terrestres, que dependiendo de las condiciones meteorológicas, del tipo y densidad de drenaje de la zona, va a ser transportado en el sistema fluvial hacia las partes bajas, incluyendo las costas. Algunas estimaciones señalan que los sedimentos más gruesos y el transporte de los mismos por las corrientes fluviales se da cuando se tienen precipitaciones promedio anuales mayores a los 300 mm y ciertas condiciones litológicas (SCHUMM, 1963).

La distribución granulométrica de un sedimento proporciona información tanto sobre los procesos responsables de su formación como sobre el ambiente sedimentario en que ésta se produce. Las variaciones en la distribución granulométrica de las muestras de un registro sedimentario marino pueden reflejar una combinación de dos tipos de procesos: uno terrígena y otro marino (PRINS, 1999). Conocer las características de los sedimentos es importante para comprender las interacciones entre el ambiente marino y los depósitos sedimentarios. El tamaño de grano de los sedimentos es la característica fundamental de las

partículas que conforman los depósitos sedimentarios, ya que éste afecta su transporte y depositación (CUPUL et al., 2006). Una vez que el sedimento es atrapado por el flujo, el modo de transporte, ya sea en suspensión, saltación o tracción, estará en función del tamaño de grano y la energía del flujo (VISHNER, 1969). La playa es la frontera crítica entre el oleaje, el alcance de las mareas (influencia marina) y zona de lavado o flujos terrestres (influencia terrestre) y el transporte de sedimentos mediante la acción del viento.

El conocimiento sobre las características sedimentológicas del material terrígeno, producido por la erosión del continente, así como la cantidad de dicho material, tiene gran importancia para descifrar los regímenes locales de sedimentación, y la tasa de erosión continental. La información sobre la distribución mineralógica y granulométrica de este material, podría dar respuestas sobre la fuente de los sedimentos en el continente, y los regímenes de meteorización y transporte (MILLIMAN Y MEADE, 1983; MEADE, 1994; NITTRouer et al., 1995; YOUNG Y WAYNE, 1998).

En este sentido, la investigación en las ciencias ambientales se ha visto profundamente modificada desde que los medios informáticos han comenzado a ser utilizados con frecuencia como una herramienta de trabajo (FELICISIMO, 1994). La información espacial, en forma de coberturas temáticas asociadas a un Sistema de Información Geográfica (SIG) e imágenes provenientes de sensores remotos, es usada en forma creciente en la modelación de sistemas ecológicos (KYRIAKIDIS Y DUNGAN, 2001). El tratamiento de esta información cartográfica no ha sido una excepción a estas nuevas tendencias, y aunque con una inercia importante, ha comenzado poco a poco a ser realizada en forma digital, especialmente en el contexto de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (FELICISIMO, 1994). Los métodos de predicción espacial se fundamentan en el procedimiento que permite calcular el valor de una variable y su posición a partir de valores muestreados de la misma variable en otras posiciones del espacio, a través de algoritmos matemáticos que facilitan el cálculo de los mismos (ALVAREZ et al., 2011).

Así podemos decir que los datos topográficos y los valores de las curvas de nivel (Isolíneas de elevación) son utilizados frecuentemente para generar modelos que

representan diferentes características del terreno como altura, pendientes, exposiciones, visibilidad. (BURROUGH Y MCDONNELL 1998, CORVALÁN et al. 2000).

La interpolación espacial es un procedimiento matemático utilizado para predecir el valor de un atributo en una localidad precisa a partir de valores obtenidos de puntos vecinos ubicados en el interior de la misma área de estudio. La interpolación se utiliza para transformar un número finito de observaciones, por ejemplo cotas de terreno, en un espacio continuo, de manera que su patrón espacial sea comparable con el presentado por las observaciones puntuales de base (BURROUGH Y MCDONNELL 1998). Aunque la aplicación de la herramienta geoestadística es bastante reciente, son innumerables los ejemplos en los que se ha utilizado esta técnica en estudios ambientales con el ánimo de predecir fenómenos espaciales (ROBERTSON, 1987; CRESSIE Y MAJURE, 1995; DIGGLE et al., 1995).

Ahora bien, el sistema costero oceanográfico conocido como golfo de Cariaco se encuentra localizado dentro de la zona sur – oriental de la plataforma continental, específicamente sobre el extremo más oriental del borde meridional de la misma (CARABALLO, 1982a).

El área ocupada por este sistema constituye un graben (zona de hundimiento) limitado al norte por la falla de Cariaco y el pilar tectónico (zona de elevación) constituido por la península de Araya, y al sur por la zona de falla de El Pilar y el bloque de la Serranía de Interior (CARABALLO, 1982a). El golfo se forma y evoluciona estructuralmente como consecuencia de la interacción entre las placas tectónicas de Suramérica y el Caribe (AUDEMARD et al., 2000; MACSOTAY et al., 2009). La interacción se manifiesta a través de las fallas geológicas tectónicas, que son “fracturas de un terreno rocoso, con desplazamiento relativo de las partes separadas” (FOUCAULT Y RAOULT, 1998). Las fracturas de esta región son fallas de la corteza terrestre, con profundidades entre 10 y 15 km, y su movimiento relativo se manifiesta en microsismos permanentes y sismos importantes que ocasionaron daños en el pasado, en toda la región (MACSOTAY et al., 2009). En relación a la morfología, la costa norte del golfo está formada por el borde costero sur de la península de Araya, con pendientes actualmente deforestadas, inclinadas y

completamente erosionadas, donde la ausencia de ríos limita los aportes de la erosión en el golfo. Al contrario, sobre la costa sur de influencia continental, se manifiesta la presencia de varios ríos que han edificado vastos deltas, como el delta del río Manzanares, donde se levanta la ciudad de Cumaná, el delta de Mariguitar, etc. (ROA Y OTTAMAN, 1961; MORELOCK et al, 1972a).

Los rasgos climatológicos y la poca vegetación inciden en la topografía de la región. Las rocas son altamente meteorizadas y luego erosionadas con facilidad por las lluvias ocasionales. El material erosionado es llevado por las quebradas una corta distancia hasta el golfo de Cariaco, acumulándose, en el fondo del mismo, los minerales provenientes de las rocas metamórficas y sedimentarias que lo bordean (GODDARD, 1987).

Las aguas del litoral costero del golfo de Cariaco están influenciadas por las condiciones meteorológicas, geomorfológicas, geoquímicas, hidrodinámicas, ecológicas y por los aportes de origen antrópico, el cual por ser el receptáculo final de la escorrentía continental, altera de una u otra forma el equilibrio del sistema hidrológico (BONILLA, 1982; BONILLA, 1993).

El golfo de Cariaco es uno de los cuerpos de agua más importantes de Venezuela ocupando uno de los 5 sectores que conforman el área total pesquera de la región nororiental. Es considerado vivero y zona de refugio de especies marinas de gran valor comercial y ecológico, y punto estratégico socio – económico, por ser posible asentamiento de un puerto de envergadura continental (GUZMÁN et al, 1998; QUINTERO et al, 2006).

Los primeros estudios publicados sobre el golfo de Cariaco fueron los realizados por ROA Y OTTMANN (1961) quienes estudiaron la topografía y geología, mientras que GADE (1961) evaluó las condiciones hidrográficas entre mayo y noviembre de 1960. Posterior a estos estudios se realizaron varios trabajos en el área de la oceanografía, entre los que podemos nombrar: KATO (1961), SEIGLIE Y BERMÚDEZ (1963), BERMÚDEZ Y SEIGLIE (1963), OKUDA Y GÓMEZ (1964), MALONEY (1966), LÓPEZ Y OKUDA (1968), GARCÍA Y BONILLA (1971), SELLIER Y BONILLA (1971), CARABALLO Y MACSOTAY (1973), CARABALLO (1973), MACSOTAY Y

CARABALLO (1976), BONILLA Y LIN (1979), CARABALLO (1982a,b,c,d), GAMBOA Y BONILLA (1983), CARABALLO Y ASENSIO (1985), MARTÍNEZ (2002), BONILLA et al. (2003), MARTÍNEZ et al (2005), MÁRQUEZ et al. (2005), QUINTERO et al. (2005), MACSOTAY et al. (2006), QUINTERO et al. (2006), AUDEMAR et al. (2007). Los trabajos más recientes publicados en el área, son relacionados con geofísica marina (DAELE et al, 2011), mientras que MACSOTAY et al, (2009), realiza una recopilación bibliográfica y expone la historia geológica del golfo con énfasis en la dióxia.

El objetivo principal de este estudio es integrar la información batimétrica existente, para generar un modelo digital batimétrico en 2D, así como delimitar las cuencas hidrográficas adyacentes al golfo y estudiar los sedimentos recientes de esta. Esto para reforzar las investigaciones en el área de la geología marina, dilucidar posibles cambios en este sistema, y realizar un aporte como base para la geología y otras disciplinas de las ciencias marinas. Todo esto como parte del proyecto de Estudio Integrado del Golfo de Cariaco que está desarrollando el Instituto Oceanográfico de Venezuela. Para lograr los antes expuestos se plantearon 5 objetivos, que siguen a continuación:

Elaborar un modelo digital batimétrico en 2D del golfo de Cariaco.

Delimitar las cuencas hidrográficas adyacentes al golfo de Cariaco.

Realizar análisis mineralógicos y sedimentológicos de los sedimentos recientes.

Estudiar la distribución espacial de los sedimentos recientes.

Integrar los rasgos batimétricos con la evaluación sedimentológica.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El golfo de Cariaco se encuentra localizado dentro de la zona sur-oriental de la plataforma continental (Figura 1), específicamente sobre el extremo más oriental del borde meridional que sigue la costa desde su bifurcación en Cabo Codera hasta Cumaná. En base a detalles morfológicos se establece la longitud del golfo en 62,50 km, localizada entre la localidad geográfica conocida como Punta Arena, (oeste) y el punto de desembocadura del río Carinicuaio (Cariaco, al este); y un ancho promedio de 8,95 km, con un máximo de 16,7 km entre la desembocadura del río Guirintal, (sur), y la desembocadura de la quebrada El Destiladero, (norte); y un mínimo de 1,20 km entre Punto Cotúa y Punta Cachipo (CARABALLO, 1982a). El golfo cubre un área de 642 km², su volumen es estimado en 31,5 km³ y está separado de la cuenca de Cariaco (depresión oriental) por un umbral. La conexión entre ambos es por un canal submarino denominado cañón submarino del Manzanares con una profundidad de entre 60 y 70m en sentido NE-SW, que conecta la porción central más profunda del golfo con la cuenca (OKUDA *et al.*, 1978; MARTÍNEZ, 2002; AUDEMARD *et al.*, 2007).



Figura 1. Imagen de la zona norte de Venezuela y sur del Mar Caribe, mostrando la ubicación del golfo de Cariaco. Fuente: Google Earth

El sector oriental del golfo de Cariaco es considerado como un refugio de fauna, con una gran importancia desde el punto de vista socio – económico y ecológico (MÁRQUEZ *et al.*, 2005) y hasta el año 1971 aportaba una porción importante de la pesquería en Venezuela, más del 70% de la producción. Su productividad primaria elevada, se estima en 231,0 g C/m² anuales (FERRAZ, 1987; FERRAZ *et al.*, 1987).

En el año 1961, ROA Y OTTAMAN realizaron una descripción del golfo de Cariaco y lo definieron como una fosa tectónica alargada, posteriormente CARABALLO (1982a), lo describe como un graben limitado al norte por la falla de Cariaco y el pilar tectónico constituido por la península de Araya, y al sur por la falla de El Pilar y el bloque de la serranía del interior. Actualmente se describe el golfo como una cuenca marginal situada a lo largo de la falla dextral de El Pilar que marca el límite entre las placas del Caribe y Suramérica. Como resultado el golfo se encuentra en una zona tectónicamente activa (zona de transtensión y subsidencia), lo que controla sus márgenes (AUDEMARD *et al.*, 2000; AUDEMARD, 2007 y MACSOTAY *et al.*, 2009).

En la costa sur del golfo de Cariaco desembocan 34 cursos de aguas, los de gran influencia sedimentaria son: de oeste a este, río Tunantal, Guaracayal, Marigüitar, Tarabacoa, Cachamaure y Cariaco, y representan los mayores caudales fluviales, los cuales han contribuido a la formación de los amplios deltas distribuidas a lo largo del litoral sur, mientras que en la costa norte lo hacen 45, pero con caudales reducidos e intermitentes, de muy corto recorrido (QUINTERO *et al.*, 2005). En el sector norte, específicamente en la región centro-oriental, muchos de los cursos de agua tienen un recorrido de apenas 2 Km, no presentando zonas de planos aluviales, ni deltas, ya que en la zona no existe un rasgo de plataforma que sirva de depositario a los sedimentos aportados desde la zona continental de todos los ríos involucrados el río Carinicua y el Manzanares son los de mayor influencia en el golfo (CARABALLO, 1982a; MÁRQUEZ *et al.*, 2005).

El clima de la región corresponde al tipo semidesértico con influencia marítima. Las precipitaciones son algo superiores a los 250 mm. Las temperaturas oscilan entre 26 y 27 °C, y la evaporación es alta durante todo el año, superior a los 2000 mm al año (QUINTERO *et al.*, 2002; QUINTERO *et al.*, 2005) con relación a los vientos QUINTERO *et al.* (2009) destaca

vientos entre diciembre y julio en dirección este, y velocidades máximas de 3,5 m/seg, mientras que entre los meses de agosto y noviembre la dirección es sureste con velocidades medias $< 3,3$ m/seg, registrando velocidades mínimas y máximas, en los meses de septiembre y marzo respectivamente, y concluye que la dirección de los vientos alisios es preponderante en dirección noreste.

En cuanto a las corrientes marinas, durante la época de surgencia, salen del golfo por encima de los 30m de profundidad y entran por debajo de esta profundidad, mientras que en época de relajación las aguas salen por encima de los 30 – 40m, y penetran por el estrato superior (QUINTERO *et al.*, 2009). El período de renovación de las aguas del Golfo fue estimado en veinte días (GADE, 1961).

Modelo digital batimétrico del golfo de Cariaco

En general, un modelo es considerado como una abstracción aproximada que busca la simplicidad de la realidad y se establece mediante la aplicación de unos supuestos, los cuales determinan que tipo de propiedades son relevantes. Los modelos batimétricos se describen como una función bivariable continua $Z = f(x, y)$, donde Z es la profundidad en un punto de coordenadas (x, y) (FELICISIMO, 1994).

Los trabajos y estudios batimétricos tienen como objetivo la medición y determinación del fondo marino en un área determinada. Generalmente los resultados son plasmados posteriormente de manera gráfica, y sirven de base e información previa para la elaboración de otros trabajos o actividades en el medio marino.

Para la elaboración de mapas batimétricos es necesario la recolección de datos de profundidad y posición (X, Y, Z) , así como también elegir y definir un sistema de referencia para el posicionamiento de los puntos del fondo (georeferencia), donde: X, Y representan las coordenadas de cada uno de los puntos obtenidos, mientras que Z es la profundidad desde la superficie del mar hasta el lecho. A continuación se describen los pasos realizados para generar los modelo batimétrico 2D y 3D del golfo de Cariaco:

En primer lugar, se recolectaron los datos en formatos (X, Y, Z), correspondientes a diferentes campañas oceanográficas desde 2007 y hasta el año 2010, generando con esto una base de datos. En muchos casos, la información se encuentra en mapas publicados, y para lograr generar los datos en el formato requerido, fueron digitalizados y georeferenciados. Posteriormente se transformaron cada uno de los valores de profundidad y coordenadas en datos numéricos, esto se realizó con la aplicación Global Mapper v13.00 y Surfer v 10.00 (Surface Mapping System; Golden Software, Inc.).

La segunda etapa consistió en realizar un tratamiento especial a todos los datos, que permitió modificar el sistema referencial usado en la adquisición y procesamiento de dichos datos, y georeferenciar estos puntos al nuevo sistema geográfico, cuyo Datum es WGS 84 (World Geodetic System 1984), con la aplicación Surfer 10.00, el cual permite cambiar el sistema de proyección. Luego se realizaron análisis estadísticos descriptivos como: histogramas, gráficos de dispersión y regresión, para detectar datos atípicos y suprimirlos. Luego del geoprocesamiento de los datos, se procedió a aplicar las pruebas de normalidad. Esta etapa de procesamiento permite construir una base de datos robusta y confiable.

La malla o modelo batimétrico fue elaborado utilizando la metodología de Kriging, seleccionado por ser un método de interpolación geoestadístico que representa mejores resultados que los otros métodos (mínima curvatura, inverso de la distancia, Shepard), cuando se analizan este tipo de parámetros espaciales (LANDIM, 2002; JAKOB, 2002; VALDIRENE, 2011; ALVAREZ *et al.*, 2011). Las principales ventajas que muestra el kriging sobre otros métodos de interpolación son: (1) suaviza las estimaciones basadas en la varianza muestral que resultan de “ruido aleatorio”, (2) reduce el grado de duplicación de muestras cercanas que estén altamente correlacionadas, (3) permite conocer el comportamiento de la variable en diferentes direcciones, pudiéndose ajustar un modelo para cada dirección, y (4) existen algoritmos computacionales accesibles para el análisis geoestadístico y el proceso de interpolación por el método de kriging. La principal desventaja de este sistema de interpolación es la demanda de puntos de observación, y la distribución de los mismos, ya que se requiere de un mínimo de 30 para la determinación de un punto en el semivariograma, los cuales preferentemente deben estar equidistantes

sobre diferentes direcciones del terreno. Mientras menor sea el número de muestras que se utilicen, o bien, más irregular sea su distribución, menor confiabilidad presentan los resultados (LASLETT *et al.*, 1987; WEBER Y ENGLUND, 1992).

Los supuestos estimados en este tipo de métodos suponen que la altitud en un punto está determinada por los valores de los puntos más próximos distribuidos a distancias variables, y que en función de ellas habrá una mayor o menor inferencia. Funciones matemáticas son utilizadas para garantizar que las unidades analizadas próximas al dato recolectado sean más parecidas que las alejadas (JAKOB, 2002). Para el método de interpolación geoestadístico Kriging, se elaboró el semivariograma experimental, que permitió conocer el comportamiento de los valores de profundidad en función de la distancia y ajustar el modelo de semivarianzas para la interpolación de dichos datos, esto fue realizado con el software Surfer 10.00.

Con la ayuda de la aplicación Oasis Montaj de la empresa Geosoft Inc., fue generado el modelo digital batimétrico del golfo de Cariaco, lo que permitió predecir valores de profundidad en áreas donde no se contaba con información. Luego se realizó una validación cruzada con el 30 % de los datos recolectados y los estimados, y se elaboraron gráficos de dispersión con correlaciones y regresión lineal para observar el ajuste entre ambas bases de datos, así como también verificar el comportamiento de los valores residuales, y de ésta manera validar el modelo batimétrico con los datos recolectados.

Se integraron el modelo batimétrico en 3D del golfo de Cariaco y el modelo de elevación digital en 3D (zona emergida), para lograr una visualización de la topografía superficial, costera y marina.

Delimitación de cuencas hidrográficas adyacentes al golfo de Cariaco

Una cuenca hidrográfica se puede concebir como un área definida topográficamente drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple. Durante este proceso ocurren

pérdidas diversas de agua (MONSALVE, 1995).

En cuanto al proceso de evaporación, éste se presenta desde cuando se inicia la precipitación y si la superficie del terreno no es completamente plana, por existir depresiones en el mismo, al caer el agua y acumularse, puede ser evaporada o infiltrada en éste. También, en el proceso de infiltración, al penetrar el agua en el suelo sigue diversos caminos, quedando almacenada temporalmente en dicho medio; de ahí, por medio del proceso de percolación, continúa a estratos más profundos, formando el nivel freático, o se mueve lateralmente como escorrentía subterránea, o según la localización de la divisoria del nivel freático, escurrir hacia otra cuenca (MONSALVE, 1995).

CAMPOS (1987) define una cuenca hidrográfica como la totalidad del área drenada por una corriente o sistema interconectado de cauces, de tal forma que todo el escurrimiento originado dentro de la cuenca es descargado a través de una salida única. Uno de los elementos más importantes en el estudio de una cuenca hidrográfica es el de parteaguas o línea divisoria, el cual se define como la línea imaginaria del contorno de una cuenca hidrográfica, que la separa de las adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación en el sistema de cauces que fluyen hacia la salida de la cuenca.

Según la FAO, la cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes, y por un área colectora de las aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como: agua, suelo, vegetación y fauna. Todos ellos mantienen una continua y particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre.

Para este estudio, se emplea el término cuenca (“watershed”) como la cuenca de drenaje, que es un área de tierra dentro de la cual fluyen las aguas hacia un único sistema fluvial (HEATHCOTE, 1998). La delimitación de la cuenca hidrográfica es probablemente la etapa más importante en el análisis hidrológico, es el punto de partida para realizar estudios en diferentes disciplinas asociadas a la geología e hidrología. Una característica geológica fundamental en el análisis de cuencas hidrográficas, es el cálculo del área, que está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía

dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

La delimitación de las cuencas hidrográficas adyacentes al golfo de Cariaco, fue realizada partiendo de un modelo digital de elevación (MDE) del área de estudio a una resolución de 30 m, y con la ayuda del sistema de información geográfico ArcMap de ArcGIS, utilizando la herramienta Hydrology de Spatial Analyst. El proceso para delimitar y validar el análisis de las cuencas hidrográficas, se dividió en 8 etapas:

Procesamiento del modelo digital de elevaciones

En esta etapa se seleccionó el MDE a una resolución de 30m, también se ajustó a los requerimientos y necesidades del estudio, con la elaboración de una capa o máscara en el área del golfo de Cariaco y se establecieron las coordenadas máximas y mínimas de la imagen. Luego se rellenaron las depresiones existentes en dicha imagen. Estas depresiones son áreas sin drenaje interno, es decir que no drenan hacia afuera de cualquier forma, en la figura 2, se muestra un ejemplo como se aplica el relleno del modelo (utilizando el comando fill en ArcTools\Spatial Analyst\ Hydrology).

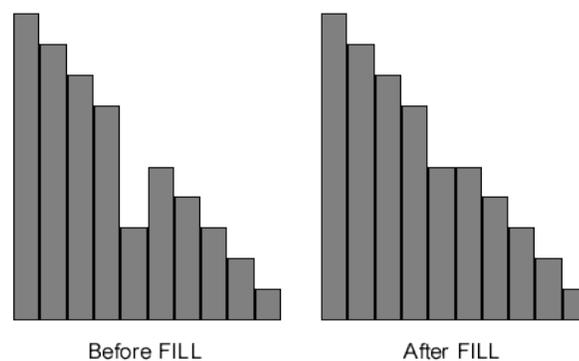


Figura 2. Esquema de aplicación de relleno en una imagen con el uso del comando fill (ArcMap).

Determinación de la dirección de flujo.

Una de las claves del modelado hidrológico lo constituye la determinación de la dirección de flujo de cualquier punto de una cuenca (cualquier celda). El proceso de cálculo de la dirección de flujo consiste en determinar la dirección de máxima pendiente hacia abajo de cada celda. Existen ocho direcciones posibles de flujo de una celda considerando las ocho celdas adyacentes (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW). En la figura 3 se muestra el esquema utilizado por la aplicación para realizar el cálculo de la dirección de flujo, transformando los números asignados a cada dirección en colores (utilizando el comando flow direction en ArcTools\Spatial Analyst\ Hydrology).

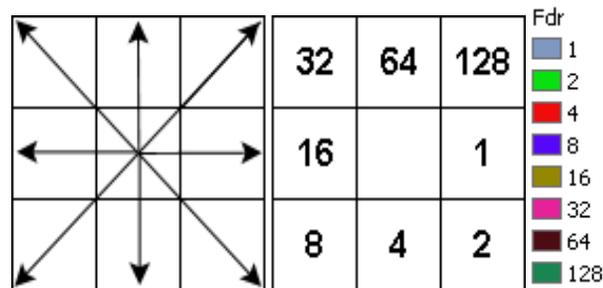


Figura 3. Direcciones posibles de flujo.

Determinación de flujos Acumulados.

La Determinación de flujos acumulados, constituye el peso acumulado en una celda determinada de todas celdas que fluyen pendiente abajo. De este modo es posible conocer rápidamente la cantidad de agua que puede recibir una celda determinada. Asimismo, el cálculo de flujos acumulados posibilita también determinar la cantidad de agua de lluvia que puede fluir por una celda dada, asumiendo que toda la lluvia se convierte en escurrimiento superficial y que no existe infiltración, evapotranspiración u otras pérdidas de agua (utilizando el comando flow accumulation en ArcTools\Spatial Analyst\ Hydrology).

Generación de las redes hidrográfica.

En esta fase se clasifican las celdas con acumulación de flujo superior a un umbral especificado, como celdas pertenecientes a la red de flujo. El umbral debe ser especificado como el número de celdas vertientes a la que se está clasificando en cada momento. Aquí se debe buscar que valor sería el más indicado, pues si el valor de acumulación es muy bajo muchos pixeles serán seleccionados como pertenecientes a la red hídrica, si por lo contrario, el valor del pixel es muy alto solo aquellos drenajes de orden alto serían definidos como red hídrica, seleccionar un valor bajo del umbral significa que obtendremos afluentes pequeños en nuestra red de drenajes, en cambio un valor alto, modela los drenajes de mayor tamaño (utilizando la Calculadora Raster en Spatial Analyst). Luego se divide el cauce en segmentos no interrumpidos, para que dichas secciones en las que se divide el recorrido del flujo sean segmentos que conectan dos uniones sucesivas, una unión y un punto de desagüe o una unión y una división del área de drenaje (utilizando el comando Stream Link en ArcTools\Spatial Analyst\ Hydrology).

Determinar el orden de los drenajes.

Se determina el peso u orden de las corrientes. Este orden hace referencia al caudal y tipo de afluente, para ello se usan dos métodos: En el método Strahler, el orden de la corriente se incrementa cuando se cruzan dos drenajes del mismo orden. Dos drenajes de diferentes órdenes no se traducirán en un aumento del orden de la siguiente corriente, mientras que en el método Shreve los órdenes de corrientes son aditivos (Figura 4) (utilizando el comando Stream Order en ArcTools\Spatial Analyst\ Hydrology).

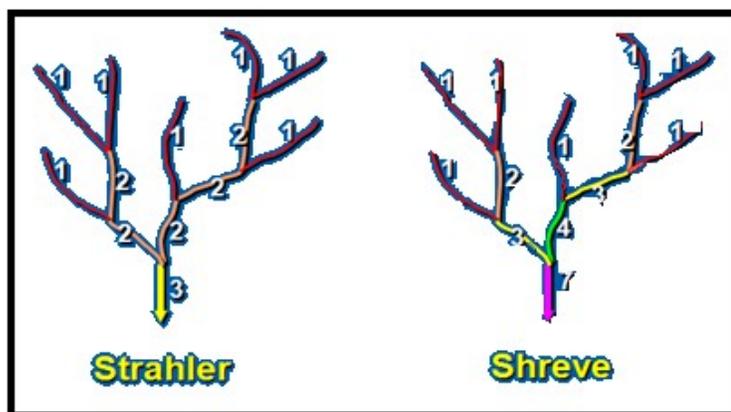


Figura 4. Esquema de los métodos para determinar el orden de los drenajes.

Generación de superficie de drenajes y puntos vértices (“punto de descarga”).

En esta etapa fue generada una superficie con la información obtenida hasta el momento de la red hídrica (utilizando el comando Stream Feature en ArcTools\Spatial Analyst\ Hydrology), y se determinan los puntos donde se cortan cada uno de los drenajes, es decir se convierten los vértices a punto. Podemos determinar un punto al inicio, la mitad o al final de cada tramo de corriente. Para este caso se seleccionan los puntos finales que es donde hay acumulación de flujo (desembocaduras de los ríos) y es el punto importante para determinación de las cuencas adyacentes al golfo de Cariaco (utilizando el comando Feature Vertice To Point en ArcTools\Spatial Analyst\ Hydrology).

Delimitación y cálculo del área de las cuencas.

Se delineó una cuenca por cada uno de los puntos generados en el paso anterior, siguiendo los segmentos del cauce, y se genera una superficie (utilizando el comando Watershed Delineation en ArcTools\Spatial Analyst\ Hydrology), cada una de estas forman polígonos con los cuales se determina el área de las cuencas.

Validación del análisis.

Esta etapa consistió en sobreponer los polígonos generados en el paso anterior, que representan las cuencas hidrográficas con el modelo digital de elevación rebatido (modelo de relieve), y se observan las correlaciones entre las elevaciones, vértices y puntos de quiebre.

Luego de la delimitación de las cuencas, se realizó el cálculo de los principales parámetros hidrográficos: perímetro, longitud axial, forma y coeficiente de compacidad, de las principales cuencas adyacentes al gofo de Cariaco. El cálculo del área se realizó a todas las cuencas generadas, con el sistema de información geográfico ArcGis.

El factor de forma de Horton, expresa la relación existente entre el área de la cuenca (A), y el cuadrado de la longitud máxima o longitud axial de la misma (Lb).

$$Rf = \frac{A}{Lb^2}$$

La longitud axial se mide siguiendo el desarrollo longitudinal del cauce principal, hasta llegar a la divisoria de la cuenca en el punto más alejado.

El valor máximo que se puede obtener del factor de forma es 0,7854 para una cuenca completamente circular y, a medida que la cuenca se hace más alargada, el valor tiende a cero.

Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc), constituye la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia cuya área sea equivalente al área de la cuenca de estudio. El coeficiente de compacidad se obtiene al relacionar el perímetro de la cuenca (P), con el perímetro de un círculo (Pc), que tiene la misma área de la cuenca (A).

$$Kc = \frac{P}{Pc} \quad \Rightarrow \quad Kc = 0,2821 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

A medida que el coeficiente de compacidad tiende a la unidad, aumenta la torrencialidad de la cuenca, debido a que las distancias relativas de los puntos de la divisoria, con respecto a uno central, no presentan diferencias mayores, y el tiempo de concentración se hace menor; por lo tanto, mayor será la posibilidad de que las ondas de crecida sean continuas. Nunca los valores de este coeficiente serán inferiores a uno. Con base en la cuantificación de la forma propuesta por Gravelius, se han determinado las siguientes categorías para su clasificación:

Tabla 1. Valores de K_c , con la interpretación de las formas y características de las cuencas hidrográficas, según Gravelius.

VALORES DE K_c	FORMA	CARACTERÍSTICAS
1,00 - 1,25	Compacta o redonda a oval redonda	Cuenca torrencial peligrosa
1,25 - 1,50	Oval redonda a oval alargada	Presenta peligro torrencial, pero menor que la anterior
1,50 - 1,75	Oval alargada a rectangular alargada	Son las cuencas que tienen menos torrencialidad

Evaluación Sedimentológica

Análisis textural

El análisis de las características texturales de los sedimentos es una herramienta muy importante que provee información sobre el origen, condiciones de transporte y depositación (FOLK Y WARD 1957; FRIEDMAN 1962, 1979). La distribución espacial y temporal del tamaño de grano de los sedimentos refleja la variabilidad de las condiciones ambientales bajo las cuales éste se depositó (CUPUL *et al.*, 2006). La heterogeneidad de los

sedimentos del golfo de Cariaco y los diversos factores que pueden afectar su distribución, y composición elemental y mineralógica, fueron tomados en cuenta para realizar el diseño de muestreo, y establecer una cantidad de estaciones adecuadas a estas condiciones.

En la figura 5 se muestra la distribución espacial de las estaciones de muestreo de sedimento marino superficial. La captación de las muestras de sedimento superficiales se realizó en 70 estaciones distribuidas en todo el Golfo, y fue realizada con el empleo de un muestreador de caja (box-core), el cual fue construido por el Instituto Oceanográfico de Venezuela. Entre sus características puede destacarse su capacidad para obtener un gran volumen de muestra en grandes áreas superficiales (0,30m²), con una baja penetración en el lecho marino.

La recolección de sedimentos marinos superficiales se realizó en una campaña oceanográfica como parte del “Estudio Integral del Golfo de Cariaco” entre los meses de octubre y noviembre de 2010, a bordo del buque oceanográfico "GUAQUERI II". Para realizar la normalización de los datos obtenidos de los sedimentos marinos se tomaron muestras de en la zona sur costera a una profundidad de 1m, en total fueron 6 muestras (P01 P02, P03, P04, P05 y P06), en la lancha “Macabí” perteneciente al Instituto Oceanográfico de Venezuela.

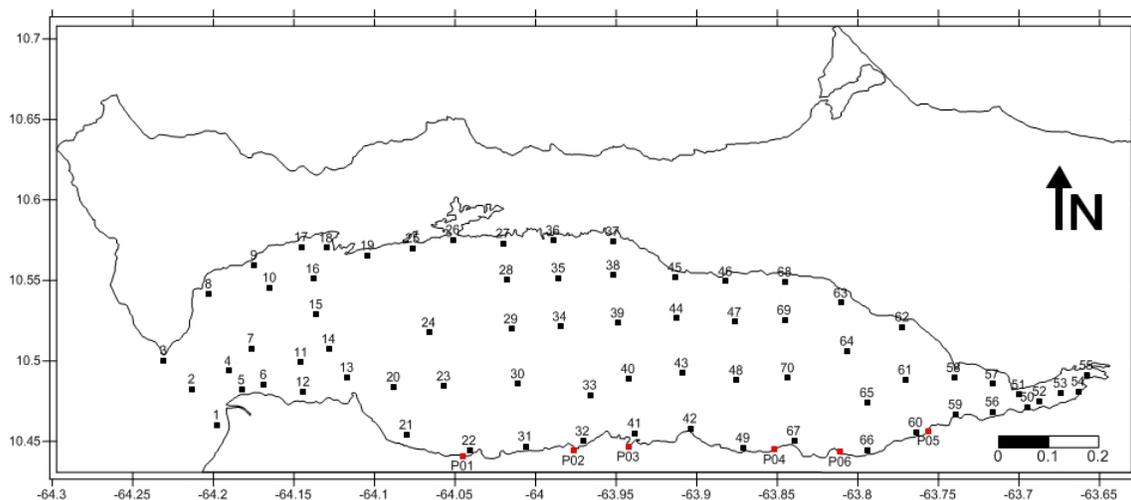


Figura 5. Distribución espacial de las estaciones de sedimento marino superficial (color negro) y costero (color rojo).

Las muestras de sedimento marino captadas fueron colocadas en bolsas plásticas individuales, registrándose los números de identificación de las mismas y sus respectivas etiquetas. Inmediatamente fueron almacenadas bajo refrigeración a una temperatura aproximada -20°C , con el propósito de evitar alteraciones en sus características originales por acción de los microorganismos o degradación de sus elementos constitutivos, y hasta su llegada al laboratorio de Geoquímica Ambiental del Instituto de Ciencias de la Tierra, en la Universidad Central de Venezuela.

Para la separación granulométrica fue empleada la metodología de TOSIANI *et al.*, 2005, modificada para este estudio, y que se describe a continuación:

Para la separación no se realizó ningún tratamiento o paso previo más que descongelar y pesar el total de la muestra de sedimento colectada. El total de la muestra fue tamizada en húmedo, empleando una mínima cantidad de agua, de tal forma que el volumen final del líquido no fuese excesivo 5.000 mL. La batería de tamices empleados fueron de acero inoxidable (10, 18, 40, 60, 120, 230 y 325), con un diámetro de apertura de malla equivalente a 2.000, 1.000, 425, 250, 125, 63 y 45 μm . De esta manera pudieron separarse la grava, las distintas clases de arena y el limo grueso del sedimento total, de la fracción lodo (limo y arcilla) restante, la cual permaneció suspendida en el agua, todo el proceso de lavado se llevo a cabo con agua destilada para evitar la contaminación de la muestra, luego el material retenido en cada tamiz fue colocado en un recipiente y secado en la estufa a 60°C , para su posterior pesado.

Para la separación del lodo restante (fracción lodo sin limo grueso), en sus componentes limo y arcilla, la suspensión anteriormente señalada fue colocada, en tubos de vidrio de 7,5 cm de diámetro y 1,5 m de largo, entre las características más importantes destaca la uniformidad del diámetro interno, y el grifo de cierre o llave de paso en su parte inferior, similar a una bureta. Para esta separación se calculó el tiempo de sedimentación de las partículas a separar con la Ley de Stokes, y tomando como referencia el tiempo correspondiente a la fracción de 3,9 micras a la temperatura de trabajo (1h 51 min). Luego de ese tiempo se extrajo el material sedimentado por el grifo en la parte inferior a un recipiente, y en otro se colocó el material en suspensión, de esta manera se generan dos

fracciones en el lodo restante. Este material se secó al aire libre, y se pesó. Esto garantizó que la muestra no fuera contaminada por efecto de la adición de cualquier tipo de reactivo para mantener en suspensión al sedimento.

En total se generaron 9 fracciones de cada una de las muestras, siete en las partículas gruesas, iniciando en grava, arenas muy gruesas, gruesas, medias, finas y muy finas, limo grueso, y dos fracciones en las partículas finas (lodo restante).

Para el análisis de las proporciones de las clases granulométricas se empleó la escala de WENTWORTH (1922) y gráficos de porcentajes retenido acumulados vs la escala phi ϕ .

La escala WENTWORTH (1922), se utiliza para analizar estadísticamente la granulometría de un sedimento, está asociada a la terminología sedimentológica, la cual estandariza, mediante subdivisiones convencionales de una sucesión continua de tamaños de grano, agrupándolos en clases o grados granulométricos, mientras que la escala phi ϕ (KRUMBEIN, 1936), se establece a través de la función logarítmica $\phi = -\log_2 x$, donde x es el tamaño del grano, expresado en milímetros; el origen de la escala es el cero, correspondiente a 1 mm y los límites de los intervalos de clase se declaran como logaritmos enteros base 2, asociados a tamaños de grano, múltiplos y submúltiplos de 2, expresados en milímetros. Con esta escala, a los tamaños de grano mayores de 1 mm, les corresponden valores negativos de ϕ y a los tamaños de grano menores de 1 mm, les corresponden valores positivos de ϕ (figura 6).

		mm	ϕ
		↑	↑
Aglomerado		1024	-10
		512	-9
		256	-8
Gruesa		128	-7
		64	-6
	Mediana	32	-5
Grava		16	-4
	Fina	8	-3
		4	-2
Sábulo	Muy Gruesa	2	-1
	Gruesa	1	0
Arena	Mediana	0,5	1
	Fina	0,25	2
	Muy Fina	0,125	3
	Grueso	0,062	4
		0,031	5
Limo		0,015	6
	Fino	0,0078	7
		0,0039	8
Arcilla		0,0020	9

Figura 6. Escala granulométrica (WENTWORTH, 1922) y las equivalencias en phi ϕ propuesta por KRUMBEIN (1936).

La distribución granulométrica se obtiene calculando el porcentaje en peso de cada fracción de tamaño de grano en la escala logarítmica ϕ de WENTWORTH (1922). El rango granulométrico aquí utilizado varía entre -1ϕ (2mm, grava) y 8ϕ (0.0039 mm, arcilla).

La obtención de los parámetros estadísticos sirve para comparar entre sí las distintas distribuciones de tamaños de granos y para correlacionar los diferentes tipos de sedimentos y sus ambientes de deposición (INMAN, 1949). Existen varias formas de calcular los momentos estadísticos a partir de las curvas de distribución, y para el presente trabajo se utilizaron los cálculos propuestos por FOLK Y WARD (1957).

Los parámetros determinados fueron: Mediana, Media, Asimetría, Desviación estándar y Curtosis (figura 7), estos valores obtenidos fueron cotejados con los valores límites para cada uno de estos coeficientes, y cuyas ecuaciones y valores límites se

muestran en la figura 8 y 9.

$$\begin{aligned} \text{Mediana } (Md_{\phi}) &= \phi_{50} \\ \text{Media } (Mz) &= \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \\ \text{Desviación standard } (\sigma_1) &= \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6} \\ \text{Asimetría } (Sk_1) &= \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \\ \text{Curtosis } (K_G) &= \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})} \end{aligned}$$

Figura 7. Ecuaciones propuestas por FOLK Y WARD (1957) para el cálculo de los parámetros estadísticos del tamaño de grano.

Las medidas de tendencia central (figura 10), son la mediana (Md) y la media (Mz). La mediana corresponde a la ordenada del 50% en la curva acumulativa, parámetro útil en el estudio del origen y el transporte de las partículas, en especial si existen más de dos fuentes de procedencia de sedimentos, sin embargo presenta la desventaja de no incluir a los extremos de dicha curva.

Límites de clase (K_G)	Curtosis	Límites de clase (σ_1)	Índice de Clasificación
< 0.67	Muy platicúrtica	< 0.35	Muy bien clasificado
0.67 - 0.90	Platicúrtica	0.35 - 0.50	Bien clasificado
0.90 - 1.11	Mesocúrtica	0.50 - 0.70	Moderadamente bien clasificado
1.11 - 1.50	Leptocúrtica	0.70 - 1.00	Moderadamente clasificado
1.50 - 3.00	Muy Leptocúrtica	1.00 - 2.00	Mal clasificado
> 3.00	Extremadamente Leptocúrtica	2.00 - 4.00	Muy mal clasificado
		> 4.00	Extremadamente mal clasificado

Figura 8. Coeficientes de clasificación y curtosis para el tamaño de partículas (FOLK Y WARD, 1957).

La media (Mz), proporciona el promedio del tamaño de las partículas, dato útil para la interpretación de las condiciones de

formación de los sedimentos clásticos, pues se relaciona con la energía del agente de transporte, ya que es función directa de la litología y de la textura de la roca original.

Las medidas de dispersión son otro aspecto importante de la clasificación de un sedimento dentro del análisis granulométrico, dado que ellas presentan la tendencia a que todos los granos sean incluidos dentro de una clase o tamaño de grano.

Límites de clase (SK_1)	Índice de Asimetría
+ 1.00 a + 0.30	Muy asimétrico hacia las partículas finas
+ 0.30 a + 0.10	Asimétrico hacia las partículas finas
+ 0.10 a - 0.10	Simétrico
- 0.10 a - 0.30	Asimétrico hacia las partículas gruesas
- 0.30 a - 1.00	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas

Figura 9. Coeficientes de asimetría para el tamaño de partículas (Folk y Ward, 1957).

Así, el índice de asimetría (SK_1), la medida de la simetría de la distribución del tamaño de las partículas, es decir, nos señala el grado de distribución de los granos en la curva de frecuencia y su aproximación a la normalidad, representada en la curva de Gauss.

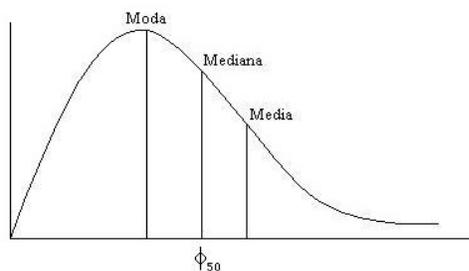


Figura 10. Grafico indicando los parámetros estadísticos de medidas de tendencia central.

Por otra parte, el índice de clasificación (σ_1) proporciona el grado de uniformidad del tamaño de las partículas en el sedimento. Y finalmente tenemos, la curtosis (K_g), proporciona el comportamiento de la campana de Gauss, comparando la dispersión de la población central con los extremos de la distribución, por lo que ésta es una buena medida del grado de selección de los granos, ya que relaciona a las clases proximales (centrales) con las distales (extremas).

Una vez calculados los parámetros estadísticos descritos para cada una de las muestras, se utilizó las funciones discriminatorias propuestas por SAHU (1964) para la interpretación de los ambientes y mecanismos de depósito. Estas funciones son obtenidas mediante un estudio cuantitativo de métodos de discriminación de diferentes mecanismos y ambientes de sedimentación, suponiendo que la distribución del tamaño de grano de los sedimentos clásticos refleja el factor de fluidez (viscosidad) del medio de depósito. Para ello, se muestrearon diferentes ambientes como corrientes de turbidez, ambientes marino somero (hasta 90 metros de profundidad), depósitos de duna y planicies eólicas (CUPUL *et al.*, 2006).

Según SAHU (1964), cuando la distribución es normal, las variables X_1, X_2, \dots, X_p , los coeficientes $\lambda^1, \lambda^2, \dots, \lambda^p$ y una función discriminante Y relacionada linealmente a las variables pueden ser definidas como:

$$Y_1 = \lambda^1 X_1 + \lambda^2 X_2 + \dots + \lambda^p X_p$$

Donde las λ^i son escogidas para que la proporción de la diferencia entre medias de la muestra a la desviación estándar, dentro de los dos ambientes de depósito, sea maximizada. Como resultado del análisis se generan cuatro funciones discriminantes para ser utilizadas en la clasificación de ambientes de depósitos sedimentarios (CUPUL *et al.*, 2006; SINGARASUBRAMANIAN *et al.*, 2006): (I) Distingue los procesos eólicos y litorales, (II) diferencia ambientes litorales de los ambientes marinos agitados, (III) entre ambiente marino somero y procesos fluviales y (IV) entre ambientes fluvial y deltaico. De acuerdo a

las características del ambiente presente en el área de estudio se utilizaron las funciones I y III. Para distinguir entre los ambientes de depósitos se utilizó la función I (A_1):

$$A_1 = -3,5688Mz + 3,7016\sigma_1^2 - 2,7066SK_1 + 3,1135K_G$$

Donde Mz es el tamaño medio de grano, σ_1 es la desviación estándar o índice de clasificación, SK_1 es la asimetría y K_G es la curtosis, y el coeficiente discriminador es -2,7411. Para depósitos eólicos A_1 debe ser menor, mientras que si es el caso contrario corresponde a un depósito fluvial.

Para discriminar entre un ambiente marino somero y uno fluvial, se utilizó la ecuación III (A_3), cuyo coeficiente discriminante es -7,419. Si $A_3 < -7,419$ la muestra se identifica como un depósito fluvial (deltaico) y si $A_3 > -7,419$ corresponde a un depósito marino somero.

$$A_3 = 0,2852Mz - 8,7604\sigma_1^2 - 4,8932SK_1 + 0,0483K_G$$

Se generaron mapas de distribución para cada una de las texturas y parámetros encontrados, con la aplicación Surfer 10.00. Para elaborar dichos mapas de distribución espacial, se utilizó el método de interpolación geoestadístico Kriging, seleccionado por las ventajas discutidas al inicio (batimetría) y por la robustez y confianza de sus estimaciones (LASLETT *et al.*, 1987; WEBER Y ENGLUND, 1992; CARVAJAL *et al.*, 1999; ALVAREZ *et al.*, 2011). El método de interpolación Kriging utiliza determinadas funciones matemáticas, las cuales garantizan que las unidades analizadas próximas al dato recolectado sean más parecidas que las alejadas (JAKOB, 2002).

Se elaboraron los semivariogramas de base de datos, y las fracciones (anexo 2) además se generan los parámetros de cada modelo (anexo 3), ajustando por tanteo y correlacionando visualmente la línea de tendencia que representa el modelo planteado con los datos recolectados.

Análisis mineralógico.

La identificación de los minerales se realizó bajo la lupa binocular empleando la técnica de conteo. Se identificaron y contaron 600 granos por fracción de cada muestra de la clase textural gruesa, se consideró esta cantidad de granos luego de una revisión de los trabajos de PETTIJOHN (1933), KRUMBEIN (1941), MANN (1951) y MASON (1958), quienes realizaron el conteo de entre 300 y 500 granos de la fracción fina de las arenas.

Se realizaron pruebas estadísticas con las herramientas de análisis de varianza de una vía, análisis de componentes principales (APC), gráficos de cajas y bigotes, y distribución de los minerales, para observar su comportamiento en el golfo.

Se elaboraron los semivariogramas de base de datos, y las fracciones (anexo 1) además se generan los parámetros de cada modelo (anexo 2), ajustando por tanteo y correlacionando visualmente la línea de tendencia que representa el modelo planteado con los datos recolectados.

Integración de datos sedimentológico y batimétricos.

La integración de los datos texturales y mineralógicos obtenidos de los sedimentos con los datos de batimetría se realizó en dos etapas, una primera etapa que consistió en colocar la imagen del modelo batimétrico del golfo generado al inicio del estudio, sobre los mapas de distribución de texturas granulométricas y tamaño de grano medio, para interpretar relaciones entre estos parámetros. Luego se generó una base de datos (Anexo1) que contiene textura de los granos, parámetros estadísticos del grano, principales minerales y fragmentos de rocas, zonas y profundidad. Para análisis estadísticos comparativos entre cada uno de los parámetros se generaron gráficos de cajas y bigotes, análisis de varianza de una vía o simple, prueba de Kruskal – Wallis y análisis de componentes principales (APC).

La aplicación Microsoft Office Excel 2007 se utilizó para determinar los grados texturales y parámetros estadísticos del tamaño de grano. Para la interpretación de los resultados experimentales obtenidos se utilizaron herramientas estadísticas, como el

paquete estadístico computarizado Statgraphics Centurion versión 16.1.17, éste se utilizó para describir la zona mediante análisis de varianza de una vía, usando la prueba de Kruskal-Wallis considerando los datos no paramétricos, para determinar si existen diferencias significativas. Adicionalmente se realizó el análisis de componente principales (APC) para reducir el número de variables, por combinaciones lineales de las variables de la matriz y encontrar una serie menor.

El análisis de componentes principales (APC) es un método estadístico multivariado que ha sido ampliamente usado en el análisis de datos en ciencias marinas (CARRIQUIRY *et al.*, 2001). El APC es una técnica estadística de reducción de la dimensión (número de variables). Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales e independientes entre sí. Un aspecto clave en el APC es la interpretación de los factores, que será deducida tras observar la relación de los factores con las variables iniciales (DAVIS, 1986).

CONTEXTO GEOLÓGICO

De las etapas de enfriamiento o glaciaciones, la llamada Wisconsin ha sido la más estudiada pues marca en el periodo Cuaternario, la separación entre el Pleistoceno y el Holoceno. Se considera al Pleistoceno como la primera época del Cuaternario con una duración de 2 millones de años; mientras que el Holoceno o Reciente es una etapa convencional usada para designar la edad de los sedimentos, relacionados con la transgresión post – Wisconsin que se inició al terminar la mencionada glaciación hasta la estabilización del nivel del mar en su posición actual (MACSOTAY, 1977).

En este capítulo se describe en forma general los fenómenos geológicos que ocurren en el golfo de Cariaco, regional y localmente. Desde las teorías sobre el origen, formación y evolución de la placa del Caribe, su interacción con la placa tectónica de Suramérica, hasta la relación de estas con el golfo de Cariaco, todo esto ocurrido en los últimos 15 millones de años (MACSOTAY *et al.*, 2009), así como una recopilación de la información de las unidades litológicas presentes en las zonas emergidas adyacentes al golfo.

Geodinámica del Caribe.

La región del Caribe es una zona de interacción entre 5 placas tectónicas: Nazca, Cocos, Suramérica, Norteamérica y la del Caribe, donde existen diversas deformaciones que producen unidades geomorfológicas complejas. A pesar de los estudios realizados en ésta, actualmente no existe consenso entre la comunidad científica en relación al origen de la placa del Caribe. La primera teoría parte de un origen en el Pacífico (PINDELL Y BARRET, 1990; PINDEL, 1994; PINDEL Y KENNAN, 2001; PINDELL *et al.*, 2005), tal como se muestra en la figura 12 y la segunda da un origen in-situ o intra-América (MESCHÉDE, 1998; MESCHÉDE Y FRISCH, 1998) como á representado en la figura 13.

MOLNAR Y SYKES (1969) fueron los primeros en sugerir que la zona del Caribe se mueve como una placa rígida, esta se desplaza hacia el este con respecto a la placa de Suramérica (AUDEMARD, 2000). Medidas georeferenciadas realizadas, utilizando GPS (Global Positioning System) indican que la placa del Caribe se mueve hacia el este respecto al continente Suramericano con una velocidad del orden de 20,5 mm/año +/- 2 (WEBER *et al.*, 2001).

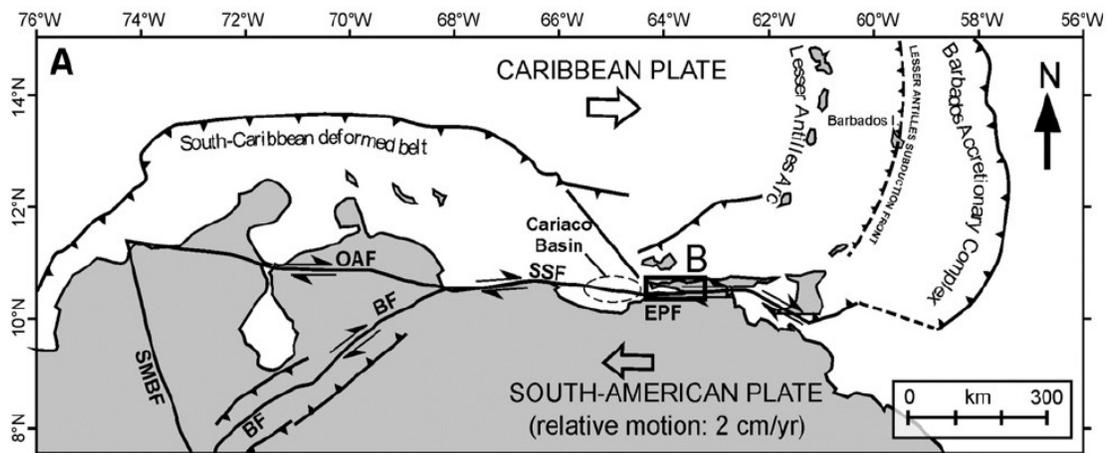


Figura 11. Geodinámica actual de la región del Caribe. EPF: Sistema de fallas de El Pilar, SSF: Falla de San Sebastián, BF: Falla de Boconó, OAF: Sistema de fallas Oca – Ancón, SMBF: Falla Santa Marta – Bucaramanga. (Modificado por AUDEMARD, 2007).

El límite entre las placas del Caribe y Suramérica no está representada por una simple falla transcurrente dextral. Este límite es una compleja zona de deformación tectónica de unos 100 km de ancho, resultante de procesos de colisión oblicua entre las dos placas. Esta zona actualmente consiste en una franja de más de 1000 km de longitud, que conecta la zona de subducción de las Antillas Menores, al este con la franja del Caribe meridional tectónicamente deformada e inclinada hacia el sureste, ubicada al sur (WEBER *et al.*, 2001). De esta forma, el movimiento relativo de las dos placas tectónicas del Caribe y de América se refleja en el movimiento E-O a lo largo del rumbo de la falla El Pilar, sísmicamente activa, como está demostrado por la distribución focal de los terremotos de mayor magnitud (WEBER *et al.*, 2001).

YSACCIS Y AUDEMARD (2000) y AVÉ LALLEMANT (1990) plantean que la zona límite entre las placas Caribe – Sudamérica, al este de Venezuela, está definida por una región transicional de ancho considerable (350 Km aproximadamente), constituida por corteza oceánica y continental, limitada por fallas extensionales y transformantes. Estos autores plantearon el modelo llamado “Orógeno en Flotación” (Orogenic Float), definido por OLDOW *et al.* (1989), para explicar la deformación por compresión, transpresión, transtensión y balance litosférico en un marco tectónico regional de subducción oblicua. En la región este de Venezuela, el sistema planteado estaría comprendido entre el cinturón plegado de la Blanquilla del norte y la Serranía del Interior del sur (figura 11).

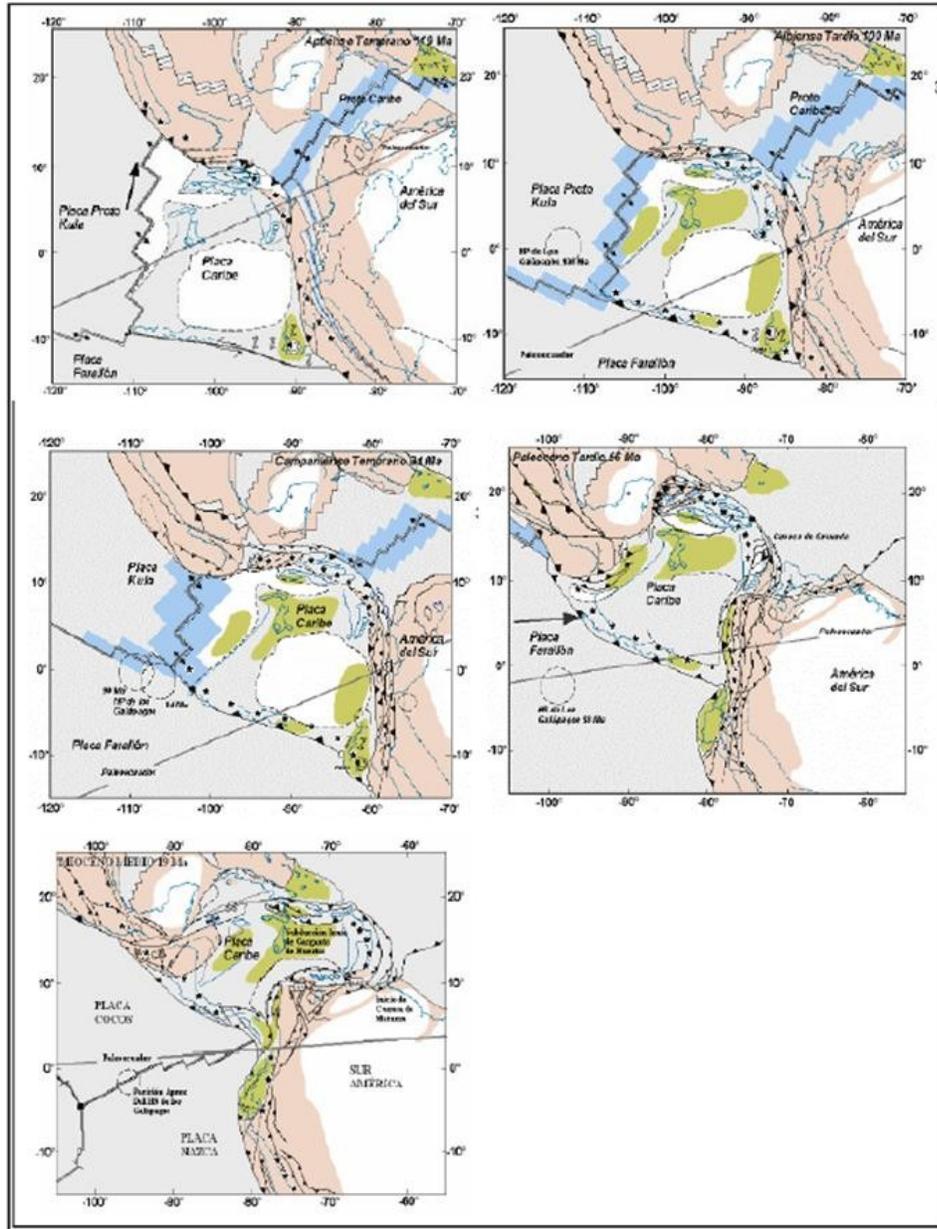


Figura 12. Evolución de la placa del Caribe, del Apitense temprano al Mioceno medio. Modelo Pacífico (Modificado de PINDELL Y KENAN, 2001. Tomado de ÁVILA, 2005).

Caribe y Sudamérica, de ahí la importancia de realizar una breve explicación del modelo de origen y la geodinámica en la región. La formación de la placa del Caribe es un tema muy discutido, y se generan dos modelos o tendencias para explicar este origen. Para efectos del presente estudio se realiza una breve descripción de ambos modelos, con énfasis en el modelo de origen Pacífico.

Modelo de origen Intra – América.

Se observa como la placa del Caribe se va formando al mismo tiempo que se separan Norte y Suramérica, y que el bloque Chortís va rotando a través del sistema de fallas de Montagua y la placa Caribe prácticamente solo subduce por debajo del extremo de las Antillas menores, y como la placa Caribe conserva el tamaño desde el Santoniense hasta la actualidad (figura 13).

Modelo de origen Pacífico.

La evolución geológica de la región del Caribe comienza a partir del Jurásico con la etapa de rifting, en la cual se inicia el rompimiento continental entre Sudamérica y el bloque de Yucatán, generando la subsidencia del margen norte de la primera y el desarrollo de un margen de extensión pasivo que originó a Proto-Caribe (PINDELL *et al.*, 1988 y STEPHAN *et al.*, 1990).

Para el Jurásico Tardío – Cretácico Temprano (140 M.a.), al oeste de Sudamérica, PINDELL Y BARRET (1990) y ERLICH Y BARRET (1990) sugieren un arco de islas ancestral de las Antillas Mayores ubicado al este del Pacífico, donde se inició un margen divergente entre dicha península y Sudamérica por la continua separación entre el Norte y Sudamérica (PINDELL *et al.*, 1988).

Para el Barremiense – Aptiense (125 M.a.) ocurre un cambio en la dirección de migración de noreste a sureste del arco volcánico de las Antillas Mayores, desarrollándose un límite convergente al oeste de Sudamérica (OSTOS, 1990). Se propone para este tiempo,

la formación del Grupo Villa de Cura, el cual representa una pieza del arco de Aves que fue obductado en el noreste de Sudamérica (representado por la cordillera de la Costa y parte del “Bloque de Margarita”).

Hasta el Cretácico Medio – Tardío (95 M.a.), al noreste de Sudamérica se desarrolló una gran cuenca extensional de margen pasivo (OSTOS, 1990), hasta que el centro de expansión del Proto-Caribe comenzó a extinguirse y dicha placa alcanzó su máximo tamaño (PINDELL *et al.*, 1988). Hacia el Campaniense (84 M.a.) , al oeste, el extremo sur de arco de islas colisionó con el extremo noreste de Sudamérica (STEPHAN *et al.*, 1990; OSTOS, 1990), y posteriormente se desarrollaron límites transformantes al norte y sur de la placa Caribe. Mientras tanto, esta continuó su deriva hacia el noreste. Para finales del Cretácico, el “Forebulge” de la placa Proto-Caribe, que para este tiempo se hallaba subductando bajo la placa Sudamericana, se encontraba en las actuales costas orientales venezolanas, creando una zona positiva que limitó la sedimentación posterior de las formaciones del Terciario (PINDELL Y KENNAN, 2001).

Durante el Paleoceno (56-70 M.a.) (OSTOS, 1990; ERLICH Y BARRET, 1990), proponen un cambio en el desplazamiento relativo del Caribe, producto de una colisión oblicua y desplazamiento del “Bloque Margarita” (constituido por las actuales penínsulas de Paria y Araya, Cordillera de la Costa e islas del este del Caribe) sobre Sudamérica. Los altos de La Blanquilla, Aves, Margarita, Los Testigos y Antillas Neerlandesas están emergidos y continúan así durante todo el Paleógeno, representando fuentes de aporte de sedimentos para las cuencas extensionales adyacentes.

A partir del Eoceno Temprano (58 M.a), la separación entre Norte y Sudamérica quedó extinta (PINDELL *et al.*, 1988) y como consecuencia de la colisión y migración de la placa Caribe, el oeste de Venezuela pasa a ser un margen activo donde se producen diversos efectos geológicos. STEPHAN *et al.*, (1990) y PINDELL Y BARRET (1990) proponen para esta época el desarrollo de una cuenca “pull-apart” identificada como la fosa de Cayman, responsable de los desplazamientos de fallas transcurrentes y el cambio a un desplazamiento en dirección sureste del Caribe. Al mismo tiempo, comienza la etapa “rift” intraplaca descrita por YSACCIS (1997), en un dominio retroarco, donde según OSTOS, (1990)

comienzan a generarse las cuencas intracaribe (episuturales) al norte de Venezuela, entre las cuales están Golfo Triste y Granada.

Producto de la colisión entre las placas Sudamérica y Caribe, comienza la transpresión en el occidente de Venezuela y se genera una rotación en sentido horario de los bloques transpresionales en la zona límite este y sur de la placa Caribe y norte de Sudamérica, relacionado con el fallamiento en sentido dextral de Oca- San Sebastián- El Pilar entre ambas placas (PINDELL *et al.*, 1988; OSTOS, 1990).

Durante el Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano (35 M.a.) se genera un patrón regresivo a lo largo del margen norte de Sudamérica. La trinchera del Caribe y prisma de acreción han empezado a emplazarse sobre la zona de la Serranía del Interior, acrecionando las penínsulas de Araya y Paria y el “Northern Range” (Trinidad) (PINDELL Y KENNAN, 2001). El primer indicador de colisión en esta zona, es la discordancia del Eoceno Tardío en la plataforma del este de Venezuela, que probablemente representa el paso del “bulge” debido a la carga de la litósfera por la colisión del arco (SPEED, 1985 y PINDELL Y KENNAN, 2001).

La Falla de Margarita divide la cuenca La Blanquilla, comienza a observarse la paleofosa Cariaco y se acentúan los rasgos estructurales de extensión paleógena dentro la placa Caribe (YSACCIS, 1997).

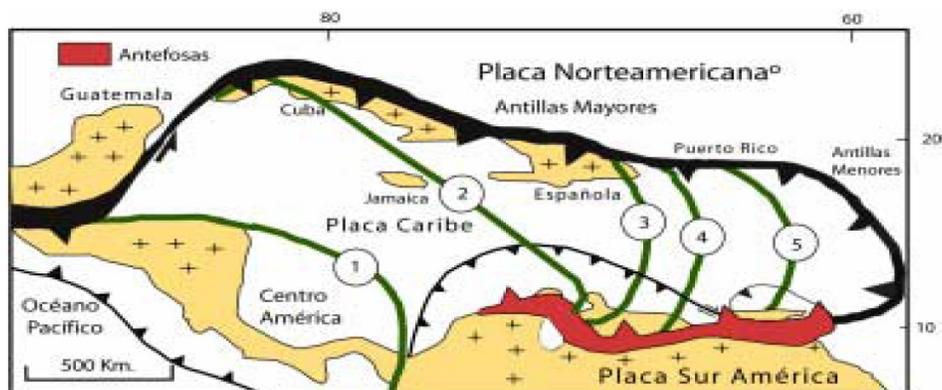


Figura 14. Evolución geodinámica de la placa del Caribe. 1: Cretácico tardío, 2: Paleoceno, 3: Eoceno, 4: Oligoceno, 5: Mioceno, 6: Mioceno tardío – Reciente (línea negra). (Tomado de LUGO Y MANN, 1995)

STEPHAN *et al*, (1990) caracterizan el comienzo del Oligoceno como un período de

quietud tectónica alrededor del Caribe o una disminución en el movimiento de la región caribeña. Esta quietud corresponde a la interrupción temporal del volcanismo relacionado a la subducción de la corteza Atlántica bajo las Antillas Menores.

YSACCIS (1997) estableció para el lapso de tiempo entre el Oligoceno Mioceno Temprano un régimen de inversión, el cual en la cuenca de Carúpano (Subcuenca Caracolito y alto de Patao) se caracteriza por la inversión de estructuras extensionales tempranas; la inversión tectónica de esta cuenca, se debe a fuerzas compresionales relacionadas a la convergencia oblicua ONO- ESE entre el Caribe y la Placa Sudamericana.

Para el Oligoceno Tardío (30 M.a.) el frente de deformación del Caribe alcanza la zona de la actual península Araya y Paria y posteriormente a la isla Trinidad. El fallamiento destal a lo largo del norte de Sudamérica (Boconó- San Sebastián- El Pilar) genera las cuencas “pull-apart” de Falcón, Bonaire y la Baja Guajira al noreste de Venezuela (OSTOS, 1990).

Para el Mioceno Temprano (24 M.a.), el interior de la placa Caribe se encontraba dominado por una fase transpresiva, donde ocurre la inversión de estructuras extensionales preexistentes, tales como fallas normales en la cuenca La Blanquilla y Caracolito (YSACCIS, 1997).

PINDELL Y KENNAN (2001), plantearon para este tiempo, un cambio en el azimuth de la región del Caribe, lo cual produjo el mayor cambio en el sitio tectónico del desarrollo en el sureste de la región del Caribe.

Mioceno Temprano - Medio? (17 M.a.) ocurre en la región sur de la cuenca Tuy-Cariaco, el emplazamiento de bloques ígneo-metamórficos de la cuenca antepaís, lo cual puede ser contemporáneo con el inicio del “foredeep” de Maturín y la deformación de la Serranía del Interior. Durante el Mioceno Medio, en la zona más al sur de Cariaco, se emplaza el terreno ígneo-metamórfico en el tope del “Foreland (CHEVALIER *et al.*, 1995 en YSACCIS, 1997).

Al norte, las cuencas Tuy-Cariaco, La Blanquilla y áreas circundantes son sometidas

a un marco transpresivo durante el Mioceno Temprano-Medio, el cual genera un plegamiento de los depósitos sedimentarios previos y emplazamiento de secuencias eocenas y cretácicas sobre la isla de Margarita, lo cual, según SPEED (1985) y PINDELL Y BARRET (1990) ocurre a comienzos del Neógeno y finaliza antes de la sedimentación de la Formación Cubagua.

Durante el Mioceno Medio- Tardío (11 M.a.) el “Forebulge” del Caribe migró lo suficiente al sur, y una porción del prisma de acresión emplazada para el Oligoceno, culminando la deformación de la Serranía del interior. Parte del orógeno de la Serranía estuvo expuesto para ese momento (PINDELL Y KENNAN, 2001).

El origen de las fallas de Urica, San Francisco y los Bajos engloba traslación post-Oligocena del “Bloque Margarita”, causada posiblemente por la migración de esfuerzos a lo largo de límites de placas como ramales, producto del cambio de esfuerzos en la zona de fallas de El Pilar. En este mismo tiempo se asume la formación de la cuenca de Paria (ERLICH Y BARRET, 1990).

Patrones estructurales sugieren un cambio en las condiciones dinámicas de una transpresión orientada ONO-ESE durante el Mioceno Medio a una componente dextral prevaleciente con orientación este - oeste desde el Mioceno Tardío. Debido a esto, YSACCIS (1997) caracterizó para el Mioceno medio una fase de relleno caracterizado por un período de quietud tectónica, el cual en muchos lugares condujo a las uniformidad del espesor de los estratos. Gran parte del área fue cubierta con sedimentos depositados en un ambiente batial. Los datos batimétricos de los pozos perforados en la cuenca de Carúpano, indican una profundidad máxima de aguas en este tiempo (YSACCIS, 1997).

Un aumento en el nivel del mar en el orden de 100 m. podría estar relacionado con ésta profundización, el cual es consistente con el levantamiento mundial registrado para finales del Mioceno temprano- Mioceno medio (HAQ *et al.*, 1986), pero no puede adecuarse para explicar la repentina profundización de la cuenca a profundidades batiales.

Del Mioceno Tardío al Reciente, el cinturón de deformación al sur del Caribe continúa activo evidenciado por la deformación de sedimentos neógenos y por la actividad

de las fallas de Boconó, Santa Marta y San Sebastián. De igual manera, se encuentran completamente formados la Serranía del Interior, Sistema de Cordillera de la Costa, península Araya-Paria y las cuencas costafuera de Venezuela.

En la cuenca Tuy-Cariaco, el sistema de fallas de Coche- La Tortuga es transtensivo (con el flanco norte deprimido); presenta una orientación noroeste-sureste en la parte oeste y este-oeste hacia la parte este. Este sistema, en conjunto con la falla de Margarita, genera hacia el norte de la cuenca Tuy- Cariaco una fase de régimen transtensivo, que para el Plio-Pleistoceno limitan la subcuenca “Pull-Apart” Tuy- Cariaco Norte. Del Mioceno Tardío al Reciente, la región caribeña está controlada por fallas con tendencias este-oeste de tipo transcurrente dextral, caracterizada por distensión-partición (strain-partitioning). Este régimen presenta un dominio transpresional al norte de las costas venezolanas (YSACCIS, 1997).

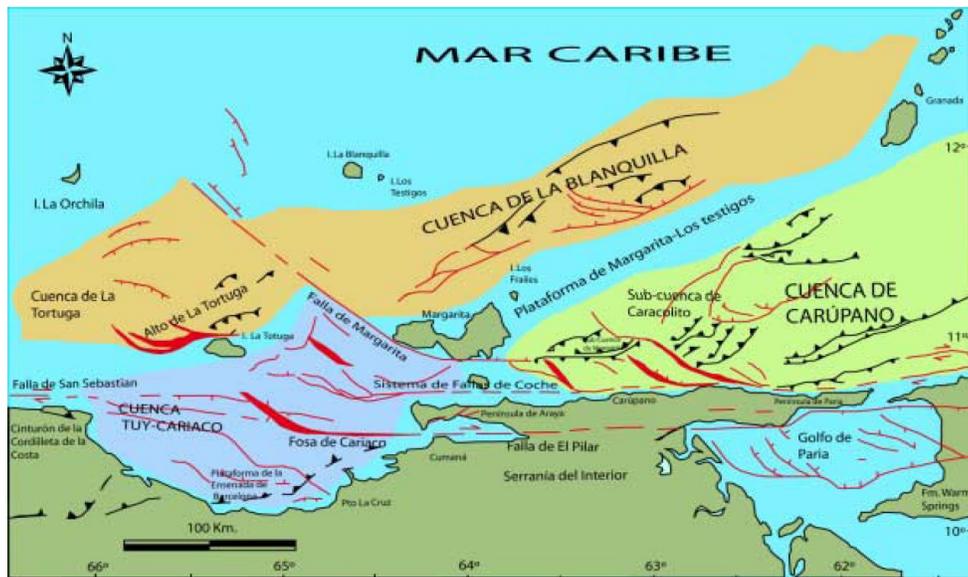


Figura 15. Principales cuencas en la zona costa afuera de Venezuela (tomado de YSACCIS, 1997)

Geodinámica Local

Península de Araya.

El origen de la península de Araya ha sido planteado por diversos autores (SCHUBERT, 1969; SPEED, 1985; ERLICH Y BARRET, 1990 y AVÉ LALLEMANT, 1990), quienes mantienen la idea que las rocas ígneas-metamórficas que componen la península, son de edad Mesozoica y su metamorfismo es producto del movimiento de la placa Caribe hacia el este. Sobre esta zona han ocurrido una variedad de procesos que han determinado la configuración geológica actual de la península de Araya. MACSOTAY (1973) define la península de Araya como un bloque de rocas metamórficas mesozoicas cubiertas localmente por sedimento plegados del Mioceno Superior a Pleistoceno llamado “Horst de Araya”.

Evolución tectónica del basamento metamórfico

El origen de la península de Araya y su núcleo ígneo-metamórfico que representa actualmente el basamento, está ligado al movimiento relativo de la placa Caribe hacia el este, el cual ha sido discutido por diversos autores (PINDELL *et al.*, 1988; ERLICH Y BARRET, 1990; AVÉ LALLEMANT, 1990).

En la Cordillera de Costa de Venezuela, los sedimentos del Grupo Caracas fueron subsecuentemente levantados por la falla de San Sebastián, entre otras. (SCHUBERT, 1969 y OSTOS, 1990), y separan a Villa de Cura de la corteza Caribe y otros cuerpos oceánicos a lo largo de la costa.

SCHUBERT (1972) señaló que la Cordillera de Araya- Paria estuvo originalmente (durante el Cretácico) al norte de la Cordillera de la Costa, y alcanzó su posición actual mediante movimientos transcurrentes dextrales a lo largo de la Falla del Pilar. Esto implica que las rocas provenientes de la cordillera Araya- Paria son equivalentes a las del Grupo Caracas. Posteriormente se produjo el levantamiento de la región y corrimiento hacia el sur, evidenciando por el transporte tectónico norte-noreste dominante en Araya.

SPEED (1985) señaló que a partir de los estudios gravimétricos, podría interpretarse un bloque con semejanzas litológicas desde la península de Araya a la isla de Tobago, llamado

“terreno Araya-Tobago”, propuesto como perteneciente a la zona de “Forearc” convergencia SSE perteneciente a las Antillas menores, que fue emplazado sobre el continente desde mediados del Terciario hasta el Reciente.

El metamorfismo se debe al calentamiento del basamento, por el emplazamiento en la cuenca “Forearc” durante la colisión y acreción con el continente. Su protolito se deriva de sedimentos (Mesozoicos-Cenozoicos) provenientes de la cuenca atlántica que afronta el norte de Sudamérica (alto continental, talud y plataforma externa).

El basamento comprende la Formación Manicuare, la cual se extiende en forma de una faja aproximadamente 3 a 5 Km. de ancho, en dirección este-noreste, entre las poblaciones de Araya y Chacopata, y desde la costa norte de la península de Araya hasta Manicuare, en la costa sur, parcialmente limitada por la falla de Salazar. La Formación Manicuare consiste en esquistos cuarzos-micáceos (70%), frecuentemente granatíferos (almandino) y/o epidóticos, con abundantes intercalaciones de cuarcitas (29%) y algunas bandas de esquistos anfibólicos (tremolita-actinolita), mármol y gneis. La edad de esta formación es desconocida (AVÉ LALLEMANT, 1990).

Evolución tectónica de la secuencia sedimentaria

Para el Mioceno Temprano-Medio a lo largo del noreste de Venezuela ocurrió una fase de inversión que generó el levantamiento previo de distintas estructuras, para luego alzar la península de Araya previamente emplazada. SCHUBERT (1972) dedujo que por lo menos existen dos tipos de deformación en las rocas que componen dicha península: uno más antiguo, caracterizado por fallamientos en dirección norte-noreste a sur-sureste y otro más joven, representado por fallas longitudinales de rumbo este-noreste con movimientos verticales y transcurrentes.

El régimen estructural que controla la península de Araya para el Plioceno está dado por un régimen de inversión, evidenciando en la cuenca Tuy-Cariaco. Junto al sistema de fallas de Coche-La Tortuga, este régimen presenta un dominio transpresional al norte de las costas venezolanas, debidas al desencadenamiento Plioceno de la transpresión producto de la reducción (casi culminación) del desplazamiento transcurrente de esta falla (YSACCIS,

1997 y PINDELL Y KENNAN, 2001). Dicho Fallamiento se postula como el causante de la generación del fallamiento este-oeste mencionado a lo largo de la zona occidental de la península de Araya.

Esta zona de falla constituye una zona transcurrente activa, con aproximadamente 10 Km de desplazamiento en los últimos 1,6 M.a. del desplazamiento este-oeste entre la placa Caribe y Sudamérica (ALGAR Y PINDELL, 1993 EN PINDELL Y KENNAN, 2001). Éstas según Schubert (1972), pertenecen al mismo sistema de fallas orientadas este-oeste de la falla de El Pilar y la falla al norte de la península.

BLADIER Y MACSOTAY (1977) determinaron direcciones de acortamiento cortical plio-cuaternarias alrededor del golfo de Cariaco, las cuales se evidenciaron, según PADRÓN (1992), por una sedimentación más somera a lo largo de la península hasta la completa emergencia y exposición que propician la subsiguiente erosión de la secuencia Neógena durante el resto del Pleistoceno.

Los bloques generados a partir del segundo patrón de fallamiento este-oeste a lo largo de la península, se encuentran basculados, reflejando un sistema de anticlinales y sinclinales en la sección sedimentaria de Araya (GIRALDO Y BELTRAN, 1988 y GIRALDO Y BLANCO 1988, MALONEY (1966) Y BALL *et al.* (1969) en MACSOTAY (1977).

En el Pleistoceno medio, el patrón de fallamiento con orientación NNE-SSO y ENE-OSO originó el levantamiento y posterior transcurrencia de los distintos bloques que representan la topografía actual de la zona. Entre los bloques levantados está el cerro Barrigón, el cual se encuentra rodeado por la falla de Tacarigua (ladera norte) y Laguna Grande (ladera sur). Durante el contacto Pleistoceno superior/inferior se marca el inicio del descenso mundial del nivel del mar, seguido por el hundimiento regional de gran parte de la plataforma continental en Venezuela Nororiental. A finales de esta época y principios del Holoceno, las aguas invaden la zona peneplanadas produciendo, además de un retrabajo del basamento, una extensiva colonización de organismos endolíticos (moluscos y esponjas) (PADRÓN, 1992).

MACSOTAY *et al.*, (2009), describen de forma detallada el origen del golfo, y sugiere

una edad de 0,4 – 0,3 Ma, para el momento del cierre del Canal de Humboldt con el levantamiento del umbral de Salazar al este, pasando de aguas bien circuladas con abundante biodiversidad (formación Cumaná) a un régimen de aguas disóxicas, tal como se presenta actualmente. DAELE *et al*, (2011) realizaron estudios de perfiles sísmicos y definieron una serie de unidades o facies sísmicas que interpretaron como indicadores (evaporitas, deltas “offlap” y discontinuidades erosionales) para reconstruir el régimen depositacional del golfo, y concluyen que el golfo de Cariaco estuvo aislado del océano en el último descenso del nivel del mar, denominando esta área como lago de Cariaco.

Tabla 2. Resumen de las formaciones geológicas, tipos de rocas y minerales, de la zona adyacente al golfo de Cariaco.

FORMACIONES	TIPO DE ROCA	MINERALES	FORMACIONES	TIPO DE ROCA	MINERALES
Formación Manicuaire	Esquistos cuarzo-micáceos	cuarzo (30%), muscovita (5-40%), biotita (1-25%), clorita (1-30%), plagioclasa (probablemente albita ; 5-35%), epidoto (accesorio-25%), zoisita (1-20%), granate (mandino; accesorio-5%), cloritoide (0-5%), cianita (accesorio-10%), grafito (accesorio-20%), óxido de hierro indeterminado (accesorio-25%), y turmalina, magnetita, limonita y hematita como accesorios	Formación Tunapui	filitas	cuarzo (45-90%), clorita (0-45%), muscovita (en gran parte sericita) (0-40%), calcita (0-30%), plagioclasa (probablemente albita; accesorio-20%), limonita (0-5%) y óxido de hierro indeterminado, hematita, turmalina, y esfena como accesorios.
	Cuarcitas	cuarzo (70-100%), muscovita (accesorio-30%), biotita (accesorio-10%), clorita (1-10%), plagioclasa (albita; 1-10%), epidoto (accesorio-1%), zoisita (0-10%), granate (accesorio-1%), esfena (0-1%), y circón, rutilo, turmalina, hematita y óxido de hierro indeterminado como accesorios		esquistos cuarzo-micáceos	
	Esquistos anfibólicos	cuarzo (0-1%), muscovita (0-11%), clorita (accesorio-20%), plagioclasa (probablemente albita o oligoclasa; 5-40%), tremolita-actinolita (principalmente actinolita; 30-65%), epidoto (1-20%), granate (almandino; 10-30%), esfena (accesorio-10%), y magnetita como accesorio	Formación Chiguana	arcillas, arcillas arenosas y calizas arenosas de colores pardo amarillento a rojizo, o verdoso	
	Mármoles	calcita (99-100%), CUARZO (ACCESORIO-1%), muscovita, y pirita como accesorio	Formación Caiguire	Marga fosilífera, yesífera	
	Geises	cuarzo (120-25%), feldspato potásico (10- %), plagioclasa (albita? 30-50%), biotita (5-20%), sericita (accesorio-5%), clorita (1-20%), y granate, epidoto, limonita, magnetita y óxido de hierro		Arcilla marrón, yesífera	
	Vetas de cuarzo	Cuarzo	Formación Cumaná	Coquina	
Formación Laguna Chica	filitas cuarzo-cloríticas,	cuarzo (50-70%), clorita (10-50%), muscovita (0-10%), epidoto (accesorio-10%), plagioclas (albita, 0-5%), calcita (0-5%) y óxido de hierro indeterminado (accesorio-10%)		guijas de caliza y chert	
	cuarcitas	cuarzo (90-100%), clorita (1-5%), muscovita (1-5%), óxido de hierro indeterminado (accesorio 5%)		arcilla	
	esquistos cloríticos	cuarzo (0-30%), clorita (20-40%), plagioclasa (probablemente albita; 0-50%), epidoto (0-30%), clinozoisita (0-50%), y granate y esfena como accesorios			
Formación Carúpano	esquistos cuarzo-micáceos-calcáreos	cuarzo (20-60%), muscovita (5-20%), clorita (10-60%), calcita (10-60%), epidoto (accesorio-10%), plagioclasa (0-10%), tremolita-actinolita (0-5%), esfena (0-5%) y grafito, pirita, magnetita y óxido de hierro indeterminado como accesorios	Formación Barranquin	calizas y lutitas	
	mármoles, mármoles esquistosos y calizas recristalizadas	cuarzo (1-30%), clorita (accesorio-30%), muscovita (0-10%), calcita (50-99%), plagioclasa (0-20%), epidoto (0-10%), esfena (accesorio-1%), y magnetita, hematita, y óxido de hierro indeterminado como accesorios.			
	esquistos y filitas	cuarzo (0-55%), muscovita (0-25%), clorita (0-99%), plagioclasa (0-60%), epidoto (0-30%), clinozoisita (0-15%), grafito (accesorio-5%), óxido de hierro indeterminado (accesorio-1%), hematita y actinolita como accesorios	Formación Taguarumo	calizas (32%), lutitas (25%) y areniscas finas a limolitas (27%);	
	cuarcitas	cuarzo (60-99%), muscovita (0-10%), clorita (0-20%), calcita (0-20%), epidoto (0-5%), óxido de hierro indeterminado (accesorio-5%), y magnetita, turmalina y grafito como accesorios			
	esquistos epidóticos calcáreos	cuarzo (0-45%), epidoto (0-65%), clinozoisita (0-20%), calcita (0-15%), clorita (0-55%), plagioclasa (probablemente albita; 0-45%), tremolita-actinolita (0-25%), esfena (0-5%), óxido de hierro indeterminado y pirita como accesorios	Formación Valle Grande	lutitas	
Formación Tunapui	filitas	cuarzo (45-90%), clorita (0-45%), muscovita (en gran parte sericita) (0-40%), calcita (0-30%), plagioclasa (probablemente albita; accesorio-20%), limonita (0-5%) y óxido de hierro indeterminado, hematita, turmalina, y esfena como accesorios.			
	esquistos cuarzo-micáceos				

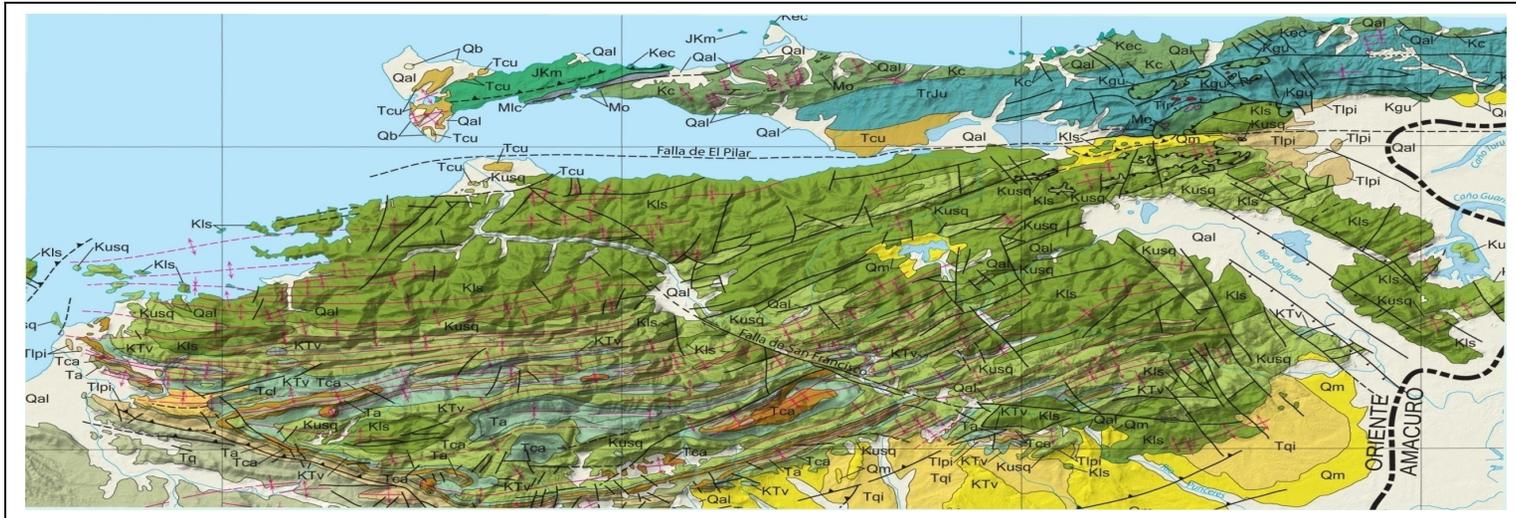
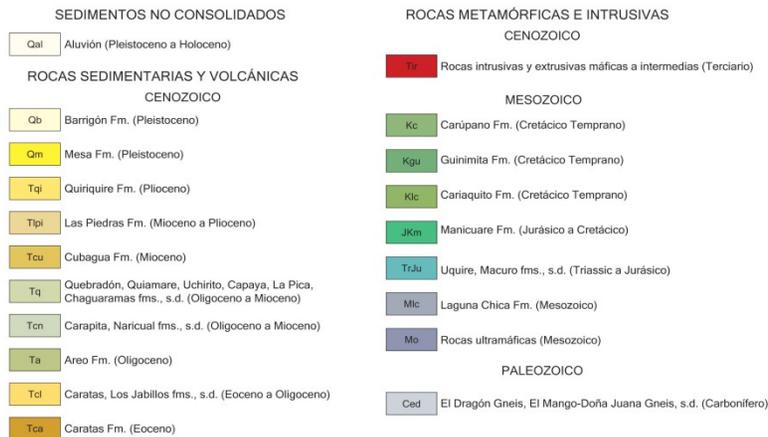


Figura 16. Mapa geológico de Venezuela (ZONA NORORIENTAL)



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo digital batimétrico del golfo de Cariaco.

Para elaborar el modelo batimétrico del golfo de Cariaco, se digitalizaron dos mapas publicados (MALONEY, 1966; CARABALLO, 1982a), con los software Global Mapper v13 y Surfer v10.00. El primero georeferencia las imágenes luego de escanearlas, mientras que el Surfer v10.00 se digitalizaron cada uno de los puntos e isobatas de los mapas, generando una base de datos en formatos (X, Y, Z). Luego esta base de datos se integró con los datos recolectados en tres campañas oceanográficas de 2007 - 2010.

La base de datos final tiene 38.467 puntos, lo cual corresponde a 60 valores de latitud, longitud y profundidad por cada 1 km² de superficie del golfo. Los datos en esta tabla fueron analizados con estadística descriptiva como valores máximos y mínimos de elevación (Z), desviación estándar, varianza y curtosis (tabla 3) para identificar los atípicos. Quedando la base de datos con un total de 38.129 puntos.

Tabla 3. Valores arrojados de la estadística descriptiva (máximos y mínimos de elevación (Z), desviación estándar, varianza y curtosis).

Parámetro	Valor
Valor Máximo	-185
Valor Mínimo	-1
Media	-34,21
Desviación estándar	24,7539
Varianza	531,545
Curtosis	2,38

Para probar la normalidad de los datos, se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Tabla 4), arrojando un valor de 0, con lo cual se rechaza que los datos provienen de una distribución normal, de igual manera se generó el histograma y una curva de ajuste para la variable elevaciones (Z), resultando que la distribución de los datos no se ajusta a una

normal (Figura 17).

Tabla 4. Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

	<i>Normal</i>
DMAS	0,0728695
DMENOS	0,0761927
DN	0,0761927
Valor-P	0,0

Luego de realizar las dos pruebas, se puede señalar que los datos no siguen una distribución normal, como se observa en el histograma (Fig. 17) y en los valores arrojados por la estadística descriptiva. Sin embargo, esto no representa un impedimento para realizar el modelo batimétrico, con el uso de la interpolación por el método de Kriging, debido a que esta metodología no parte del supuesto de normalidad de la variable. Esto es una ventaja para el manejo de variables que no se distribuyen normalmente, ni en el espacio, ni en el tiempo (OLIVER Y WEBSTER, 1990; CARVAJAL *et al.*, 1999; ÁLVAREZ *et al.*, 2011).

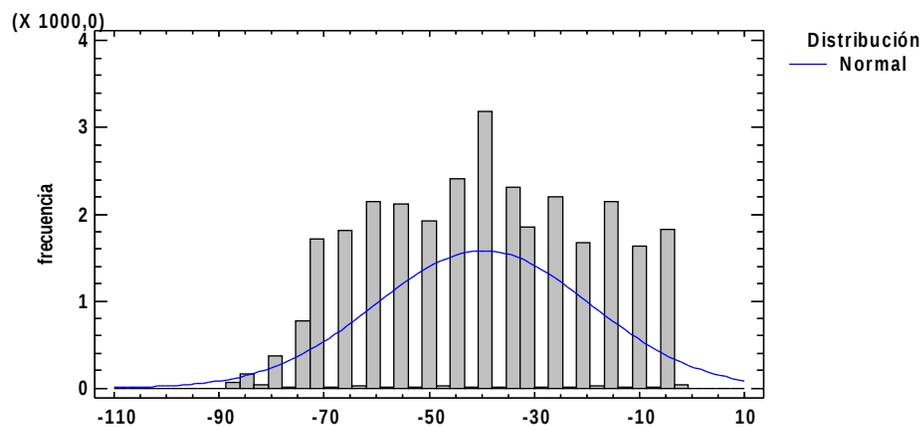


Figura 17. Histograma para la variable profundidad y la línea de distribución normal.

Para utilizar el método geostatístico de interpolación Kriging, es fundamental

elaborar un semivariograma para ajustar el modelo de la semivarianza a los datos recolectados, mediante funciones matemáticas específicas.

En el semivariograma (Figura 18), se observa que los datos van aumentando con la distancia, lo que indica que son continuos en el espacio, de esta manera se cumple el supuesto principal para elaborar un modelo con datos provenientes de una distribución espacial (GIRALDO, 2003). Además se observan valores altos de correlación espacial en una corta distancia (0,046 a 580 m).

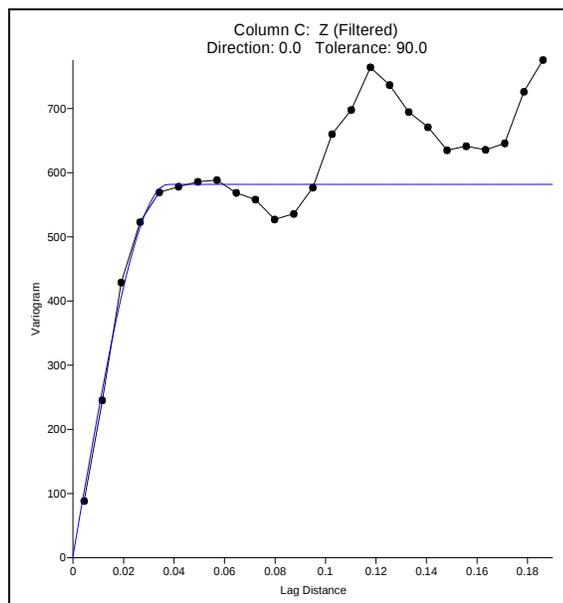


Figura 18. Semivariograma anidado de los datos de profundidad recolectados y el modelo de ajustado.

La selección del tipo de modelo de semivarianza se realizó por tanteo entre los modelos disponibles en el software (Surfer v10.00), ajustando la línea de tendencia (azul) de cada uno de los modelos probados con el semivariograma experimental construido a partir de los datos recolectados. Para lograr un mejor ajuste se sumaron dos modelos teóricos de semivarianza, y se obtuvo un semivariograma anidado. Lo anterior se sustenta en una propiedad de los semivariogramas la cual dice: “cualquier combinación lineal de semivariogramas con coeficientes positivos es un semivariograma” (GIRALDO, 2003). En el

semivariograma (Fig. 18), se muestra la línea de tendencia de los modelos de semivarianzas correlacionados: modelo esférico y “efecto pepita”, mientras que en la tabla 5 están los parámetros generados para el ajuste.

Tabla 5. Parámetros de los modelos de semivarianza ajustados a los datos recolectados.

Modelo Esférico	
Escala	580
Extensión	0.046
Anisotropía	2.3
Radio	
Anisotropía	160
Angulo	
Modelo “Efecto Pepita”	
Error	2
Micro varianza	0

El modelo teórico de semivarianza esférico tiene un crecimiento rápido cerca del origen, pero los incrementos marginales van decreciendo para distancias grandes. Cuando las distancias son superiores al rango los incrementos son nulos. El modelo esférico se agrupa entre las medias de tipo acotado, las cuales garantizan que la covarianza de los incrementos es finita, por ello son ampliamente usados (GIRALDO, 2003). Su expresión matemática es la siguiente:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left(\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) & h \leq a \\ C_0 + C_1 & h > a \end{cases}$$

En donde C_1 representa la meseta, a el rango y h la distancia.

En el caso de la elevación, la condición de varianzas diferentes se cumple, dado que el efecto pepita representa solamente un 2 % (Tabla 5) de la semivarianza y tanto el rango como la cima están bien definidos. Este hecho, junto a la comprobación de la diferencia de constancia (continuidad espacial), permite indicar que se respetan las condiciones básicas, y por lo tanto es posible realizar una interpolación con este atributo (KITANIDIS, 1997).

Luego de generar el modelo digital batimétrico del golfo de Cariaco por el método geoestadístico de interpolación Kriging, se realizó la prueba de validación cruzada para verificar el ajuste entre los valores de profundidad recolectados y los estimados por el modelo. Esto consiste en realizar un gráfico de regresión y la correlación (Figura 19), con el 30 % del total de los valores de la base de datos, obteniéndose una correlación del 98,69 % ($R^2 = 0,9869$). Al mismo tiempo se realizó un grafico de distribución de los valores residuales, observando que el 5 % del total de los datos no cumplen con la condición de una diferencia entre datos estimados y recolectados <15 % (Figura 20).

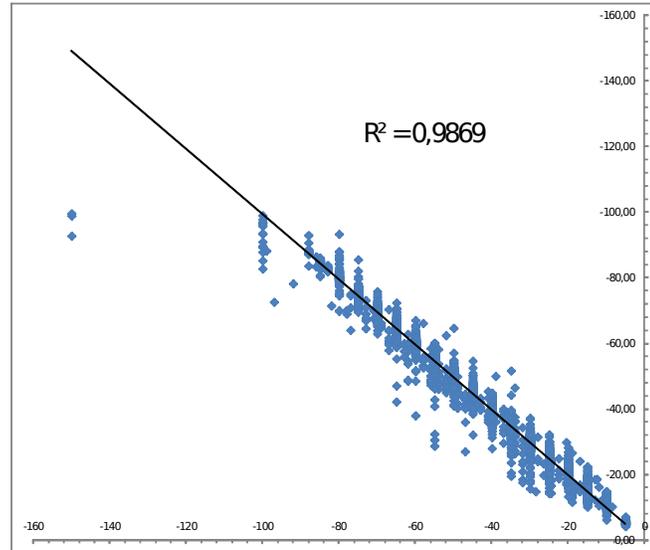


Figura 19. Grafico de dispersión, valores de elevación recolectados Vs. estimados por el modelo Kriging.

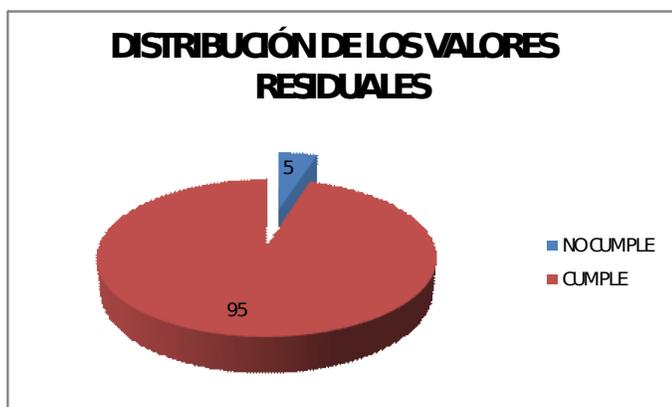


Figura 20. Grafico de distribución de los valores residuales superiores e inferiores al 15 % de error.

El modelo digital batimétrico del golfo de Cariaco (figura 21) permitió observar los diferentes rasgos del fondo, como deltas, depresiones, cañones submarinos, zonas escarpadas. Varios de estos rasgos geomorfológicos son indicativos de una zona de límite continental (CARABALLO, 1982a). La topografía submarina del golfo de Cariaco está controlada por el sistema de fallas de Cariaco al norte y El Pilar al sur (CARABALLO, 1982a; PÉREZ *et al.*, 2001; AUDEMARD, 2007). Los movimientos tectónicos a lo largo de estas fallas generan zonas escarpadas con pendientes muy pronunciadas en la región central cercana a la costa. Las mayores pendientes se encuentran frente a Guaracayal (aproximadamente 9 %), al sur y frente a Cerro Abajo (aprox.7,5 %), al norte. Estas pendientes pronunciadas cercanas a la costa son el inicio de las depresiones de Guaracayal y Cerro Abajo, con profundidades máximas de 93 m y 71 m respectivamente.

Del análisis estadístico descriptivo de la variable elevación (Z), se desprende que el golfo presenta una profundidad media de -30,28 m, y la mediana -21,29 m. Los valores alejados de la media y mediana, junto con un error estándar de 45 %, sugiere que los valores de profundidad no se distribuyen de forma proporcional a lo largo de la superficie del golfo. También tenemos que el 25 % de la superficie del golfo se encuentra por debajo de los 52 m, lo que representa 15 km² aproximadamente de la superficie total del golfo, mientras que el 15 % se encuentra por encima de los 5 m (aprox.10 km²).

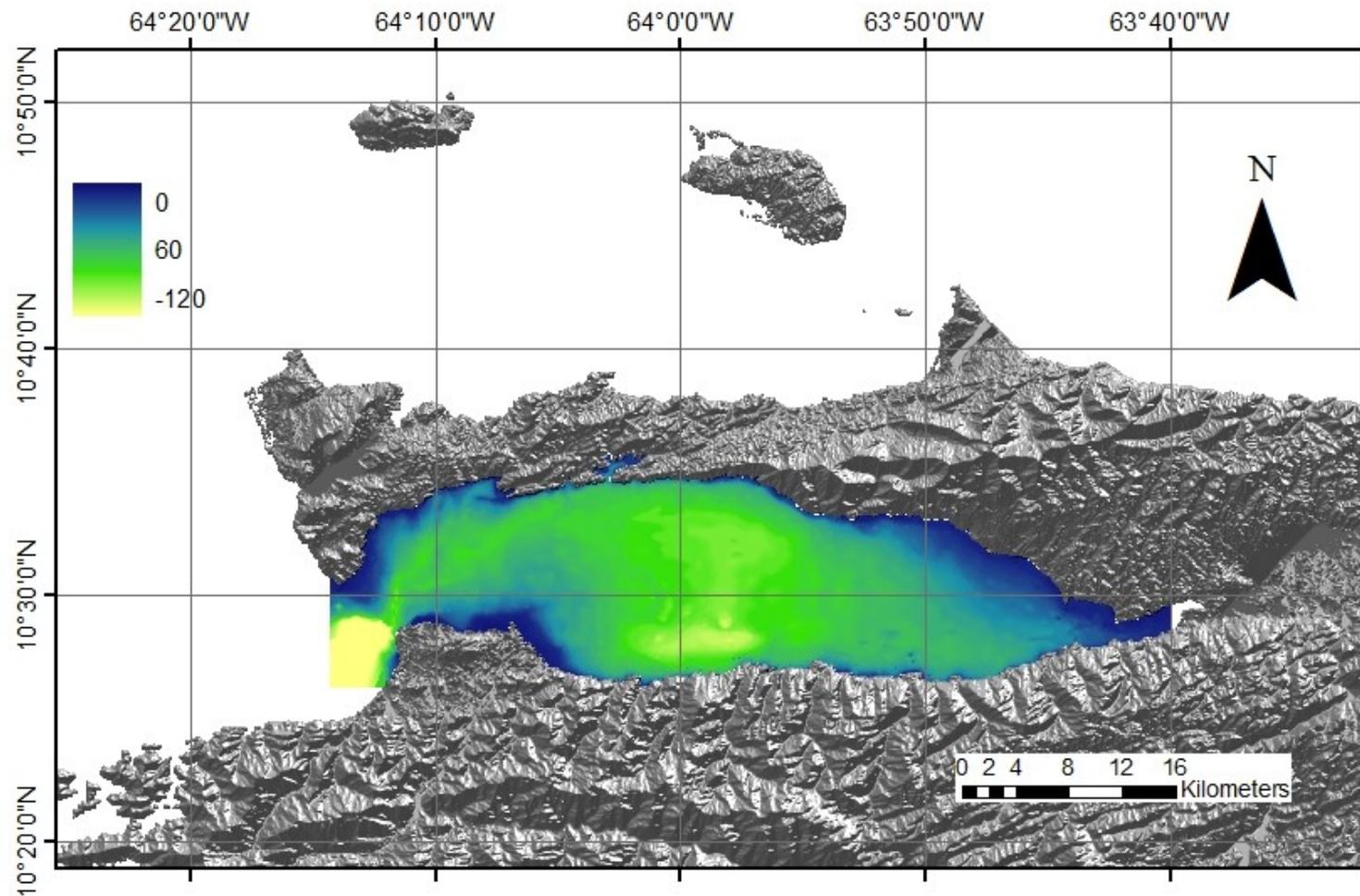


Figura 21. Modelo digital batimétrico del golfo de Cariaco.

Cuencas hidrográficas adyacentes al golfo de Cariaco.

La determinación de la línea de contorno o de divorcio de la cuenca es un tema de mucha discusión, la definición de dicha línea no es clara ni única, pues pueden existir dos líneas de divorcio: una para las aguas superficiales que sería la topográfica y otra para las aguas subsuperficiales, línea que sería determinada en función de los perfiles de la estructura geológica, fundamentalmente por los pisos impermeables. Para los fines de este estudio la línea de contorno o delimitación de las cuencas considera las aguas superficiales.

Existen varias propuestas para la definición de una cuenca según el tamaño. En primer lugar tenemos a la Unión Geofísica Americana que define como cuenca pequeña aquella donde la sensibilidad a las lluvias de alta intensidad y corta duración y el uso de la tierra no es suprimida por las características de almacenamiento en el valle. En las cuencas grandes, el efecto del flujo en el cauce o el efecto del almacenamiento en el valle es mucho más pronunciado, y así tal sensibilidad es suprimida. Esta definición no condiciona la clasificación de las cuencas a la extensión.

Según CAMPOS (1987), el tamaño de una cuenca determina en gran medida su comportamiento hidrológico. En cuencas pequeñas con un área entre 25 y 250 km², la cantidad y distribución del agua de escorrentía está influenciada básicamente por las propiedades físicas del suelo y cobertura vegetal; mientras que en las cuencas grandes (> 250 km²), el efecto del almacenamiento en el cauce principal es más importante, cuando las cuencas son menores que 25 km² son consideradas microcuencas.

En el golfo de Cariaco, desembocan 79 cursos de agua entre, ríos, arroyos, riachuelos y quebradas (MÁRQUEZ *et al.*, 2005; QUINTERO *et al.*, 2006). En este estudio se delimitaron 74 cuencas según su área de superficie para la zona adyacente al golfo de Cariaco, 66 de ellas son consideradas microcuencas (< 25 km²), 6 cuencas pequeñas: Tunantal, Guaracayal, Taracacoa, Mariguitar, Guirintal y “arroyos de Guacarapo”, y 2 cuencas grandes (Carinicua y Manzanares) (tabla 6). La mayoría de los ríos de la zona norte son intermitentes, y los ríos localizados dentro del área centro occidental tiene longitudes axiales menores de 2 Km, coincidiendo con lo señalado por CARABALLO (1982a); mientras

que hacia la zona oriental, los arroyos y quebradas tiene mayor longitud, incluso 14,38 km para los “arroyos de Guacarapo”. En la zona sur, se localizan 7 ríos principales con longitudes axiales hasta 75,88 km. El río con mayor longitud es el río Manzanares, seguida por el río Carinicua y Tarabacoa con una longitud axial aproximada de 16 km.

El río Manzanares nace en el macizo montañoso oriental, conocido como Serranía del Turimiquire, a una altura máxima sobre el nivel del mar de 2.200 m. La longitud total de su cauce es de 81km, la profundidad media de 4m, la pendiente mínima de 15% y una descarga que se estima en $600 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ (SENIOR *et al.*, 2003). El área de la cuenca estimada en este estudio para el río Manzanares es de 1162 km^2 , la cual se aproxima a la reportado por RAMÍREZ Y ANDARA (1993), quienes señalaron un área de 1105 km^2 , mientras SENIOR Y MARTINEZ (2002) propusieron una superficie de $1652,1 \text{ km}^2$.

En el mes de septiembre de 1971, para evitar las inundaciones que se generaban en la ciudad de Cumaná, se construyó un canal en el sector Puerto la Madera – Cantarrana, en una zona conocida como Río Catuaro. Este canal desemboca en El Peñón, al oeste del golfo de Cariaco (FERNÁNDEZ, 1984) y permite el ingreso directo de material al golfo proveniente de la cuenca del río Manzanares.

El orden de las corrientes es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca. El orden de la corriente principal determina el orden de la cuenca que será un indicador de la magnitud de la extensión de la red de drenaje dentro de la cuenca. El método utilizado fue el propuesto por SHREVE (1967) que identifica la red de drenaje y establece órdenes de corrientes de forma aditiva.

Para el área de estudio se encontraron 5 órdenes de corrientes (figura 22), siendo los de mayor magnitud los cauces de los ríos Manzanares al oeste y Carinicua al este, con un orden de 5 (amarillo) en sus cauces principales. En la zona sur del golfo, los de mayor orden son los cauces principales de los ríos Tunantal, Guaracayal, Taracacoa y Cachamaure con un orden de 3 (verde). Los otros cauces se encuentran en el orden entre 1(marrón) y 2 (azul), mientras que en la zona norte los “arroyos de Guacarapo” es la cuenca con mayor magnitud (orden 3), las otras cuencas o cauces principales tienen órdenes entre 1 y 2.

Muchos de los ríos de la costa norte son considerados intermitentes (CARABALLO, 1982a).

Tabla 6. Cuencas hidrográficas adyacentes al golfo de Cariaco y sus principales parámetros hidrológicos.

CUENCAS HIDROLÓGICAS	ÁREA (km²)	PERÍMETRO (Km)	LONGITUD AXIAL (Km)	FORMA	COEFICIENTE DE COMPACIDAD
Río Carinicua	1187	256,76	-----	-----	2,10
Río Manzanares	1162	238,36	75,88	0,20	1,97
Río Tarabacoa	63	44,96	15,51	0,26	1,60
Río Guaracayal	51	37,39	12,02	0,35	1,48
Río Mariguitar	40	33,03	13,85	0,21	1,47
Río Tunantal	39	34,44	11,68	0,29	1,56
"Arroyos de Guacarapo"	28	35	14,38	0,14	1,87
Río Guirintal	27	25,94	9,83	0,28	1,41

La zona costera adyacente al golfo es litológicamente diferente, en el sur encontramos formaciones de origen sedimentario (GUILLAUME *et al.*, 1972), mientras que el norte se caracteriza por contener rocas metamórficas (VIGNALI, 1965; BERMÚDEZ, 1966; SCHUBERT, 1972).

Se calcularon los perímetros y la longitud axial para cada cuenca principal del área de estudio, y se determinó el coeficiente de forma y compacidad, según Horton y Gravelius, respectivamente. La cuenca con la forma que más se aproxima a una circular es la del río Guaracayal con 0.35, mientras que presentan formas alargadas las cuencas de los ríos Manzanares (0,20) y "arroyos de Guacarapo" (0,14). Esta relación de forma establece el comportamiento de la cuenca durante una precipitación, el escurrimiento resultante en una forma alargada, no se concentra tan rápidamente, como en una cuenca de forma redonda; además, una cuenca con un factor de forma bajo (forma alargada) es menos propensa a tener una lluvia intensa simultáneamente sobre toda su superficie, que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor. Los factores geológicos principalmente, son los encargados de moldear la fisiografía de una región y, particularmente la forma que tienen las cuencas hidrográficas.

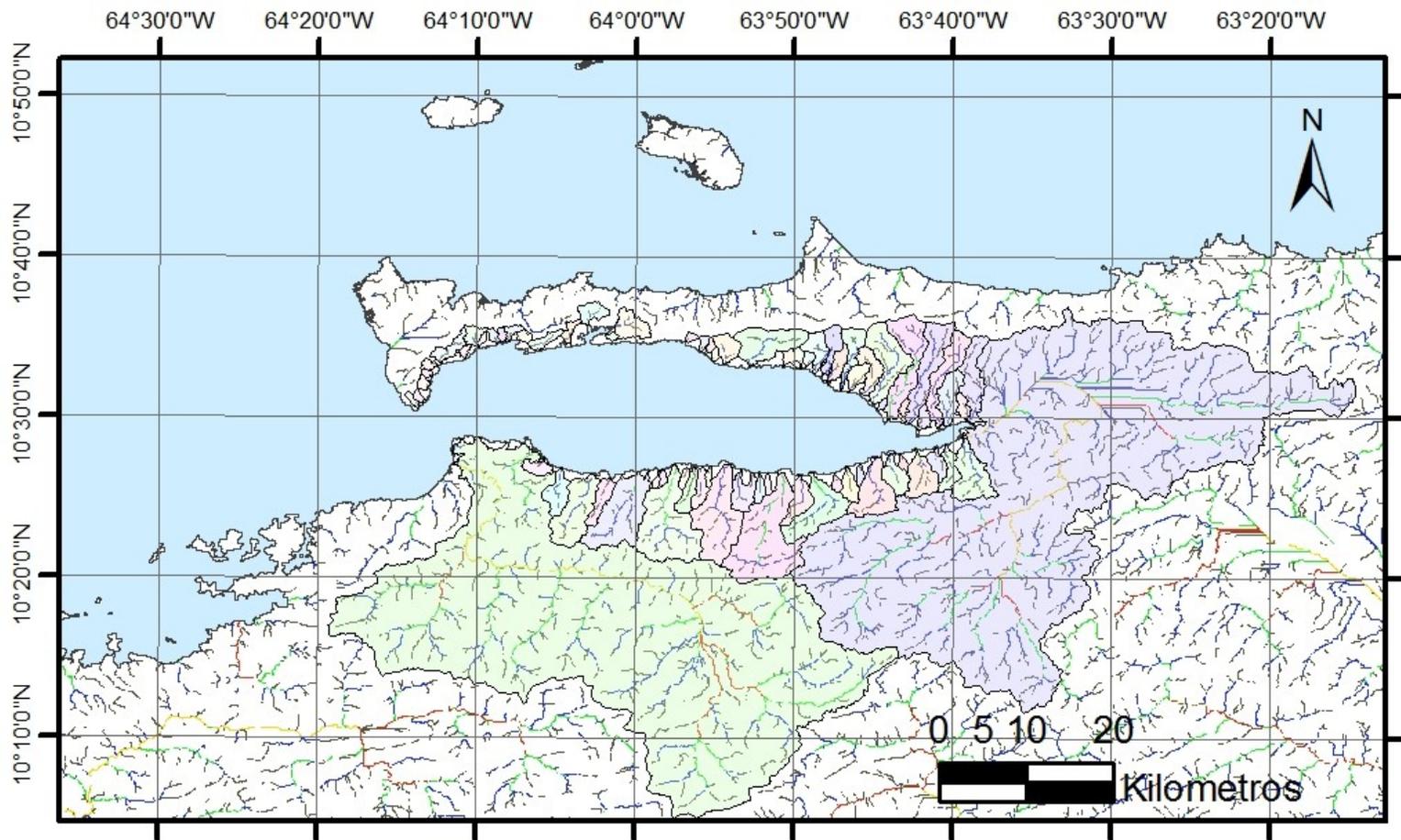


Figura 22. Red de corrientes de drenaje en las cuencas según órdenes propuestos por SHREVE (1967).

Para una misma superficie, con características físicas y bióticas similares, y para una precipitación, el hidrograma en la salida de una cuenca amplia y bien ramificada, o sea semejante a un círculo, será muy diferente al de una cuenca estrecha y alargada, presentando la cuenca circular un cierto riesgo de avenida e inundación en el cauce principal. Todos los puntos de la cuenca son equidistantes del canal principal. Esta situación implica que las gotas de agua caídas, en todos los puntos de la cuenca, tendrán oportunidad de alcanzar el cauce principal al mismo tiempo (similar tiempo de concentración).

Otra es la situación en cuencas de forma alargada, donde los tiempos de concentración son bien diferentes para casi todos los puntos de la cuenca, por lo que las aguas fluirán gradualmente hacia el cauce principal. De esta manera, el cauce principal tendrá mayor oportunidad de descargar parte de su volumen, antes de recibir las aguas precipitadas en los puntos más distantes y, por lo tanto, las variaciones del caudal serán menos amplias y rápidas, disminuyéndose el riesgo de desbordamiento e inundación en las zonas de deposición de la cuenca hidrográfica.

El coeficiente de compacidad, permitió describir 3 cuencas (Mariguitar, Guirintal y Guaracayal) entre ovals redondas y ovals alargadas. Dichas cuencas presentan peligro torrencial, pero menor que en las cuencas redondas o compactas. Sin embargo, las cuencas de los ríos Tarabacoa y Tunantal resultaron entre ovals alargadas y rectangulares alargadas, y el resto de las cuencas presentan valores mayores a 1,75, lo cual indica que presentan menos peligros de torrencialidad.

Para el cálculo de la forma de una cuenca se determina la longitud axial, la cual se mide siguiendo el desarrollo longitudinal del cauce principal, hasta llegar a la divisoria de la cuenca en el punto más alejado. El cauce principal del río Carinicua se extiende en sentido suroeste, y su cuenca total incluye las lagunas de Campoma y Bella Vista en la zona norte, lo cual afecta la estimación de la longitud y coeficiente de forma.

La información obtenida en este estudio debe ser afinada con otras técnicas o procedimientos de mayor resolución, particularmente en las zonas bajas donde la diferencia

en centímetros de una zona a otra significa la posibilidad de estar inundado o permanecer seco en época de lluvia. Esto conlleva otra dificultad al separar las microcuencas porque en la parte más baja de éstas el efecto de las crecidas, unifica las corrientes haciendo difícil el marcar un límite físico.

Evaluación sedimentológica.

Análisis textural

Para la separación de las partículas de sedimento en fracciones, se utilizó todo el material colectado. El análisis se realizó a 76 muestras, 70 son sedimento marinos de profundidades mayores de 1 m, y 6 profundidades de 1m, todas captadas en la zona sur del golfo.

En una primera aproximación en el análisis de la textura de las partículas de sedimento colectadas en el golfo, se realizó una distribución espacial “simple”, la cual expone los datos del análisis divididos en dos componentes macros (figura 23), como son la fracción gruesa (gravas y arenas) y la fracción fina (limo y arcilla). En esta distribución espacial se observan los sedimentos de partículas gruesas (-1 y 4ϕ), que representan cerca del 40 % de la superficie del golfo. La mayor extensión de este tipo de sedimento se encuentra en la región occidental y hasta una latitud de $-64,05$ al este, luego se extiende un área en la zona norte - central, y un tercer parche hacia el este, en la costa norte y sur, y que se conecta en el centro, cercana a El Saco entre los $-63,80$ y $-63,75$ grados de latitud.

La fracción fina o lodo ($4 - 9 \phi$) cubre aproximadamente el 60 % el fondo marino, con una distribución homogénea en el centro y en la zona de El Saco al este; también se aprecia un parche o área importante cerca de la ciudad de Cumaná, que inicia en sentido norte – sur, y finaliza este – oeste.

Del análisis textural se desprende la tabla 7, en esta se presentan los resultados de la interpretación de los parámetros texturales del golfo de Cariaco, y las coordenadas de cada

uno de los puntos de muestreo. En la misma se pueden observar el % de estaciones con texturas granulométricas particulares en función del total de estaciones.

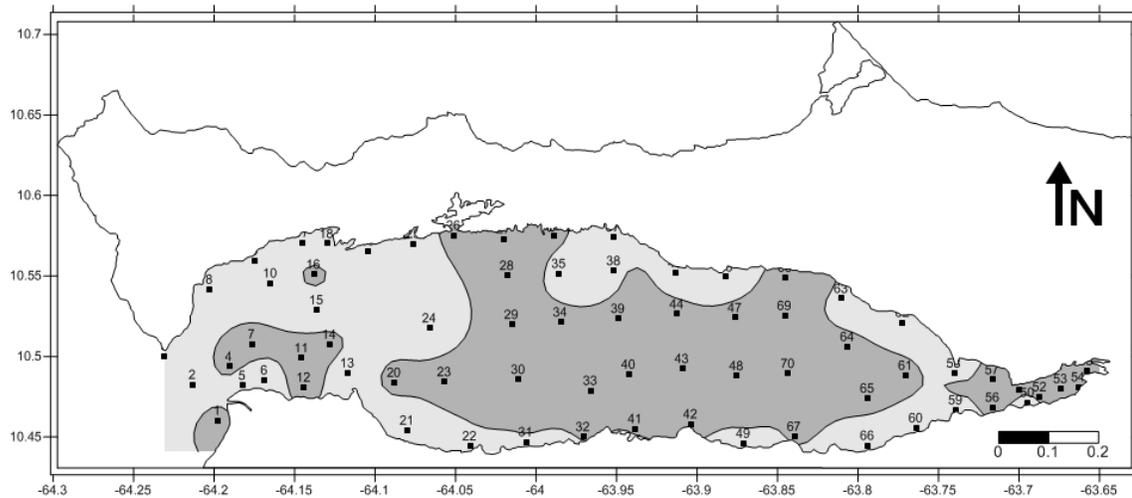


Figura 23. Distribución espacial de las fracciones gruesa (gris claro) y fina o lodo (gris oscuro) de los sedimentos colectados en el golfo de Cariaco.

La distribución de las texturas de los sedimentos recolectados es heterogénea, obteniéndose 10 texturas del total de combinaciones posibles (Tabla 8). Se observa un mayor predominio de la fracción lodo (limo y arcilla). Las gravas estuvieron presentes en 6 estaciones (46, 50, 58, 62, 15, 38), representando un 8,58 % del total de puntos de muestreos. Las estaciones con alta cantidad de gravas se observan en el diagrama de Shepard (figura 24). Aquellas elevadas sobre la línea base del triángulo (G-A-L) coincidiendo con lo reportado por *QUINTERO et al.* (2006) y *CARABALLO* (1982b), quienes incluyen ésta fracción en todos los cálculos e interpretaciones de las arenas, por las pocas cantidades de material encontrado.

Tabla 7. Interpretación de la textura de los sedimentos del golfo de Cariaco.

ZONA	EST	LATITUD	LONGITUD	GRAVAS	ARENAS	LODO GRUESO - MEDIO	LODO FINO	CLASIFICACIÓN
1	1	-64,1978	10,4603	0,29	13,77	24,74	61,20	Lodo arenoso
1	2	-64,2132	10,4825	0,07	85,59	5,98	8,37	Arena
1	3	-64,2307	10,5004	9,39	90,08	0,53	0,00	Arena
1	4	-64,1907	10,4938	0,00	47,39	33,42	19,19	Arena lodosa
1	5	-64,1824	10,4819	0,25	93,62	0,78	5,36	Arena
1	6	-64,1687	10,4854	0,31	98,42	0,05	1,22	Arena
1	7	-64,1764	10,5078	3,45	43,96	5,14	47,46	Arena lodosa
1	8	-64,2028	10,5417	7,28	92,66	0,06	0,00	Arena
1	9	-64,1746	10,5596	2,20	96,97	0,03	0,79	Arena
1	10	-64,1650	10,5456	12,42	80,51	7,07	0,00	Arena
1	11	-64,1455	10,4991	0,02	1,44	27,83	70,71	Lodo arenoso
1	12	-64,1441	10,4809	0,00	47,09	5,10	47,81	Arena lodosa
1	13	-64,1170	10,4899	1,70	97,97	0,13	0,21	Arena
1	14	-64,1282	10,5074	0,02	26,48	22,07	51,42	Lodo arenoso
1	15	-64,1362	10,5289	54,77	40,62	0,63	3,98	Grava arenosa
1	16	-64,1380	10,5509	1,36	29,17	0,59	68,88	Lodo arenoso
1	17	-64,1450	10,5708	2,51	70,38	8,04	19,07	Arena lodosa
1	18	-64,1299	10,5701	0,03	50,38	22,84	26,76	Arena lodosa
1	19	-64,1042	10,5656	0,29	98,87	0,07	0,77	Arena
1	20	-64,0880	10,4838	0,00	15,83	19,52	64,65	Lodo arenoso
1	21	-64,0799	10,4541	0,03	95,26	0,56	4,15	Arena
1	22	-64,0410	10,4444	0,12	60,07	5,19	34,62	Arena lodosa
1	23	-64,0568	10,4843	0,01	34,32	15,96	49,71	Arena lodosa
1	24	-64,0661	10,5176	1,18	83,50	1,67	13,64	Arena
1	25	-64,0760	10,5700	3,79	76,26	2,18	17,77	Arena
1	26	-64,0510	10,5752	2,62	45,69	0,05	51,64	Lodo arenoso
2	27	-64,0200	10,5729	0,30	5,18	3,26	91,26	Lodo
2	28	-64,0179	10,5502	0,47	0,99	36,43	62,10	Lodo
2	29	-64,0151	10,5199	3,15	4,43	0,45	91,97	Lodo
2	30	-64,0109	10,4857	0,41	1,37	0,22	98,00	Lodo
2	31	-64,0062	10,4469	0,21	89,12	2,00	8,67	Arena
2	32	-63,9707	10,4501	0,09	4,08	17,77	78,07	Lodo
2	33	-63,9661	10,4788	0,82	0,39	2,79	96,00	Lodo
2	34	-63,9847	10,5213	0,13	0,36	8,78	90,73	Lodo
2	35	-63,9857	10,5515	0,13	0,72	0,68	98,48	Lodo
2	36	-63,9891	10,5748	0,32	3,16	1,33	95,18	Lodo
2	37	-63,9519	10,5742	5,70	87,55	0,54	6,21	Arena
2	38	-63,9516	10,5532	11,68	48,18	40,15	0,00	Arena limosa gravosa

Tabla 8. Resumen clasificación del sedimento por estaciones.

Clasificación	Nº	%	Estación
Lodo	26	37,14	27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 39, 40, 43, 44, 47, 48, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 61, 65, 68, 69, 70
Arena	16	22,86	2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 19, 21, 24, 25, 31, 37, 49, 59
Lodo arenoso	10	14,29	1, 11, 14, 16, 20, 26, 41, 55, 64, 67
Arena lodosa	9	12,86	4, 7, 12, 17, 18, 22, 23, 63, 66
Arena gravosa	3	2,86	46, 50, 58
Arena limosa	2	4,29	45, 60
Arena-gravo-limosa	1	1,43	38
Grava arenosa	1	1,43	62
Limo arenoso	1	1,43	15
Arena imo gravosa	1	1,43	42

Figura 24. Diagrama de Shepard Grava-Arena-Lodo.

La fracción arena en sus diferentes divisiones (muy gruesa, gruesa, media, fina y muy fina) representó el 39,85 % del total de las fracciones encontradas, siendo la facies “limpia” la mas abundante (22,86 %). Las fracciones arena gruesa, media y fina (figura 25) se distribuyen de manera uniforme, con valores cercanos al 20 % de las muestras colectadas. Se destacan la fracción arena muy fina que tiene más abundancia (29,69 %) y la más escasa con 10,99 % la fracción muy gruesa.

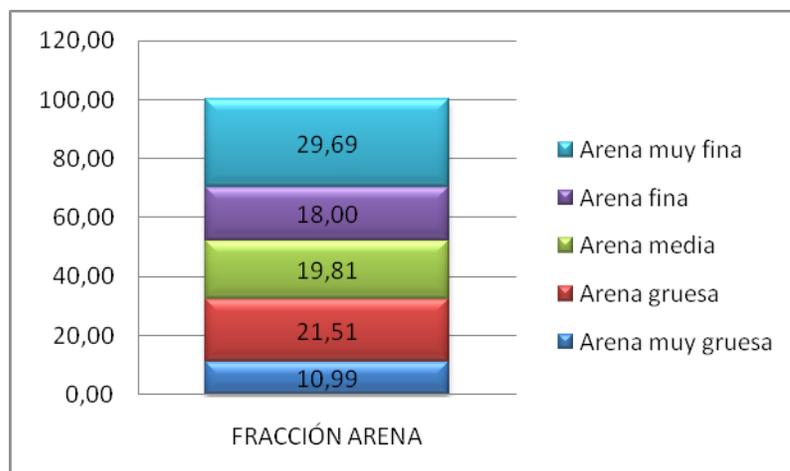


Figura 25. Distribución de las fracciones arena, en las muestras colectadas en el golfo.

En general las arenas en el fondo del golfo de Cariaco se encontraron en la zona occidental (figura 26), y cercana a la costa sur, similar a lo reportado por CARABALLO (1982b). El porcentaje de la fracción arena varió entre 0,36 y 99,87 para las estaciones 36 y 19, respectivamente, con una tendencia a disminuir hacia la zona central y El Saco al este. La distribución de la fracción arena determinadas en este estudio es menor a la reportada por MARVAL (2008) que señaló porcentajes de arena 34,46% y 98,92% para la zona occidental, mientras que ROMERO (2010) reportó valores desde 38,92 % a 98,49 % para la zona oriental. Las arenas cubren una superficie del 40 % del fondo del golfo. Esto es menor a lo encontrado por CARABALLO (1982b) para la misma clase textural.

La presencia de un porcentaje mayor a 50 % de la fracción arena en la costa sur, coincide con las estimaciones realizadas en los cálculos de las cuencas adyacentes al golfo,

siendo estos depósitos sedimentarios, llanuras aluviales y deltas de los principales ríos que desembocan en esta zona, esto coincide con lo reportado por CARABALLO (1982d) y QUINTERO *et al.* (2006). Al norte de la ciudad de Cumaná se presenta un área con alto porcentaje de lodo (80 %). Esta zona coincide con una depresión observada en el modelo batimétrico, que se extiende de forma alargada hacia el norte y finaliza próxima al cañón submarino del Manzanares.

En el mapa de distribución espacial de las arenas se observa una zona con un contenido de arena mayor al 40 % que se encuentra al este entre La Peña (sur), y Guacarapo (norte). Esta área se extiende en la costa norte hasta Punta Los Botones (oeste).

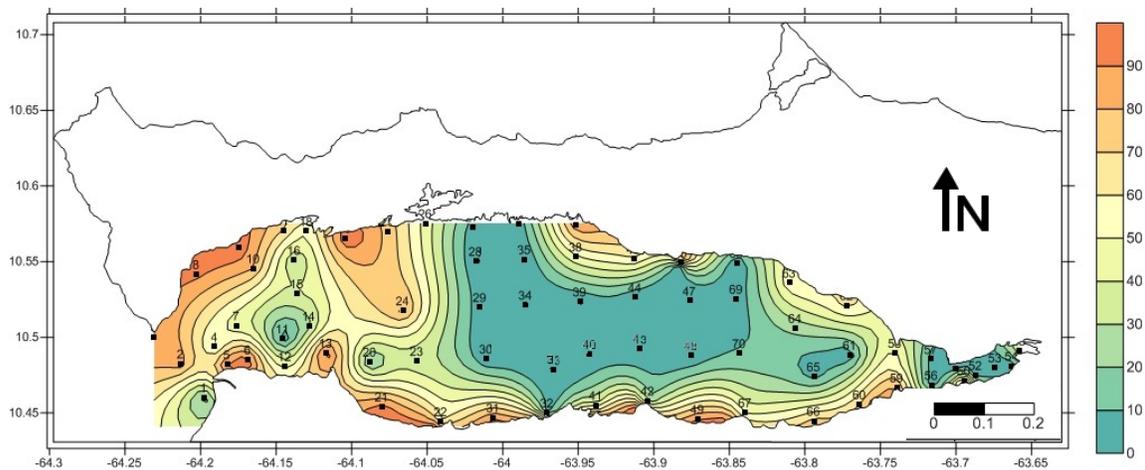


Figura 26. Distribución espacial de la fracción arena (%).

La distribución de la fracción de lodo grueso - medio (figura 27) muestra valores entre 0 y 70 %, siendo la de mayor porcentaje la estación 42 que se ubicó cerca de la población de Mariguitar. En general esta fracción se encuentra en cantidades bajas con excepción de pequeñas zonas distribuidas a lo largo del fondo. Este bajo porcentaje coincide con el porcentaje reportado por MARVAL (2008) para la zona occidental y ROMERO (2010) para la zona oriental.

La fracción lodo fino – arcilla con menor tamaño de grano (figura 28) se encontró distribuida en zonas bien definidas, principalmente en el centro del golfo y hacia la zona

norte al este de la ensenada Grande del Obispo, cerca de Los Cachicatos, frente al arroyo de Chacopata. Otra zona con un alto porcentaje de finos es El Saco al este con valores superiores a los 90%. La presencia del alto porcentaje de esta fracción podría estar relacionada con el aporte del río Carinicuao, y el descenso de la energía cinética en esta zona.

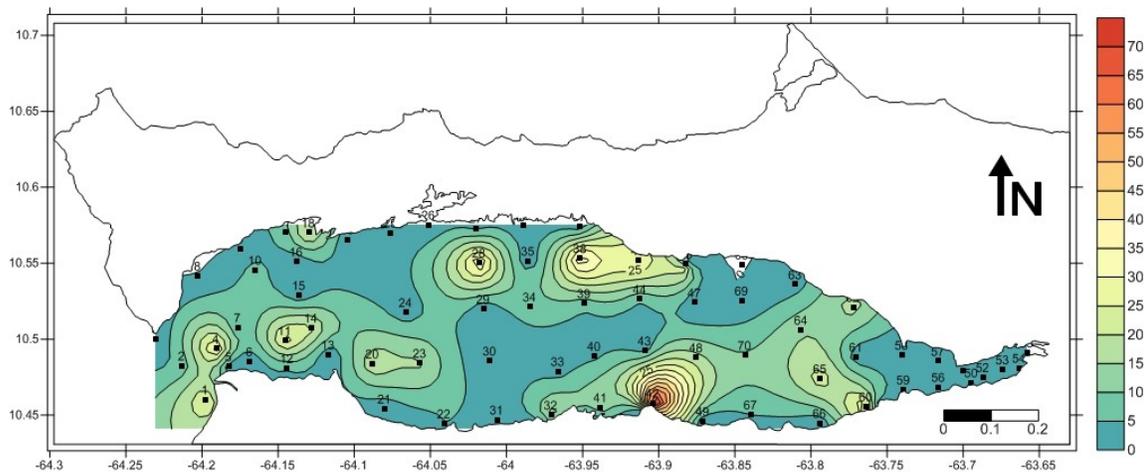


Figura 27. Distribución espacial de la fracción lodo grueso – medio (%).

En la distribución espacial de la fracción lodo fino – arcilla se observa que el mayor porcentaje de finos se encuentra en las principales depresiones existentes en el golfo, la depresión de Guaracayal y Cerro Abajo.

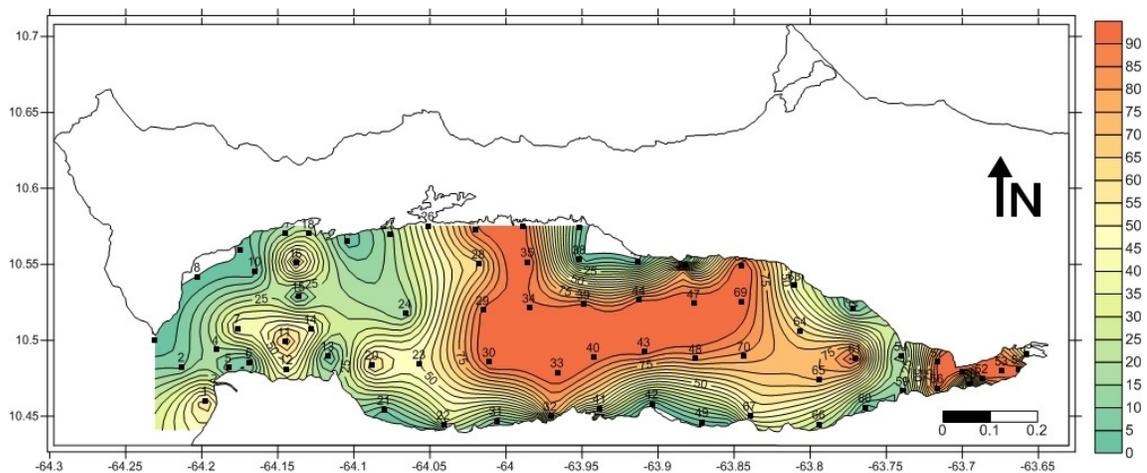


Figura 28. Distribución espacial de la fracción lodo fino – arcilla (%).

Análisis de los parámetros estadísticos

Los parámetros estadísticos derivados del tamaño de grano son: mediana (Md), tamaño medio de grano (Mz), selección o clasificación (ρ_1), asimetría (Sk1) y curtosis (Kg). Estos fueron determinados para cada una de las 76 muestras captadas. Las primeras 70 muestras son sedimentos recolectados a diferentes profundidades en el golfo, mientras que las restantes (71 - 76) fueron captadas en la costa sur a una profundidad de 1 m (tabla 8).

El tamaño medio de las partículas del sedimento refleja las condiciones hidrodinámicas (energéticas) que actuaron en su transporte y depositación (FOLK, 1980). Generalmente, las partículas más gruesas están asociadas a un mayor nivel de energía, en cambio, las finas se encuentran en sectores con menor hidrodinámica. De este modo, el reconocimiento de partículas más finas en las cabeceras indica que se trata de ambientes de energía relativamente baja. Por el contrario, en las desembocaduras, con tamaños medios mayores, tendrán una alta energía asociada.

En el golfo de Cariaco, las texturas son heterogéneas, con un tamaño medio de grano entre -0.5 a 8.5 ϕ . Se observa una disminución de la media (Mz) este parámetro hacia el centro del golfo y en El Saco (figura 29). En la zona sur puede observarse un patrón de distribución del sedimento en los deltas frente a las desembocaduras de los ríos Guirintal, Guaracayal y Tarabacoa hay una distribución de arena media cerca de la costa y que gradúa a arena fina con la profundidad (+/-15m), este patrón de distribución del sedimento puede relacionarse con el patrón propuesto por WRIGHT (1995), para este tipo de distribuciones como delta dominado por oleaje. También señala, que en este tipo de sistemas, el sedimento grueso es precipitado en la etapa inicial de depositación y que la fracción fina será transportada por suspensión y depositada generalmente atrás de la rompiente, este patrón puede variar dependiendo de las condiciones morfodinámicas del área (pendiente y corrientes litorales); así como de la relación entre la fuerza de descarga del arroyo y la energía del oleaje.

Tabla 9. Parámetros estadísticos (mediana, media, selección, asimetría y curtosis) para las muestras colectadas en el golfo de Cariaco.

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS						PARÁMETROS ESTADÍSTICOS						PARÁMETROS ESTADÍSTICOS					
EST	Mediana (Md)	TMG Media (Mz)	Selección (ρ1)	Asimetría (Sk1)	Curtosis (Kg)	EST	Mediana (Md)	TMG Media (Mz)	Selección (ρ1)	Asimetría (Sk1)	Curtosis (Kg)	EST	Mediana (Md)	TMG Media (Mz)	Selección (ρ1)	Asimetría (Sk1)	Curtosis (Kg)
1	7,39	6,73	1,89	-0,48	0,76	27	7,75	7,91	1,10	-0,09	1,85	52	7,95	7,95	1,09	-0,30	1,87
2	3,40	3,27	1,30	0,11	2,46	28	9,00	7,70	2,15	-0,72	0,50	53	7,95	7,95	1,54	-0,38	2,98
3	0,55	0,50	1,11	-0,02	1,23	29	7,95	7,98	1,50	-0,35	2,86	54	7,99	7,99	0,62	0,00	0,67
4	2,20	3,29	3,11	0,43	0,85	30	8,00	8,00	0,62	0,00	0,74	55	7,30	5,53	3,55	-0,68	0,78
5	1,75	1,75	1,60	0,28	2,08	31	2,90	2,86	1,63	0,16	2,14	56	7,99	7,99	0,63	-0,01	0,75
6	2,20	2,06	0,78	-0,32	0,99	32	7,95	7,61	1,24	-0,50	1,39	57	7,95	7,95	1,13	-0,31	1,97
7	6,00	5,17	3,12	-0,36	0,63	33	7,95	7,98	0,62	0,06	0,75	58	-0,60	-0,13	2,50	0,49	1,77
8	1,40	0,93	1,12	-0,53	1,07	34	7,90	7,90	0,78	-0,15	1,01	59	3,40	3,26	1,45	0,05	2,98
9	1,10	1,09	0,97	-0,01	1,03	35	8,00	8,00	0,62	0,00	0,74	60	3,50	3,59	1,86	0,10	0,78
10	0,98	1,01	1,91	0,14	1,62	36	7,95	7,98	0,62	0,06	0,75	61	5,99	5,99	0,63	0,01	0,73
11	7,60	7,35	1,24	-0,33	0,97	37	1,08	1,21	2,06	0,32	1,49	62	0,15	1,12	2,24	0,54	0,91
12	4,60	5,33	2,27	0,37	0,58	38	3,50	2,57	2,27	-0,57	0,77	63	3,85	5,08	2,16	0,68	0,65
13	0,95	1,11	0,96	0,28	0,89	39	7,95	7,98	0,73	-0,09	0,94	64	7,39	6,46	2,26	-0,55	0,67
14	7,10	6,33	2,29	-0,44	0,64	40	7,95	7,98	0,99	-0,25	1,58	65	7,60	6,83	1,85	-0,51	0,61
15	-1,30	-0,94	2,75	0,21	0,81	41	4,70	5,47	2,09	0,45	0,54	66	2,50	3,23	1,96	0,47	0,75
16	7,60	5,83	3,11	-0,74	0,59	42	4,59	4,65	1,26	0,01	1,67	67	6,35	6,00	2,14	-0,18	0,55
17	2,20	3,29	3,10	0,43	0,82	43	7,95	7,95	0,99	-0,26	1,60	68	8,00	8,00	0,63	0,01	0,76
18	4,00	4,87	2,33	0,41	0,74	44	7,95	7,95	1,02	-0,28	1,68	69	7,99	7,99	0,65	0,00	0,73
19	0,78	1,01	0,95	0,32	1,02	45	3,60	3,03	1,93	-0,56	2,59	70	7,60	6,85	1,79	-0,50	0,58
20	7,50	6,68	1,97	-0,53	0,61	46	0,39	0,33	1,18	-0,02	1,00	71	2,40	2,33	0,69	-0,05	1,36
21	1,60	2,06	1,16	0,44	0,80	47	7,99	7,99	0,62	0,01	0,73	72	2,09	2,16	0,98	0,09	0,94
22	3,80	5,00	2,32	0,56	0,66	48	7,80	7,73	0,81	-0,10	0,81	73	2,50	2,26	1,45	-0,31	0,84
23	6,80	5,96	2,53	-0,45	0,65	49	0,39	0,63	1,37	0,30	1,04	74	2,55	2,55	0,90	-0,02	0,96
25	1,90	3,20	3,31	0,51	1,41	50	-0,10	-0,03	1,76	0,41	2,28	75	0,69	1,23	2,12	0,49	2,29
26	9,00	6,17	4,06	-0,85	0,48	51	7,99	7,99	0,63	-0,01	0,75	76	2,09	2,16	0,98	0,09	0,94

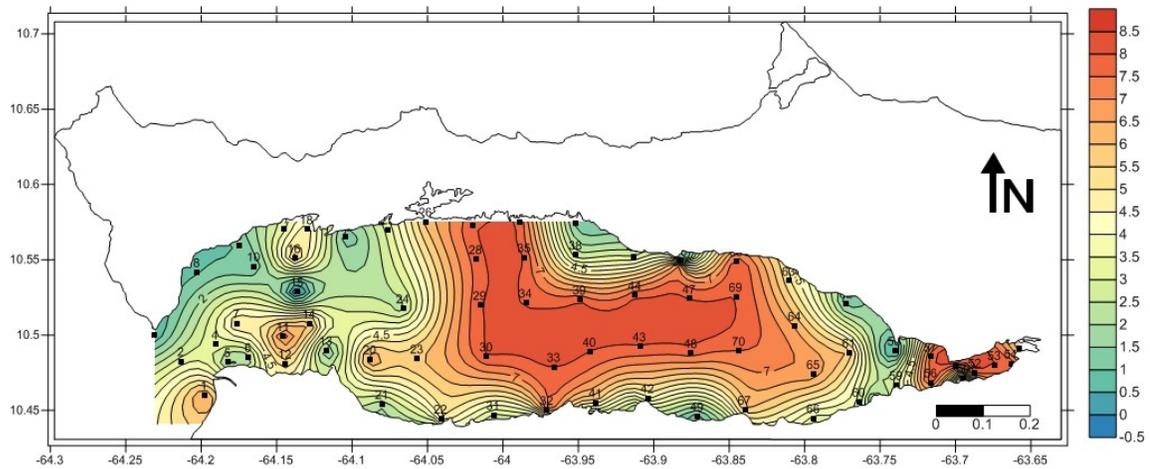


Figura 29. Distribución espacial del tamaño medio de grano M_z (ρ).

En Punta Guacarapo, se observa una zona con tamaños medio de grano cerca de 0ϕ , indicando que existe una alta energía cinética. Se estima que sea consecuencia de las corrientes en el estrato subsuperficial reportada por QUINTERO *et al.* (2009) con una velocidad de 13,0 cm/seg en dirección NNW, que según los pescadores de la zona ha provocado muertes de personas por inmersión.

El parámetro estadístico selección del grano, se presenta con un amplio rango de clasificación desde 0,62 a 4,06 (tabla 8). En términos generales, la selección de los sedimentos evidencia la intensidad de las corrientes que operaron sobre el depósito, es decir, una buena selección se logra cuando actúa una corriente (con alta o baja energía) de intensidad relativamente constante. Se observan malas selecciones cuando actúan procesos dinámicos con amplia fluctuación (FOLK, 1980). De este modo, la distribución del parámetro de selección en el sistema oceanográfico golfo de Cariaco (figura 30) indica que la región central está sometida a las corrientes con intensidad intermedia a baja o de menor fluctuación energética, puesto que se presenta la mejor selección. Asimismo, es posible reconocer que la zona occidental en general, tiende a presentarse como una unidad sometida a una mayor variabilidad de sus procesos dinámicos. Con mayor énfasis en el cañón submarino del Manzanares. Esta variabilidad podría estar relacionada con las corrientes que penetran desde la cuenca de Cariaco, con velocidad de 13 cm/seg

(QUINTERO et al., 2009)

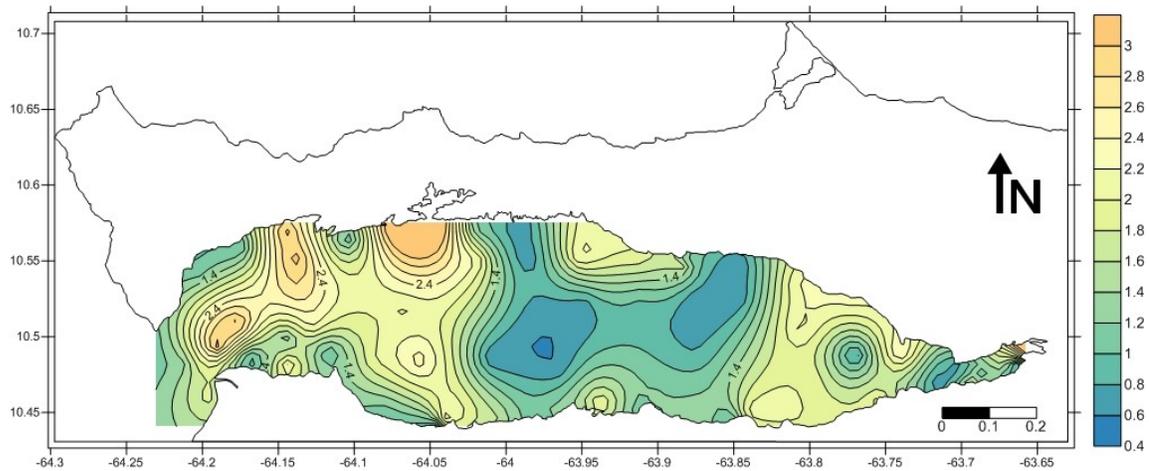


Figura 30. Distribución espacial de la selección del tamaño de granos (ρ).

La mayor proporción del sedimento se encuentra entre mal clasificado a muy mal clasificado. Para la zona oriental, se observan corrientes cercanas al fondo de alta variabilidad con valores de selección de 2 (mal clasificado a muy mal clasificado), sin incluir El Saco que se puede interpretar con una zona de baja variabilidad energética.

El parámetro de selección, puede ser útil en la verificación del método usado en la separación textural, puesto que la formación de agregados o flóculos que se puedan producir durante el análisis en el laboratorio, proporcionan distribuciones granulométricas “muy bien clasificadas”. Esto no fue observado en las muestras analizadas con la metodología propuesta para este estudio.

La asimetría indica la importancia de las “colas” de la distribución granulométrica, mostrando los excesos de partículas en los extremos de la curva. El significado dinámico para el área de estudio, donde predominan valores negativos, se podría atribuir a la existencia de corrientes que han operado durante un período con una mayor energía a la normal, provocando el aporte de partículas más gruesas (SAHU, 1964). MARTINS (1965) presenta una explicación similar, pero añade que la simetría negativa puede también deberse a la adición de materiales gruesos, citando como ejemplo los fragmentos de

concha. Del mismo modo, DUANE (1964) relaciona las tendencias negativas con un alto nivel energético produciendo la erosión de los finos, en cambio, los índices positivos indicarían bajos niveles hidrodinámicos.

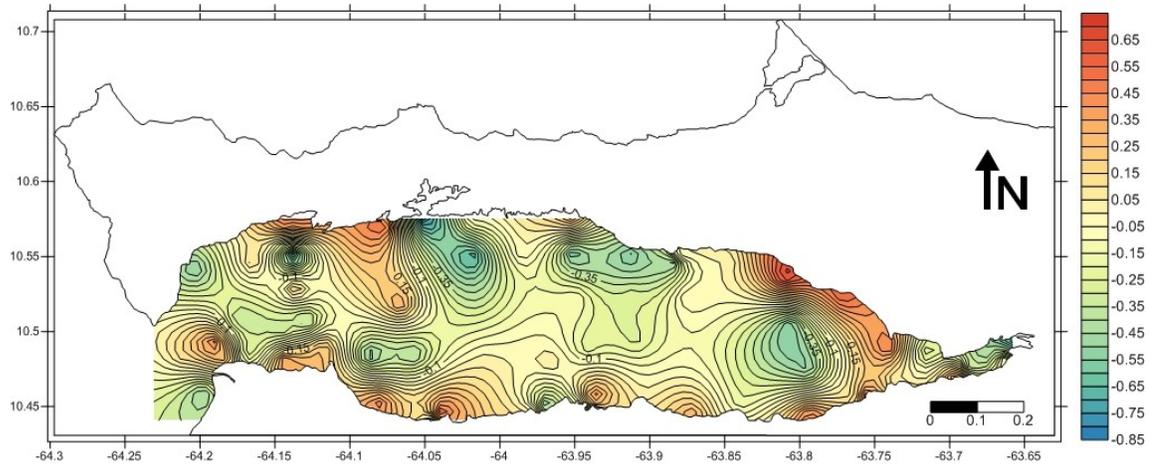


Figura 31. Distribución espacial de la asimetría del tamaño de granos (ρ).

SAGGA (1992), asocia las fluctuaciones de la asimetría con las variaciones de la energía física de los diferentes agentes dinámicos. Así es posible sugerir, de acuerdo a la distribución espacial del parámetro, que las corrientes que actúan a lo largo del golfo (figura 30), podrían explicar el predominio negativo de la asimetría, así como la adición de material de origen marino (fragmentos de conchas).

En cambio se observan pequeñas áreas próximas a la costa y frente a las desembocaduras de los principales ríos de la zona (excepto el río Carinicuaio) con asimetría positiva, indicando niveles hidrodinámicos bajos. Esto puede relacionarse con lo descrito en el tamaño medio de grano sobre los tipos de deltas generados en la costa norte siendo estos deltas dominados por oleaje.

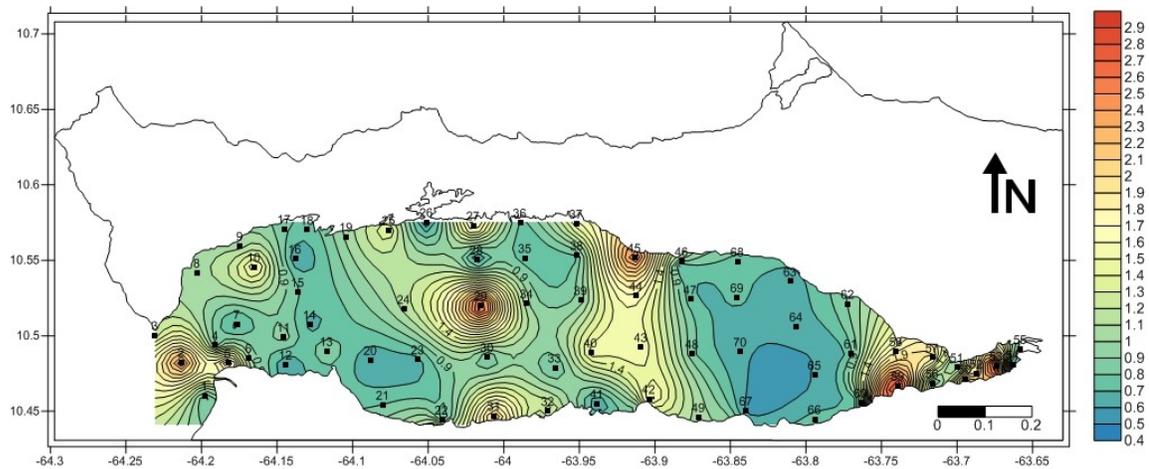


Figura 32. Distribución espacial de la curtosis del tamaño de granos (ρ).

La curtosis (figura 32) se presentó con valores extremos de 2,97 (est. 53) y 0,48 (est. 26), con un promedio de 1,14. De acuerdo a la clasificación de FOLK (1980) variaron entre sedimentos muy platicúrticos y extremadamente leptocúrticos, indicando predominio de distribuciones agudas. Respecto al promedio de la curtosis, es posible reconocer cuatro sectores con diferente comportamiento cúrtico. El extremo oriental (El Saco) está controlado por sedimentos muy leptocurtica ($> 1,5$) luego hacia el oeste se observa un área con tendencia platicúrtica. En la región central la tendencia es similar a la encontrada en el sector El Saco. En cambio el extremo occidental (cañón submarino del Manzanares y punta delgada) contiene sedimentos con una mayor tendencia platicúrtica ($< 0,90$).

En las zonas con distribución leptocúrtica la energía de transporte es uniforme, lo que permite un depósito de sedimento de tamaño uniforme; mientras que en la zona donde se presenta la distribución mesocúrtica, coincide con la presencia de llanuras aluviales o deltas en la costa sur (est. 49,72, 73, 74, 76) frente a la desembocadura de los principales ríos. En el costa norte se presentan con ésta distribución las estaciones 8 y 9, se encuentran entre punta Araya y Manicuaire, y la estación 62 se encuentra frente a Los Cachicatos. El aporte de sedimento desde el continente genera una distribución menos uniforme.

Interpretación de los tipos de ambientes en el golfo.

La distribución espacial y temporal del tamaño de grano de los sedimentos refleja la variabilidad de las condiciones ambientales bajo las cuales esté se depositó (CUPUL *et al.*, 2006). SAHU (1964), señala que cada ambiente de depósito tiene un rango de condiciones de energía en función de la localidad y el tiempo. Sin embargo, dichas condiciones ambientales no solo pueden reflejar los procesos naturales, sino también procesos inducidos por la actividad humana (construcción de presas, estructuras de protección costera, aporte de aguas residuales, contaminantes, etc.) que afectarían las condiciones ambientales, y la consecuencia de estos cambios serían variaciones en la calidad ambiental de una zona costera en particular (CUPUL *et al.*, 2006).

Como una aproximación para determinar los tipos de ambientes presentes en el golfo de Cariaco fueron realizados los cálculos de las funciones propuestas por SAHU (1964), generándose 4 ambientes de depósitos. La relación de ambientes con respecto a la primera función discriminante A1, fue de 52 muestras colectadas como depósitos eólicos y 24 fluviales, sin embargo en la distribución espacial (figura 33) se observan que los depósitos fluviales ocupan cerca del 60 % de la superficie del golfo, mientras que los eólicos se restringen a la zona central oriental. En la entrada de la Ensenada Grande del Obispo se presenta el mayor valor que representa un depósito fluvial. Así como pequeñas zonas a lo largo del cañón submarino del Manzanares.

La presencia de sedimentos de origen eólico en la zona central y El Saco puede ser debido al aporte sedimentario de la península de Araya, que según varios autores el clima en esta región está comprendido entre árido y semiárido (SCHUBERT, 1972). La capacidad del viento de remover sedimento depende fundamentalmente del tamaño, forma y/o densidad de las partículas. Según esto, los mecanismos posibles de transporte son tres: tracción, suspensión y saltación. La saltación realiza entre el 55-72 % del transporte eólico en los desiertos, movilizandando partículas de tamaño entre 70-500 μm , siendo las inferiores a 100 μm las más susceptibles de ser transportadas (BAGNOLD, 1941).

Para QUINTERO *et al.* (2006) en El Saco la suspensión es el mecanismo de transporte

preponderante, los elementos hidrodinámicos de esta zona son: aguas someras, corrientes débiles y escaso oleaje. Además de la topografía, los bosques de manglares que cubren buena parte de la ribera absorben energía y no permiten un mayor desarrollo de los procesos hidrodinámicos de estos elementos. En este estudio los sedimentos de El Saco (est. 51, 52, 53, 54, 56 y 57) se interpretan como un ambiente eólico y no fluvial. Esto coincide con lo reportado por FEBRES (1974) quien señala que el aporte del río Carinicuaio se ha tornado bastante pobre en los últimos años, debido a la deforestación y al uso agrícola, siendo las estaciones que presentan ambientes fluviales próximas a las desembocaduras del río Carinicuaio (est. 55) y la quebrada López (est. 50). Esto difiere de lo expuesto por CARABALLO (1982b) quien señala como de origen continental los limos en el fondo de la zona oriental próxima a la desembocadura del río Carinicuaio.

En los sedimentos marinos del golfo de Cariaco se encuentra un alto porcentaje (68 %) de partículas de origen eólico. CARABALLO (1982b) reportó este tipo de partículas en el fondo del golfo basado en la metodología empleada por STEPHAN (1960) para establecer el origen de los sedimentos finos (limos y arcillas). Según QUINTERO *et al.* (2006), en la costa sur el mecanismo de transporte más importante es la saltación, producto de los vientos en dirección este – oeste.

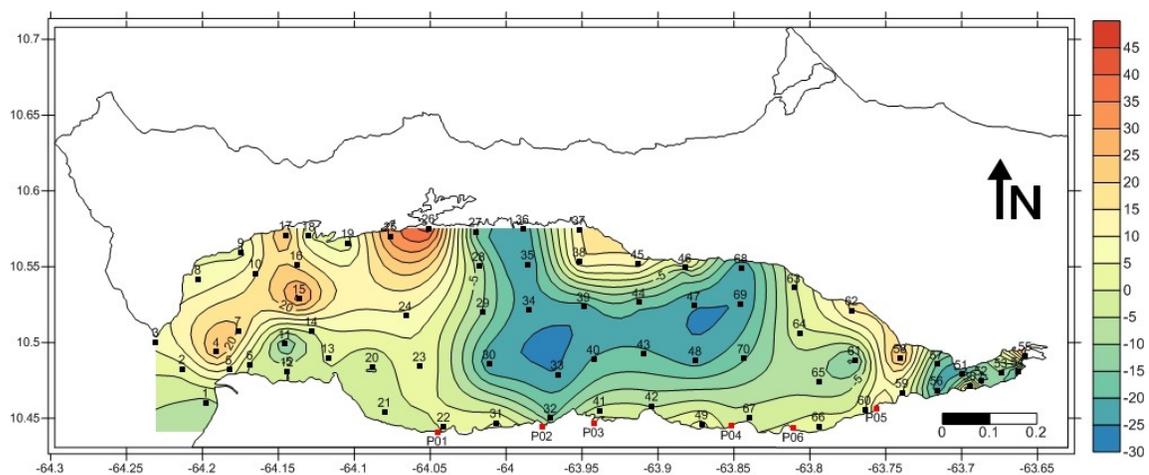


Figura 33. Distribución espacial de los ambientes discriminados por la función A1 (eólico/fluvial).

Los valores de A3 indican que la mayoría de las muestras colectadas corresponden a un ambiente marino somero (57 %), mientras que el 43 % a ambientes deltaicos. El ambiente marino somero se presenta distribuido a lo largo de todo el golfo (figura 34), con mayor presencia en la zona central y El Saco. Los menores valores se presentan en la entrada a la Ensenada Grande del Obispo, Laguna Chica, cañón submarino del Manzanares y frente a Los cachicatos, al este, que corresponde a un ambiente deltaico. Los depósitos fluviales en el cañón submarino del Manzanares podrían señalarse como un aporte de sedimentos del río Manzanares (área de su desembocadura) que penetran cuando son atrapados por las corrientes subsuperficiales que entran al golfo. El mecanismo de transporte de las partículas de sedimento a lo largo de la costa norte desde la ensenada Grande del Obispo hasta Punta Araya es la suspensión (QUINTERO *et al*, 2006). Esto es consistente con una zona de baja energía.

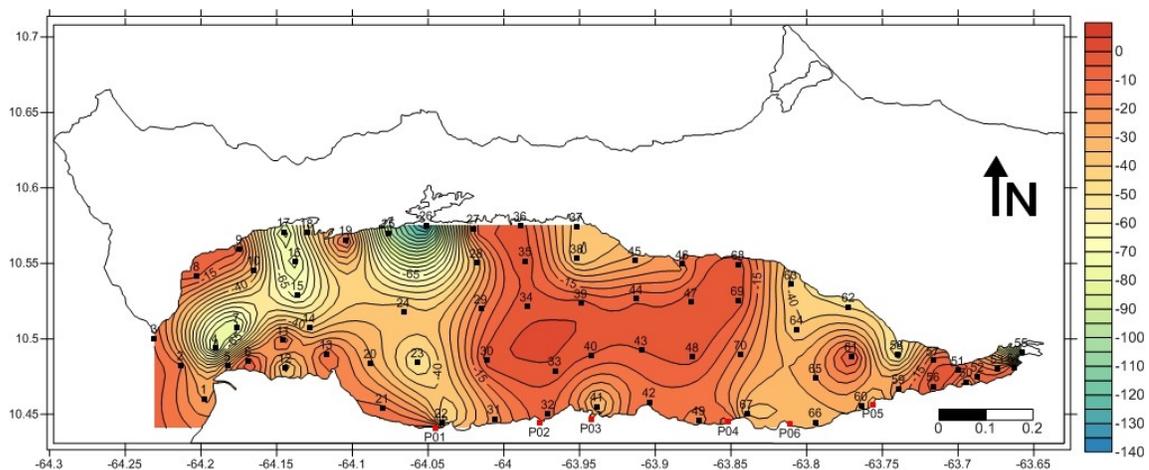


Figura 34. Distribución de los ambientes discriminados por la función A3 (Marino somero/deltaico).

Para efectos del estudio de los sedimentos del golfo de Cariaco, este se dividió en tres zonas bien diferenciadas, según el régimen de energía y siguiendo una orientación aproximada a la propuesta por CARABALLO (1982a), definidas de oeste - este: La Zona Occidental (I): inicia en la latitud -64,03 y finaliza en la “boca” o la línea imaginaria que une la localidad de punta Araya y la zona más al oeste de la ciudad de Cumaná. Esta zona occidental se caracteriza por ser la conexión del golfo con las aguas más profundas allí

localizadas, por medio del cañón submarino del Manzanares, esta área está influenciada por el río Manzanares. Zona Central (II): comienza en la línea imaginaria de latitud -63,90 y finaliza en -64,03 es el área con mayor profundidad, se encuentran rasgos batimétricos importantes con las depresiones de Guaracayal y Cerro Abajo, y desembocan la mayoría de los ríos de la parte sur. Zona Oriental (III) inicia en la línea imaginaria de latitud -63,90 en y finaliza en El Saco, en esta desembocan los principales cursos de agua de la zona norte y el río Carinicua, según el modelo batimétrico es la zona de menor profundidad. La Zona IV está integrada por 6 estaciones de la costa sur próximas a la desembocadura de los ríos más importantes a una profundidad de 1 m.

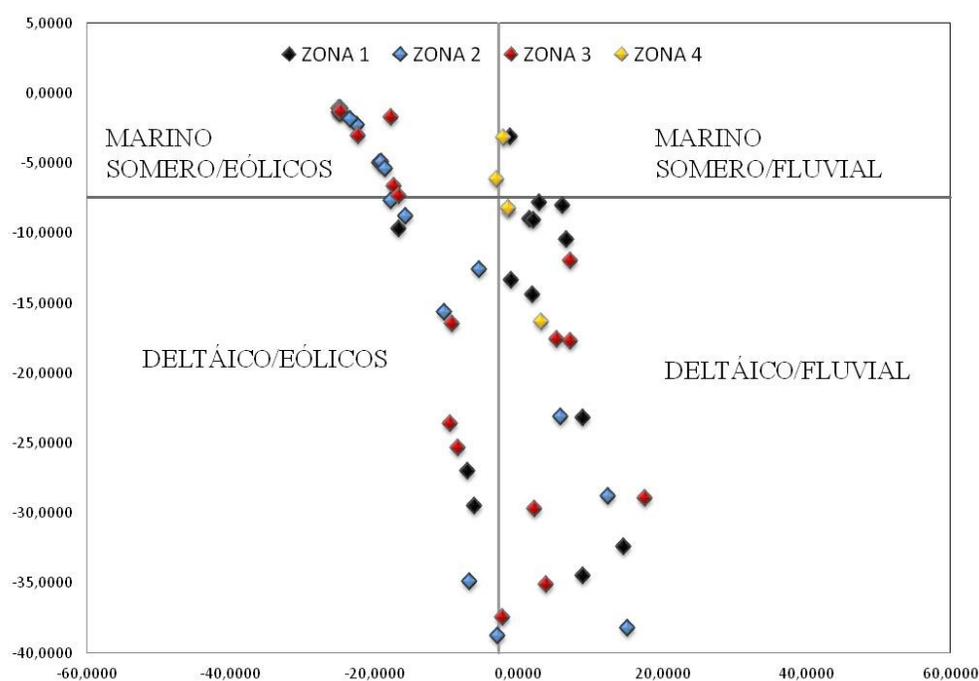


Figura 35. Relación entre funciones discriminatorias A1 y A3 mostrando los ambientes del golfo de Cariaco.

En base a en lo antes expuesto, e intentando discriminar los ambientes de depósitos en el golfo de Cariaco se realizó un grafico de dispersión con los valores de cada una de la funciones discriminantes (A1 y A3), encontrándose 4 ambientes relacionados (marino somero/eólico, marino somero/fluvial, deltaico/eólico y deltaico/fluvial). El ambiente de

mayor frecuencia es el marino somero/eólico que corresponde a 55 % de las muestras de sedimento, le sigue en ponderación un ambiente deltaico/fluviol (30 %), luego un ambiente deltaico/eólico con 13 % (figura 35).

Las muestras captadas en la zona I presentan una distribución bastante dispersa, lo que sugiere un área muy compleja en lo que se refiere a ambientes de depositación, un comportamiento similar lo presenta la zona III. En la zona II la tendencia es hacia el ambiente marino somero/eólico. La zona IV, aunque varía entre marino somero y deltaico, todas las muestras son consideradas como deposito fluviol.

Análisis mineralógico.

La presencia de minerales siliciclásticos, fragmentos de rocas y minerales pesados, en el sedimento, proveen evidencia para determinar la naturaleza de la fuente y también pueden reflejar las características fisiográficas y climáticas del área. (Boggs, 1995).

El análisis mineralógico se realizó a cada una de las fracciones de arena en las muestra colectadas (tabla 9). Se identificaron 13 minerales y 4 tipos de fragmentos de rocas sedimentarios y 4 metamórficos.

Los minerales identificados en los sedimentos colectados fueron: carbonatos, cuarzo, moscovita, epidota, dolimita, grafito, clorita, yeso, circón, granate, cianita, turmalina y lignito. Los tipos de fragmentos de rocas sedimentarias son: margas gris, chert, calizas y areniscas, y los metamórficos son: esquistos, mármol y serpentinitas.

Tabla 10. Principales elementos identificados en los sedimento por fracciones.

Fracción	Carbonatos	Cuarzo	Muzcovit a	Dolomita	Yeso	FRS Margas	FRS Esquisto
1	95,84	0,85	0,00	0,01	0,00	0,79	1,62
2	78,23	5,06	0,00	0,01	1,87	0,73	10,20
3	60,70	24,79	0,00	0,20	5,58	0,96	6,99
4	52,60	36,28	0,10	0,51	5,61	0,87	4,00
5	39,73	47,86	1,03	0,70	5,20	0,64	0,77
6	22,39	57,70	3,14	2,70	5,08	0,38	0,25

En la fracción (gravas) los carbonatos representan cerca del 95 % del total de la muestra, los carbonatos en su mayoría son fragmentos de conchas. En esta fracción el cuarzo no es significativo (0,85 %). En las fracciones arena muy gruesa (2) y gruesa (3), se presentan los carbonatos como el mineral más abundante (> 60 %), mientras que el cuarzo representa el 5,06 y 24,79 %. Entre los fragmentos de rocas, los esquistos son los de mayor abundancia con 1,62 en las gravas, 10,2 % en las arenas muy gruesas y en las gruesas 6,99 %. Un mineral con presencia importante en las arenas gruesas es el yeso con 5,58 %.

En las arenas medias o fracción 4, el porcentaje de carbonatos disminuye con relación a la fracción anterior a 52,60 %, mientras que el cuarzo aumenta su proporción a 36,28 %, el yeso es el tercer mineral en abundancia con 5,61 % y de los fragmentos de rocas, los esquistos son el más importante (4 %).

En las fracciones finas (5), el cuarzo es el mineral más abundante y los carbonatos pasa al segundo lugar. En las arenas finas (fracción 5) el cuarzo representa el 47,86 % del total de la muestra, luego el cuarzo con 39,73 % y el yeso (5,20 %). En esta fracción el cuarzo y carbonato tienen similar proporción. Estos dos minerales integran el 87,59 % de esta. Para la fracción menor (6) el cuarzo es el mineral de mayor presencia (57,70 %) seguido de los carbonatos con 22,39 %, en tercer y cuarto lugar se encuentran el yeso (5,08

%) y moscovita (3,14 %) respectivamente. En general el yeso se encuentra a lo largo de toda la fracción arena en las estaciones 57, 61, 63, 65, 68 y 69. Estas estaciones están localizadas en la zona oriental del golfo. Por el tamaño de las partículas de yeso identificadas y la alta solubilidad de este mineral en climas semiáridos (CANTÓN, 2001) se estima que el yeso presente en esta zona del golfo se debe a la Formación Chiguana que aflora al sureste de la península de Araya, esto coincide con lo reportado por CARABALLO (1982b) para las fracciones finas. Entre el material autóctono marino y el de origen terrígeno puede establecerse una relación de proporción en cada fracción.

Para determinar las relaciones entre los minerales y fragmentos de rocas identificados en el golfo de Cariaco, se realizaron análisis de varianzas de una vía, relacionando cada uno de los minerales y las diferentes fracciones, zonas y profundidades (tabla 10), por la poca cantidad de mineral identificado no fue posible realizar el análisis estadístico a los siguientes minerales: grafito, clorita, yeso, circón, granate, cianita, turmalina y lignito. En general existen diferencias estadísticamente significativas entre el carbonato y las zonas con un valor para la prueba de Kruskal-Wallis de 0,0, el cual es menor de 0,05. Existe diferencias significativas entre en carbonato y la profundidad (0,0), y con las fracciones (0,0). El cuarzo al igual que el carbonato tiene diferencias estadísticamente significativas entre las zonas, profundidad y fracciones. Los fragmentos de rocas sedimentarias tienen un comportamiento similar.

La muscovita y dolimita no presentan diferencias significativas entre las zonas, profundidad y fracciones, mientras que el epidoto y fragmentos de rocas metamórficos si presentan diferencias entre las zonas y profundidades respectivamente.

Tabla 11. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis para cada uno de los minerales y fragmentos de rocas identificados con la zona, profundidad y fracciones.

PARAMETROS	CARBONATOS	CUARZO	MUSCOVITA	DOLOMITA	EPIDOTO	FRS	FRM
ZONA	0,0000	0,0000	0,4630	0,1173	0,0100	0,0000	0,0173
PROFUNDIDAD	0,0000	0,0000	0,3745	0,2569	0,1544	0,0000	0,0000
FRACCIONES	0,0000	0,0000	0,0859	0,3813	0,3208	0,0014	0,1127

Para establecer la relación entre los parámetros, minerales y fragmentos de rocas se realizó un análisis de componentes principales (ACP). Del análisis se desprende que el 71,53 % de la varianza explicativa de lo que ocurre en el sistema se puede dilucidar con 3 componentes principales, en la representación gráfica de los dos primeros componentes principales de los parámetros o variables evaluadas (figura 36) se muestra el primer componente con una varianza explicativa de 33,66 % relacionando la profundidad, el carbonato y los fragmentos de rocas metamórficas, indicando una fuerte relación entre los dos últimos. En este primer componente existe una relación inversa fuerte con el cuarzo y las fracciones. El segundo componente (20,39 %) lo integran la fracción y la profundidad, con una relación inversa de estos con los fragmentos de rocas sedimentarias y las zonas. El tercer componente con una varianza de 17,48 %, evidencia una fuerte relación positiva entre los fragmentos de rocas sedimentarias y metamórficas, y el cuarzo. En este componente la relación es inversa con las zonas y el carbonato.

El primer componente está relacionado con la depositación, presentando una fuerte relación inversa entre el carbonato y el cuarzo. La relación entre carbonato bioclástico y cuarzo es un parámetro indicativo de la resultante entre la influencia fluvial y marina. El carbonato es el componente del sedimento de origen autóctono mientras que el cuarzo es de origen continental aportado por las zonas emergidas adyacentes al golfo (CARABALLO, 1982b; GODDARD, 1987).

El segundo componente indica que las fracciones gruesas están relacionadas con la profundidad y esta relación es positiva, esto implica que a menor profundidad las fracciones son de mayor tamaño de grano y viceversa. Estos parámetros o variables se relacionan inversamente con los fragmentos de rocas sedimentarias, demostrando que a menor profundidad los sedimentos marinos del golfo contiene mayor cantidad de fragmentos de rocas sedimentarias, esto puede estar relacionado con la baja intensidad de las corrientes marinas y las olas en el golfo que no pueden retrabajar las partículas y transportarlas, por lo que estas se encuentran cerca de la fuente de origen (QUINTERO *et al.*, 2006). Los fragmentos de rocas metamórficas no contribuyen a explicar la interpretación del análisis por encontrarse muy cercano al origen de la representación gráfica.

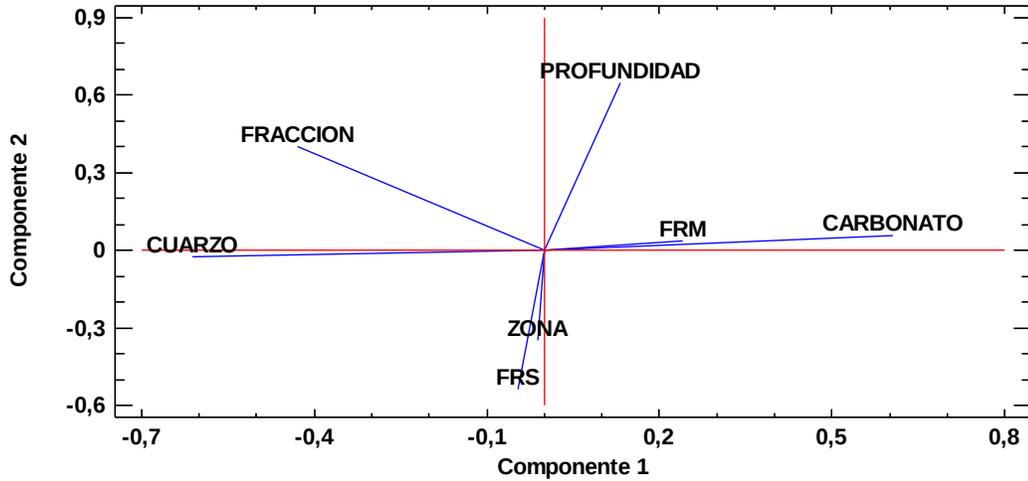


Figura 36. Representación gráfica entre los parámetros (zona, profundidad y fracciones), y los minerales y fragmentos de rocas identificados para los dos primeros componentes principales.

La tendencia en la distribución del carbonato (figura 37) presenta los mayores porcentajes en la zona central y hacia la costa norte, otra área importante se presenta al noroeste cerca de Punta Araya con valores de 90 %. Los menores valores se encuentran en la costa sur con dos sectores: uno en la zona norte de la ciudad de Cumaná al oeste del golfo y otra en la zona este frente a Cachamaure. La disminución en el contenido de carbonatos en las zonas cercanas al continente puede estar relacionada con los aportes de aguas fluviales con CO_2 que permiten la disolución química del carbonato o la variabilidad de la energía en estas zonas no permite la depositación de material carbonatico o bioclástico.

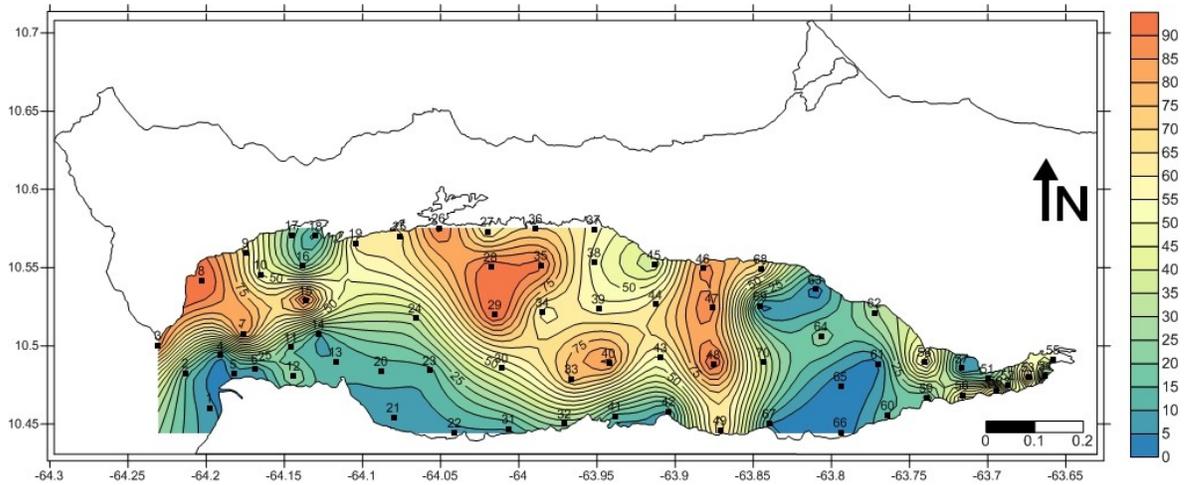


Figura 37. Distribución espacial del carbonato identificado en el golfo de Cariaco (%).

La tendencia en la distribución del cuarzo es inversa al carbonato, puesto que en la zona central del golfo se observan los menores porcentajes de este mineral, mientras que en la costa sur va aumentando próximo a Cumaná y hacia el este. En la costa norte se presentan porcentajes (>80 %) elevados en las estaciones 16, 17 y 18. Las mayores proporciones de cuarzo se encuentran en la costa sur cerca de las desembocaduras de los principales ríos del área, confirmando el aporte de este mineral desde el continente, este mineral es erosionado de las formaciones geológicas de la costa sur.

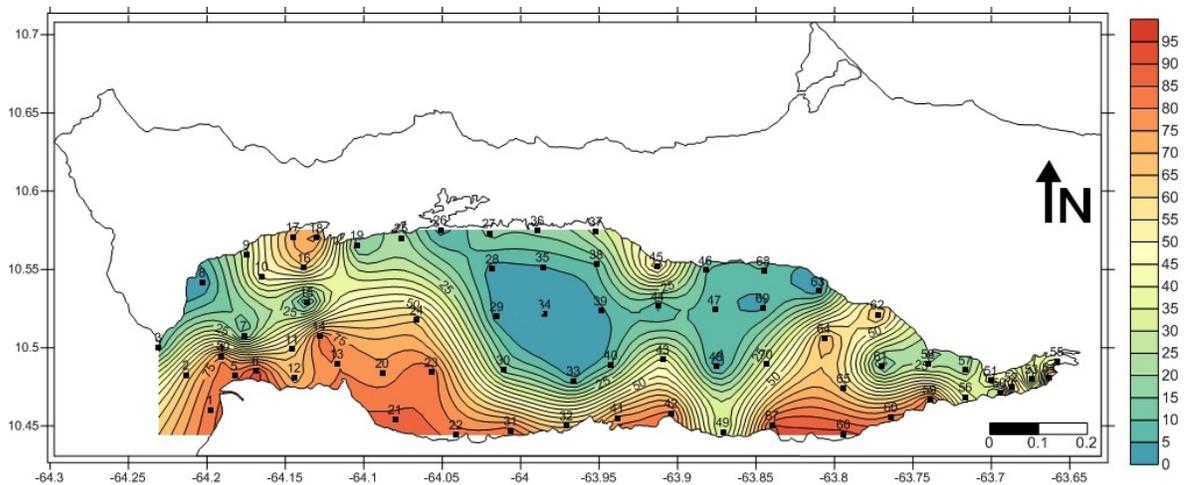


Figura 38. Distribución espacial del cuarzo identificado en el golfo de Cariaco (%).

Los fragmentos de rocas son un indicativo de la energía de fluido que transporta las partículas y la susceptibilidad a la erosión de las rocas. La distribución de los fragmentos de rocas sedimentarias (figura 39) se restringe a la costa sur como consecuencia de la erosión de las rocas en el área adyacente (formación Taguarumo, Valle Verde). Los mayores aportes se encuentran frente a la ciudad de Cumaná al oeste, y al este en Guacarapo y Mariguitar.

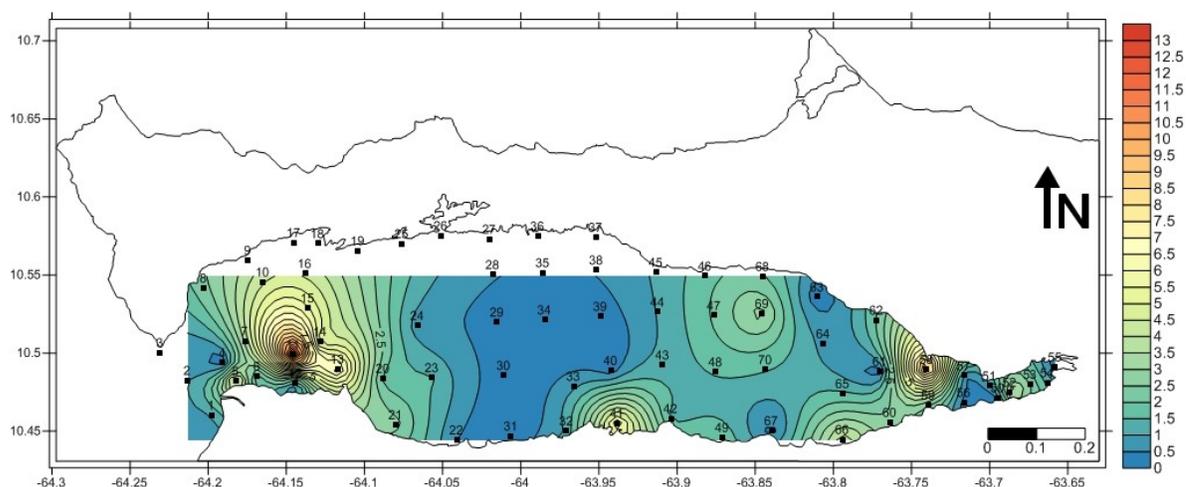


Figura 39. Distribución espacial de los fragmentos de rocas sedimentarias identificados en el golfo de Cariaco (%).

Los fragmentos de roca metamórfica (figura 40) se presentan cercanos a la costa norte del golfo, el mayor porcentaje fue identificado en la estación 19 donde los sedimentos están compuestos por esquistos cuarzo micáceo y mármol de la formación Manicuaire (tabla 2).

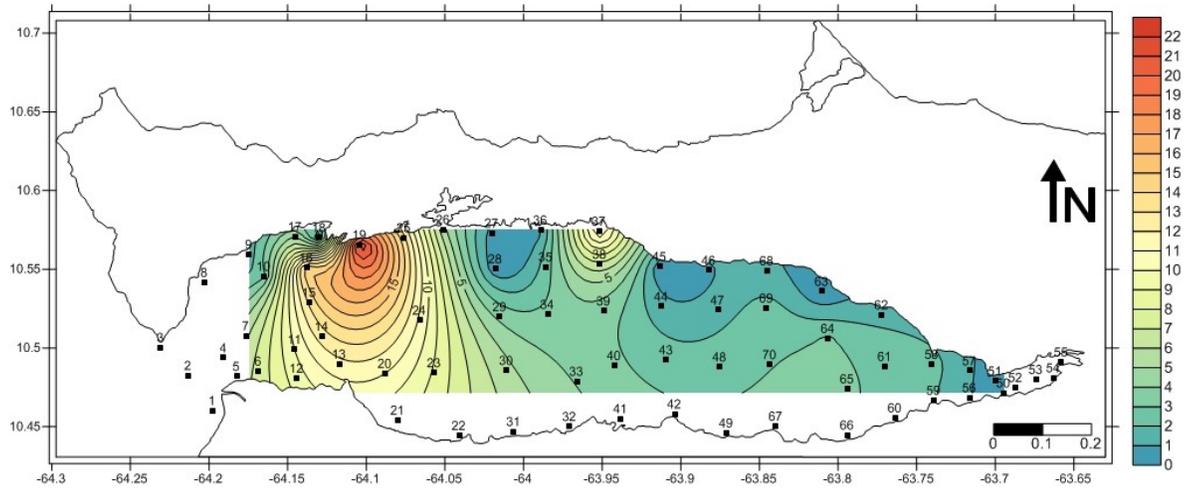


Figura 40. Distribución espacial de los fragmentos de rocas metamórficas identificados en el golfo de Cariaco (%).

Otro foco con alto contenido de fragmentos de rocas metamórficas es la estación 37, en esta los fragmentos de rocas son esquistos cuarzo micáceo, estos pueden provenir de la formación Carupano. Contrario a la distribución de los fragmentos de rocas sedimentarias, los metamórficos se encuentra restringidos a la costa norte.

Integración de los datos sedimentológicos y batimétricos.

Los parámetros obtenidos hasta el momento en el estudio fueron integrados a una matriz de datos para realizar análisis comparativos, con el fin de establecer posibles relaciones entre estas variables, y ponderar las de mayor influencia en el sistema oceanográfico golfo de Cariaco.

En primer lugar se relacionaron cada uno de los parámetros con las zonas, profundidad y estaciones, para esto se realizaron gráficos de cajas y bigotes, y la prueba de Kruskal-Wallis para distribuciones no paramétricas (tabla 11).

Tabla 12. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis para cada uno de los parámetros relacionados con la zona, profundidad y estaciones.

PARAMETROS	Arena	Limo grueso - medio	Limo fino - arcilla	Lodo	Mediana (Md)	TMG Media (Mz)	Selección (ρ_1)	Asimetría (Sk1)	Curtosis (Kg)
ZONAS	0,0000	0,2274	0,0003	0,0000	0,0004	0,0002	0,0079	0,5380	0,2430
PROFUNDIDAD	0,0563	0,2914	0,0879	0,0584	0,1571	0,1029	0,0677	0,5497	0,4208
ESTACIONES	0,1126	0,3555	0,1755	0,1169	0,3139	0,0512	0,1275	0,5869	0,2453

Con relación a la profundidad, y los parámetros texturales y estadísticos no se encontró diferencias estadísticamente significativas, pues que todos los valores de P arrojados por la prueba Kruskal-Wallis son mayores de 0,05. Para las estaciones se puede afirmar que no existen diferencias estadísticas con los parámetros o variables comparados. De la relación de la zona con los parámetros texturales, se tiene que no existe diferencias significativas con la fracción limo grueso – medio, mientras que si existen con las otras clases texturales (arena, limo fino – arcilla y lodo). Igualmente existe una diferencia significativa con los parámetros estadísticos del tamaño de grano: mediana, tamaño medio de grano y selección, y es el caso contrario para la asimetría y curtosis. La representación grafica de las variables con diferencias estadísticamente significativas con las zonas planteadas en este estudio (figura 41).

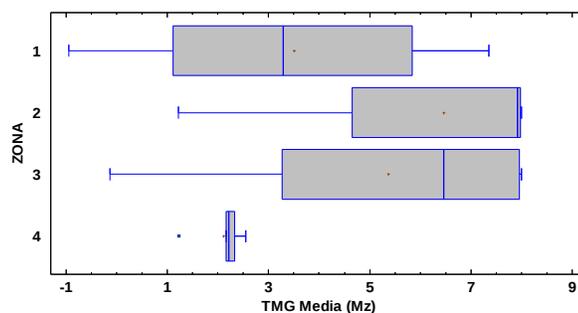


Figura 41. Gráficos de cajas y bigotes para las zonas y su relación el tamaño medio de

grano.

Según lo antes expuesto podemos afirmar que entre las zonas existen diferencias con relación a la energía, tanto en la magnitud (baja o alta energía) como en la variabilidad de esta. Las corrientes subsuperficiales que afectan el fondo del golfo de Cariaco no son constantes ni continuas, y afectan cada zona de manera diferente. Esto coincide con lo reportado por QUINTERO *et al* (2009) para las corrientes marinas del golfo que señalan velocidades entre 9,9 cm/seg y 13,7 cm/seg y variabilidades espacio temporales.

La profundidad no se puede relacionar con las variables antes mencionadas, puesto que no existen diferencias estadísticamente significativas. Lo que indica que no es posible establecer relaciones entre las fracciones o clases texturales predominantes en el fondo y las profundidades. Se pueden encontrar arenas, limos o arcillas indistintamente en zona de aguas llanas o de gran profundidad, esto coincide con lo expuesto por CARABALLO (1982b).

Para dilucidar como es la relación entre los parámetros texturales y estadísticos de los sedimentos marinos colectados, se realizó un análisis de componentes principales (figura 42). Este análisis muestra que los dos primeros componentes explican el 86,98 % de los diferentes parámetros del tamaño de grano y las zonas en el golfo de Cariaco. El primer componente es el de mayor varianza (68,91 %) siendo el de mayor peso para explicar la totalidad de las variables estudiadas. En el plano ortogonal el lodo, lodo fino – arcilla y el tamaño medio de grano se correlacionan de forma positiva al primer componente, siendo grande la interacción, mientras que se correlacionan negativamente con la arena, también la interacción es fuerte pero inversa. Este componente se relaciona con la magnitud de la energía, pues el tamaño medio de grano es indicativo de las condiciones de baja o alta energía (FOLK, 1980), lo que supone que zonas de baja energía depositan partículas finas (lodo) y las de alta energía partículas gruesas (arena).

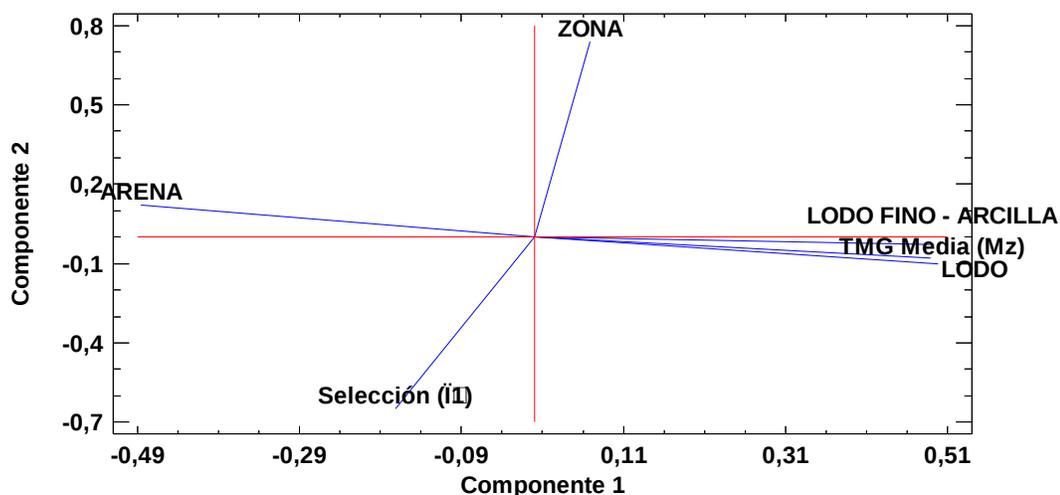


Figura 42. Representación grafica entre las clases texturales (arena, lodo fino – arcilla y lodo) y los parámetros estadísticos (tamaño medio de grano, selección y mediana) para los dos primeros componentes principales.

El segundo componente con una varianza de 18,07 %, evidencia una muy fuerte relación entre las zonas y la selección de las partículas. Esta relación es inversa y no se observan relaciones adicionales en este componente. Este componente puede estar relacionado con la variabilidad de la energía (FOLK, 1980) en el golfo de Cariaco, pues al correlacionarse inversamente las zonas, supone que la zona I es de mayor variabilidad con relación a la energía, y hacia el interior del golfo (zona II y III) esta variabilidad o diferencia entre las magnitudes de la energía se va haciendo menor.

CONCLUSIONES

El modelo digital batimétrico del golfo de Cariaco generado en este estudio con la aplicación de técnicas de interpolación geoestadística, permitió integrar los datos de profundidad de los últimos años de campañas y mapas batimétricos publicados, consolidando una imagen en 2D y 3D del fondo marino. Con análisis estadístico se observó que la profundidad en el golfo no se distribuyen de forma proporcional a lo largo de la superficie, y el 15% se encuentra por encima de los 5m (aprox.100 km²).

Se delimitaron 74 cuencas hidrográficas adyacentes al golfo de Cariaco, de las cuales 66 consideradas microcuencas. Los ríos Carinicua y Manzanares generan las mayores cuencas ocupando una superficie de 1187 y 1162 km² respectivamente. En la costa sur se identificaron cinco cuencas con áreas mayores a 25 km², mientras que en la costa norte una cuenca superó dicha extensión, siendo consideradas cuencas pequeñas. Los ríos Mariguitar, Guirintal y Guaracayal presentan un moderado riesgo torrencial según el coeficiente de compacidad.

En el golfo de Cariaco las texturas son heterogéneas, puesto que se identificaron 10 clases texturales: Lodo (37,14 %), Arena (22,86 %), Lodo arenoso (14,29 %), Arena lodosa (12,86 %), Arena gravosa (4,29 %), Arena limosa (2,86 %), Arena limo gravosa (1,43 %), Arena gravo limosa (1,43 %), Grava arenosa (1,43 %), Limo arenoso (1,43 %). La distribución espacial de las mismas se presenta con las fracciones finas hacia el centro y este del golfo, mientras que las gruesas en la región occidental y próxima a la costa sur. De acuerdo a la clasificación textural, el tamaño medio de grano se distribuye desde -0,5 hasta 8,5 ϕ , la selección desde 0,62 a 4,06 ϕ , la asimetría se encuentra entre -0,85 y 0,68 ϕ , y curtosis desde 2,97 hasta 0,48 ϕ en los sedimentos del golfo.

Se reconoce la existencia de tres grandes zonas con diferencias en energía cinética. En el sector este la Zona Oriental (I) es de baja energía y alta variabilidad, mientras que la Zona Central (II) presenta baja energía y variabilidad, y hacia el oeste la Zona Occidental

(III) presenta alta energía y variabilidad.

Los principales minerales identificados fueron: carbonatos, cuarzo, moscovita. Los tipos de fragmentos de rocas sedimentarias son: margas gris, chert, calizas y areniscas, y los metamórficos son: esquistos, mármol y serpentinitas. El carbonato es el mineral más abundante (53 a 96 %) en las fracciones gruesas (Gravas, Arenas muy gruesas, gruesas y media) mientras que el cuarzo es más abundante (36 a 58 %) en las fracciones arenosas finas, entre estos minerales existe diferencias estadísticamente significativas. El carbonato se distribuye en la zona central y hacia el oeste cerca de Punta Araya, por su parte el cuarzo se encuentra principalmente en la costa sur. Los fragmentos de rocas sedimentarias y metamórficas están restringidos a las zonas cercanas a las costas sur y norte.

Al integrar los datos batimétricos y sedimentológicos se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la profundidad, fracciones, fragmentos de rocas sedimentarias y metamórficas. Se identificó una relación positiva entre las fracciones gruesas (gravas y arenas) y la profundidad, lo cual indica que la profundidad y el tamaño de grano es inversamente proporcional y viceversa. Además existe una relación inversa entre la profundidad y los fragmentos de rocas, mostrando la mayor cantidad de fragmentos de rocas en las áreas de menor profundidad.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ D., J. MATIZ Y A. CARDENAS. 2011. Modelos digitales batimétricos generados por métodos de interpolación idw, kriging, Shepard y B-Spline en el archipiélago de Islas del Rosario. *Revista Geomática*. 5(1): 3 –14.
- AUDEMARD, F., C. BECK, J. MOERNAUT, K. DE RYCKER, M. DE BATIST, J. SANCHEZ, M. GONZALEZ, C. SANCHEZ, W. VERSTEEG, G. MALAVE, M. SCHMITZ, A. VAN WELDEN, E. CARRILLO & A. LEMUS. 2007. La depresión de submarina de Guaracayal, estado Sucre, Venezuela: una barrera para la propagación de la ruptura cosísmica a lo largo de la falla de El Pilar. *Interciencias*. 32 (11): 735 – 740.
- BONILLA, J. 1982. Algunas características geoquímicas de los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 18 (1 y 2): 133 – 155.
- BONILLA, J. 1993. Características hidrográficas: Comportamiento y significados de modelos estadísticos multivalentes en el bi ecosistema marino Costero de José, Edo. Anzoátegui. *Trabajo de Ascenso a Profesor Titular. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 231 p.
- BURROUGH, P. Y R. MCDONNELL. 1998. Principles of geographical information systems. New York, Oxford University Press. 333 p.
- CAMPOS, D. 1987. Procesos del ciclo hidrológico. Editorial Universitaria Potosina. 517 p.
- CARABALLO, L. 1970. Los materiales sedimentarios. Generalidades de su estudio. *Lagena*. 25 – 26.
- _____. 1982a. El golfo de Cariaco. Parte I. Morfología y batimetría submarina. Estructura y tectonismo reciente. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 21 (1 y 2): 13 – 35.
- _____. 1982b. El Golfo de Cariaco. Parte II. Los sedimentos superficiales y distribución por el fondo. Fuente de sedimentos. Análisis mineralógico. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 21 (1 y 2): 37 – 65.
- _____. 1982c. El Golfo de Cariaco. Parte III. Contenido de carbonatos y constituyentes de las partículas de los sedimentos. Su distribución por el fondo. Fauna característica. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 21 (1 y 2): 67 – 83.
- _____. 1982d. El Golfo de Cariaco. Parte IV. Los cambios del nivel del mar. La actividad tectónica y el origen del golfo. Tipos de costas. Perspectivas de

- hidrocarburos. . *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 21 (1 y 2): 85 – 99.
- CARVAJAL, F., F. AGUILAR. Y F. AGUERA. 1999. Interpolación espacial en entorno Cad. Aplicación del método de krigeado. *Acta del XI Congreso Internacional de Ingeniería Grafica, Logroño, España*. 1: 478 – 491.
- CANTÓN, Y., SOLÉ-BENET, A., QUERALT, I., PINI, R. (2001). Weathering of a gypsumcalcareous mudstone under semi-arid environment at Tabernas, SE Spain: laboratory and field-based experimental approaches. *Catena*, 44:111 – 132
- CARRIQUIRY, J.D., SÁNCHEZ A., CAMACHO-IBAR VF., 2001, Sedimentation in the northern Gulf of California after the elimination of Colorado River discharge. *Sedimentary Geology*. (144) 37 – 62.
- CORVALAN, P., R. GOUET, C. REYES. 2000. Evaluación de estimaciones locales dasométricas realizadas mediante técnicas geoestadísticas. Seminario Silvotecn. Corporación Chilena de la Madera. Chile . 13 p.
- COSTA, J. 1988. Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of wáter floods, hyperconcentrted flows, and debris flows. *Flood georphology*. New York, Wiley: 113 – 220.
- CRESSIE, N. 1989. Geostatistics. *The American Statistician*. 43(4): 611(23).
- CRESSIE, N. Y M. MAJURE. 1995. Non-Point Source Pollution of Surface Waters over a Watershed. Programme Abstracts of the third SPRUCE International Conference. Merida, Mexico.
- CUPUL, L., C. MOSSO, J. SIERRA, E. MARTÍ, J. FERMAN, M RODILLA, J. GONZÁLEZ DEL RÍO Y A. SÁNCHEZ. 2006. Caracterización y patrones de distribución de los sedimentos superficiales en Bahía Cullera, España. *Ciencias Marinas*. 32 (4): 617 – 629.
- DAELE. M., A. WELDEN, J. MOERNAUT, C. BECK, F. AUDEMARD, J. SANCHEZ, F. JOUANNE, E. CARRILLO, G. MALAVÉ, A. LEMUS Y M. DE BATIST. 2011. Reconstruction of Late-Quaternary sea- and lake-level changes in a tectonically active marginal basin using seismic stratigraphy: The Gulf of Cariaco, NE Venezuela. *Marine Geology*. 279: 37 – 51.
- DAVIES, J. 1980. Geographical variations in coastal development. 2nd Ed. Longman. London. 212.
- DIGGLE, P., L. HARPER Y S. SIMON. 1995. Geoestatistical Analysis of Residual Contamination from Nuclear Weapons Testing. Programme Abstracts of the third SPRUCE International Conference. Merida, Mexico.
- FELICISIMO, A. 1994. Modelos digitales del terreno: principios y aplicaciones en las ciencias

ambientales. Madrid, Pentalfa Ediciones. 118p.

- FERRAZ-REYES, E. 1987. Productividad primaria del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 26 (1y2): 97 – 110.
- FERRAZ-REYES, E., MANDELLI, E. & REYES, G. 1987. Fitoplancton de la Laguna Grande del Obispo, Venezuela. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 26 (1y2): 111 – 124.
- FERNÁNDEZ, E. 1984. Contaminación de los ríos Guasdua y Manzanares, Edo. Sucre, Venezuela. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente* 23 (1 y 2): 114 – 115.
- FOLK, R. Y W. WARD. 1957. Brazos river bar: Astudy in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*. 27: 3 – 26.
- FOUCAULT, A. Y J. RAOULT. 1985. Diccionario de Geología. Versión Castellano. 2a. Ed. francesa, Mason, S.A. 316 p.
- FRIEDMAN, G. 1962. On sorting, sorting coefficients and lognormality of grain size distribution og sandstone, *Journal Geology*. 70: 737 – 756.
- FRIEDMAN, G. 1979. Differences in size distribution of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology*. 26: 3 – 32.
- GADE, H. 1961. Further hydrographic observations in the gulf of Cariaco, Venezuela. The circulation and water exchange. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 1 (2): 359 – 395.
- GIRALDO, R. 2003. Introducción a la Geoestadística. Teoría y aplicación. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Estadística.
- GODDARD, D. 1987. Estudio mineralógico de los sedimentos del fondo del Golfo de Cariaco, Edo. Sucre, Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Geología*. 29: 5 – 18.
- GUZMAN, R., G. GOMEZ. Y M. PENOTT. 1998. Aspectos Biológicos y pesqueros de la sardina (*Sardinilla aurita*) en el golfo de Cariaco, Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 16 (2): 149 – 162.
- HEATHCOTE, W. 1998. Integrated Watershed Management: Principles and Practices. New York. John Wiley & Sons, Inc.
- INMAN, D. 1949. Sorting of sediments in the light of fluid mechanics. *Journal of Sedimentary Petrology*. 19:51 – 70.
- ISAACS, E. Y R. SRIVASTAVA. 1989. Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.

- JAKOB, A. 2002. A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos. XIII Encontro de la asociación Brasileira de Estudios Poblacionales. Ouro Preto - Minas Gerais.
- JOURNEL, A. Y J. HUIJBREGTS. 1978. Mining Geostatistics, Academic Press, New York.
- KIRKBY, M. J. 1978. Hill slope Hydrology. New York. J Wiley & Sons. 389.
- KITANIDIS, P. 1997. Introduction to geostatistics: applications in hydrogeology. New York, Cambridge University Press. 249p.
- KYRIAKIDIS, P., Y J. DUNGAN. 2001. "A geostatistical approach for mapping thematic classification accuracy and evaluating the impact of inaccurate spatial data on ecological model predictions". *Environmental and Ecological Statistics*. 8: 311-330.
- KRUMBEIN, W. 1936. Application of logarithmic moments to size frequency distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*. 6 (1): 35 – 47.
- LAM, N. 1983. Spatial interpolation methods: a review. *The American Cartographer*. Vol. 10(2): 129 – 149.
- LANDIM, P. 2002. Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. Geomatemática – Texto Didático 6, DGA, IGCE, UNESP, Rio Claro. 16p.
- LASLETT, G., A. MCBRATNEY., P. PAHL. Y M. HUTCHINSON. 1987. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. *Journal of Soil Science*. 38:325 – 341.
- LEEDER, M. 1991. Sedimentology: process and product. *Harper Collins Academic*. Londres. 250p.
- LONDOÑO, C. 2001. Cuencas hidrográficas: bases conceptuales, caracterización, planificación y administración. Universidad del Tolima. Facultad de ingeniería forestal. Departamento de ingeniería, Ibagué. 57 – 66p.
- MACSOTAY, O. 1977. Observaciones sobre el neotectonismo cuaternario en el Nororiente de Venezuela. *Boletín Geológico publicación especial*. 7 (1): 1861 – 1883.
- _____, V. GÓMEZ Y M. GIL. 2009. Historia geológica del golfo y la fosa de Cariaco, Venezuela nororiental. Evolución de la anoxia. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente* 48 (2): 89 – 108.
- MANN, F. 1951. The sediments of lake Elsinore, Riverside country, California. *Journal of Sedimentary Petrology*. 21 (3): 151 – 161.
- MÁRQUEZ, A., J. BONILLA, J. MARTÍNEZ, G & W. SENIOR. 2005. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del litoral nororiental del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*

44 (2): 89 - 103.

- MARTÍNEZ, G. 2002. Metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente* 41 (1-2): 83 – 96.
- MARTINS, L. 1965. Significance of skewness and kurtosis in environmental interpretation . *Journal of Sedimentary Petrology*. 28: 211 – 226.
- MASON, C., Y R. FOLK. 1958. Differentiation of beach, dune, and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas. *Journal of Sedimentary Petrology*. 28 (2): 211 - 226.
- MEADE, R. 1994. Suspended sediments of the modern Amazon and Orinoco rivers. *Quaternary International*. 21: 29 – 39.
- MILLIMAN, J Y R. MEADE. 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *Journal Sedimentology*. 91: 1 – 21.
- MIRANDA, M Y A. CONDAL.2003. Importancia del análisis estadístico exploratorio en el proceso de interpolación espacial: caso de estudio Reserva Forestal Valdivia. *Bosque*. 24 (2): 29 – 42.
- MYERS, D. E. 1987. Optimization of Sampling Locations for Variogram Calculations. *Water Resources Research*. 23 (3): 283(93).
- MORELOCK, J., N. MALONEY & W. BRYANT. 1972a. Structure and sediments of the continental shelf of central Venezuela. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente* 11 (2): 127 – 136.
- _____. 1972b. Manzanares submarine canyon. *Acta Científica Venezolana*. 23(4): 143 – 147.
- NITTROUER, C., S, KUEHL. R, STERNBERG. A, FIGUEIREDO., Y L. FARÍAS. 1995. An introduction to the geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf. *Marine Geology*. 125: 177 – 192.
- OKUDA, T., J. BENITEZ, J. BONILLA Y G. CEDEÑO. 1978. Características hidrográficas del Golfo de Cariaco, Venezuela, *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente* 17 (1-2): 69 - 88.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN – FAO. 1997. Manejo integrado de cuencas. Documento de referencia para los países de América Latina. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago – Chile. 542p.
- PETTIGAS, P. 1996. *Geostatistics and Their Applications to Fisheries Survey Data*.

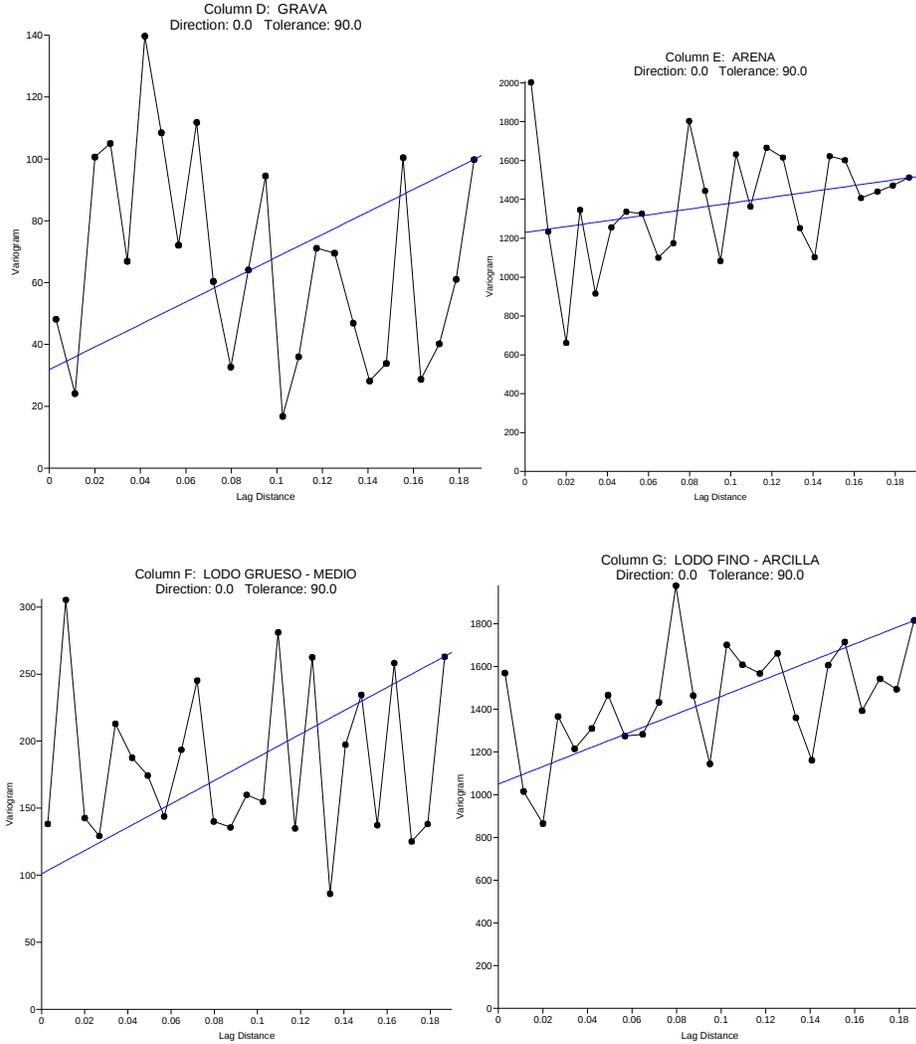
- Computers and Fisheries Research. Chapman-Hall, Londres. 5: 114 – 142.
- PETTIJOHN, F. Y J. RIDGE. 1933. A mineral variation series of beach sands from Cedar Point, Ohio. *Journal of Sedimentary Petrology*. 3 (2): 92 – 94.
- PINDELL, L. Y S. BARRET. 1990. Geological evolution of the Caribbean región; a plate – tectonic perspective. *The geology of North America, The Carribean Region*. H: 405 – 429.
- PINDELL, J. Y L. KENNAN. 2001. Processes and events in the terrane assembly of Trinidad and Eastern Venezuela. Disponible en Tectonicanalysis.com.
- QUINTERO, A., G. TEREJOVA & J. BONILLA. 2005. Morfología costera del Golfo de Cariaco, venezuela. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 44 (2): 133-143.
- QUINTERO, A., G. TEREJOVA, G. VICENT, A. PADRON & J. BONILLA. 2002. Los pescadores del golfo de Cariaco, Venezuela. *Interciencias*. 27: 286-292.
- QUINTERO, A., L. CARABALLO, J. BONILLA, G. TEREJOVA & R. RIVADULA. 2006. Sedimentos marinos costeros del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 45 (2): 127-139
- QUINTERO, A., G. TEREJOVA Y J, BONILLA. 2009. Las corrientes marinas en el golfo de Cariaco. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 48 (2): 109 – 120.
- RAMÍREZ, A. Y A. ANDARA. 1993. Water chemistry and chemical weathering in northern Venezuela drainages. *Chemical Geology*. 107: 317 – 318.
- ROA, P. Y F. OTTAMAN. 1961. Primer estudio topográfico y geológico del golfo de Cariaco. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente* 1 (1): 5 – 20
- ROBERTSON, G. P. 1987. Geostatistics in Ecology: Interpolating with Known Variance. *Ecology* 68(3): 744 – 748
- SAHU, B. 1964. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*. (34): 73 – 83.
- SALAZAR, C. 1989. Condiciones hidrogeoquímicas de la región estuarina – deltaica del Orinoco durante el mes de Noviembre de 1985. *Trabajo de grado para optar al título Magister Scientiarum en Ciencias Marinas mención Oceanografía Química. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Cumana, Venezuela*. 117p.
- SÁNCHEZ, A., T. ÁLVAREZ-LEGORRETA, R. SÁENZ-MORALES., M. ORTIZ., E. LÓPEZ-ORTIZ., Y S AGUÍÑIGA. 2008. Distribución de parámetros texturales de los sedimentos superficiales en la Bahía de Chetumal:

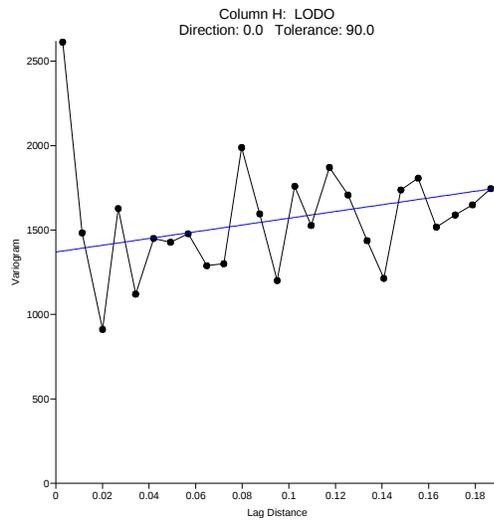
- Implicaciones en la inferencia de transporte. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 25 (3):523 – 532.
- SHEPPARD, F. 1954. Nomenclature based on sand – silt – clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*. 24 (3): 151 – 158.
- SHUMM, S. 1963. The disparity between present rates of denudation and orogeny. U.S. Geology Survey. 454 H: 13p.
- SENIOR, W. Y G. MARTÍNEZ. 2002. Estudio del comportamiento de los metales en el material en suspensión de las aguas superficiales del Río Manzanares, Venezuela. Informe técnico Universidad de Oriente, Instituto Oceanográfico de Venezuela, departamento de Oceanografía. Cumaná, Venezuela. 51 p.
- SENIOR, W., F. LÓPEZ. Y I. FERMÍN. 2003. Principales fuentes de contaminación del Río Manzanares, Venezuela. Informe técnico Universidad de Oriente, Instituto Oceanográfico de Venezuela, departamento de Oceanografía. Cumaná, Venezuela. 23 p.
- SINGARASUBRAMANIAN, S., M. MUKESH., K. MANOHARAN., S. MURUGAN., D. BAKKIARAJ. Y A. JOHN. 2006. Sediment characteristics of the m – 9 tsunami event between rameswaram and thoothukudi, gulf of Mannar, southeast coast of India. *Science of Tsunami Hazards*. 25 (3): 163 – 164.
- SECRETARÍA DE LA CONVENCIÓN DE RAMSAR, 2010. Manejo de cuencas hidrográficas: Integración de la conservación y del uso racional de los humedales en el manejo de las cuencas hidrográficas. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 9. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- TOSIANI, T., C. YANES. Y A. RAMÍREZ. 2005. Sedimentos recientes frente al delta del Orinoco, Venezuela. P: 53 – 61. En Gómez MG, Capaldo M, Yanes C, Martín A (Eds.) (2005) Frente Atlántico venezolano. Investigaciones Geoambientales: Ciencias de la tierra. Tomo II. Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) – Fondo Editorial Fundambiente, Caracas, Venezuela. 159 p.
- VALDIRENE, M. 2011. Modelo Batimétrico da Plataforma Continental Interna de Acaraú – Ceará – Brasil. XV simposio brasileiro de sensores remotos. INPE. 7682 – 7689p.
- VISHER, G. 1969. Grain size distributions and depositional processes. *Jour Sedimentology*. 30: 377 – 392.
- WEBER, D. Y E. ENGLUND. 1992. Evaluation and comparison of spatial interpolators. *Mathematical Geology*. 24: 381 – 391.
- WENTWORTH, C. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*. 30: 377 – 392.

- WOODROFFE, N. 2002. Coasts: form, process and evolution. Cambridge University Press: 623p.
- WRIGHT, L., J. BOON, S. KIM, Y J. LIST. 1991. Modes of cross shore sediment transport on the shoreface of the Middle Atlantic Bight. *Marine Geology*. 96: 79 – 51.
- YOUNG, G. Y N. WAYNE. 1998. Processes controlling the distribution of Ti and Al in weathering profiles, siliciclastic sediments and sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Research*. 68: 448 – 455.

ANEXOS

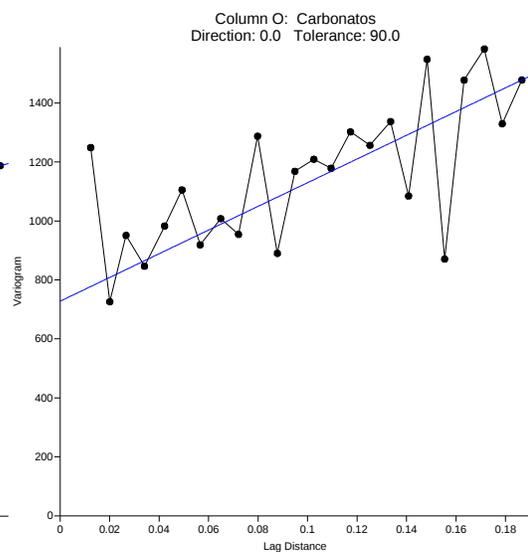
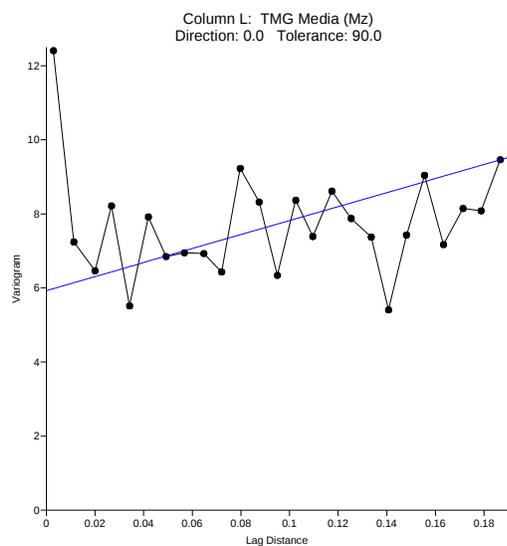
1. Semivariogramas de los datos de las fracciones grava, arena, lodo grueso – medio, lodo fino – arcilla y lodo.





2. Parámetros de los modelos de semivarianza ajustados a los datos recolectados.

MODELO		GRAVA	ARENA	LIMO GRUESO-MEDIO	LIMO FINO-ARCILLA	LODO
"Efecto Pepita"	Error	51,9	1070	83,2	1020	1020
	Micro varianza	0	0	0	0	0
Lineal	Slope	507	1189	1282	4260	4260
	Aniso	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0



HOJA DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	Batimetría Y Evaluación De Sedimentos Recientes Del Golfo De Cariaco, Venezuela
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Pinto G., Francisco J.	CVLAC	13836303
	e-mail	fjpintog@gmail.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Batimetría, sedimentos marinos, Golfo de Cariaco.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Ciencias Marinas
	Oceanografía Química

Resumen (abstract):

Se realizó un estudio batimétrico y sedimentológico del golfo de Cariaco. En primer lugar se recopilaron los datos de profundidad de mapas publicados y campañas oceanográficas hasta el año 2010, para generar un modelo digital batimétrico del golfo de Cariaco, utilizando el método de interpolación geoestadístico Kriging. Se realizaron análisis estadísticos descriptivos a los datos generados observándose valores de profundidad media de -30,28 m, y mediana -21,29 m, esto sugiere que la profundidad no se distribuyen de forma proporcional a lo largo de la superficie del golfo. También tenemos que el 25% de la superficie del golfo se encuentra por debajo de los 52m, lo que representa 150 km² aproximadamente de la superficie total del golfo, mientras que el 15% se encuentra por encima de los 5m (+/-100 km²). En segundo lugar se delimitaron las cuencas de los ríos, arroyos y quebradas que desembocan en el golfo, con el sistema de información geográfico ArcGIS, utilizando la herramienta Hydrology de ArcMap. Se delimitaron 74 cuencas para la zona, siendo las de mayor área los ríos Carinicua y Manzanares ocupando una superficie de 1187 y 1162 km² respectivamente. Las cuencas de los ríos Tunantal, Guaracayal, Taracacoa, Mariguitar y Guirintal al sur y “arroyos de Guacarapo” al norte son consideradas cuencas pequeñas, las restantes son microcuencas. Se estudiaron los sedimentos recientes del golfo de Cariaco, con la captación de 76 muestras, de las cuales 70 son sedimentos marinos y 6 costeros, para la determinación de la textura, parámetros estadísticos del tamaño de grano, identificación de ambientes de depósitos. Obteniéndose 10 texturas: Arcilla (37,14 %), Arena (22,86 %), Lodo arenoso (14,29 %), Arena lodosa (12,86 %), Arena gravosa (4,29 %), Arena limosa (2,86 %), Arena limo gravosa (1,43 %), Arena gravo limosa (1,43 %), Grava arenosa (1,43 %), Limo arenoso (1,43 %). También se identificaron sedimentos de origen eólico en la zona centro oriental, al igual que ambientes fluviales en la franja costera sur. Se identificaron 13 minerales, y 4 tipos de fragmentos de rocas sedimentarios y 4 metamórficos, los principales minerales son el carbonato y cuarzo, con una relación de proporción inversa en las fracciones determinadas y en la tendencia espacial. No encontró diferencias significativas entre la batimetría y las clases texturales reportadas, mientras que si existe relación entre la batimetría y el carbonato, cuarzo y fragmentos de rocas en el golfo de Cariaco.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Gregorio Martínez	ROL	CA <input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
Carlos Yanez	ROL	CA <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
María Valentina Fuentes	ROL	CA <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2012	08	09
------	----	----

Lenguaje: spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
PG-Pinto.Doc	Application/Word

Alcance:

Espacial : **Nacional** (Opcional)

Temporal: **Temporal** (Opcional)

**Título o Grado asociado con el trabajo: MAGISTER SCIENTIARUM
EN CIENCIAS MARINAS MENCIÓN OCEANOGRAFÍA QUÍMICA**

Nivel Asociado con el Trabajo: MAGISTER SCIENTIARUM

Área de Estudio: Oceanografía

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR <i>Martínez</i>
FECHA <u>5/8/09</u> HORA <u>5:30</u>

Cordialmente,

Juan A. Bolaños Cuveto

JUAN A. BOLAÑOS CUVELLO
Secretario

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.



AUTOR

Jurado Examinador:

Prof. Gregorio Martínez

(Tutor).....

Prof. Carlos Yanez

.....

Prof. María Valentina Fuentes

.....

Coordinadora Programa de Postgrado:

Dra. Mary Isabel Segnini de Bravo




Firma y Sello