

RADIOLARIOS RECIENTES DEL CARIBE COLOMBIANO: SECTOR ARBOLETES -
TIERRABOMBA

KATHERINE ANDREA LEÓN PALMA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA

2008

RADIOLARIOS RECIENTES DEL CARIBE COLOMBIANO: SECTOR ARBOLETES -
TIERRABOMBA

KATHERINE ANDREA LEÓN PALMA

TRABAJO DE GRADO REALIZADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
GEÓLOGA

Director:

Vladimir Torres Torres

ECOPETROL Instituto Colombiano del Petróleo

Asesor:

José Ignacio Martínez Rodríguez

Universidad EAFIT

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA

2008

*Aunque tus ojos estuvieron tristes, quisiera que cuando los vuelva ver me den la
alegría que perdí, cuando los cerraste para siempre.*

Papito nunca dejare de pensarte, ni de amarte.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle a Dios por brindarme las condiciones necesarias para culminar esta etapa de mi vida.

A mi familia, que siempre me apoyo y me incentivo a alcanzar mis metas.

A Vladimir Torres por brindarme sus enseñanzas, corregirme pacientemente y apoyarme en los momentos difíciles que atravesé durante el desarrollo de este trabajo

A Néstor Saavedra por haber sido un ejemplo de profesionalismo a seguir, y haberme dado su apoyo fraternal.

A Zully Calderón, Darwin Mateus y su Grupo de Investigación por haberme facilitado los medios para el desarrollo de este trabajo.

A Jose Ignacio Martínez y Gabriel Bayona por haberme compartido sus conocimientos.

A Annika Sanfilippo, mi generosa maestra, por su constante ayuda y valiosos consejos.

A Carolina Vargas, Flavia Fiorini y mis amigos del Grupo de Bioestratigrafía (ICP), por sus consejos y colaboración.

A Jorge Pinto, por ser un amigo y maestro.

A mi Precioso, por regalarme la tranquilidad que a veces perdía.

Al grupo de las esporitas, por su amistad y consejos.

A la Universidad Industrial de Santander, por mi formación académica.

Al Instituto Colombiano del Petróleo ICP y a la Universidad EAFIT, por el préstamo de sus instalaciones.

A Karen Tindale de BHP Billiton, por facilitarme las imágenes del mapa de la zona de estudio.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
1. LOCALIZACIÓN GEOGÁFICA DEL AREA DE ESTUDIO.....	15
2. MARCO GEOLÓGICO DE LA ZONA.....	16
2.1 Geomorfología	16
2.2 Marco Oceanográfico.....	17
3. ESTUDIOS ANTERIORES DE RADIOLARIOS EN SUDAMERICA Y EL CARIBE.....	25
4. MÉTODOS.....	29
4.1 Método de Preparación de Placas para Radiolarios.....	31
4.2 Identificación y Descripción de Radiolarios	32
4.3 Revisión de Morfotipos.....	33
4.4 Determinación de Proporciones de Caparazones (Test Ratio y Taxon Ratio) ..	33
4.5 Determinación del Índice de Surgencia URI.....	33
4.6 Índice de Diversidad Ecológica	35
4.7 Modelo en 3D de la Zona de Estudio	36
5. SISTEMATICA DE RADIOLARIOS.....	38
5.1 Biología.....	39
5.2 Ecología y Aplicaciones	40
5.3 Sistemas de Clasificación	41
5.4 Morfología Radiolaria	44
6. RESULTADOS	52
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	64
7.1 Interpretación del Recobro de las muestras	64
7.2 Ecología.....	64
8. CONCLUSIONES	69
9. RECOMENDACIONES.....	71
10. BIBLIOGRAFIA.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la zona de estudio y de las muestras analizadas.	15
Figura 2. Desembocadura del Sinú, delta de Tinajones (Bahía de Cispatá).....	17
Figura 3. Circulación Oceánica Superficial en el Mar Caribe.....	18
Figura 4. Se presenta la Temperatura Superficial del Mar Caribe y las zonas de surgencia a lo largo de la costa de Sur América.	19
Figura 5. Influencia hidrológica de la zona de estudio.....	20
Figura 6. Ubicación de los puntos con información de termoclina y termohalina en la zona de estudio..	21
Figura 7. Temperatura contra Profundidad del Punto 9,5N 76,5W.....	22
Figura 8. Salinidad contra Profundidad del Punto 9,5N 76,5W.....	22
Figura 9. Temperatura contra Profundidad del Punto 10,5N 76,5W.....	23
Figura 10. Salinidad contra Profundidad del Punto 10,5N 76,5W.....	23
Figura 11. Temperatura contra Profundidad del Punto 10,5N 75,5W.....	24
Figura 12. Salinidad contra Profundidad del Punto 10,5N 75,5W.....	24
Figura 13. Valores de URI (%) para sedimentos superficiales del Holoceno en el Pacífico Oriental Ecuatorial.	26
Figura 14. Profundidad de la termoclina en la misma región (de la Figura 13).....	26
Figura 15. Modelo 3D de la zona de estudio en ArcGIS.....	37
Figura 16. Modelo 3D de la zona de estudio en GRASS.....	37
Figura 17. Radiolarios naselaridos.....	38
Figura 18. Características morfológicas de los radiolarios..	39
Figura 19. Esquema de la sistemática propuesta por Riedel (1967, 1971)	43
Figura 20. Ejemplos de radiolarios polycystinos.	44
Figura 21. Características principales de las células polycystinas	45
Figura 22. Espinas Principales.....	46
Figura 23. Tipos de espinas según su ubicación en naselaridos.....	46
Figura 24. Forma de espinas principales y secundarias (5 primeras).	47
Figura 25. Se muestran barras, nodos y poros circulares.	47
Figura 26. Barras menores.	48
Figura 27. Poros con forma hexagonal y roseta.....	48
Figura 28. Patrón de poros.	49
Figura 29. Radiolarios con caparazones enrejados..	50
Figura 30. Radiolarios con caparazones perforados..	50
Figura 31. Radiolarios con caparazones esponjosos.....	51

Figura 32. Familias más importantes del estudio.	53
Figura 34. Géneros más importantes del estudio.....	55
Figura 35. Asociación típica de la zona	58
Figura 36. Valores de URI para cada muestra.	60
Figura 37. Valores de Diversidad para cada muestra.....	61
Figura 38. Valores de Equidad para cada muestra.	62
Figura 39. Riqueza para cada muestra	63

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. MAPA DE LA ZONA DE ESTUDIO CON LA UBICACIÓN DE LAS 30 MUESTRAS.

Anexo 2. RECuentOS DE LAS 30 PLACAS.

Anexo 3. CATÁLOGO DE RADIOLARIOS RECIENTES DEL CARIBE COLOMBIANO.

RESUMEN ¹

TÍTULO: RADIOLARIOS RECIENTES DEL CARIBE COLOMBIANO: SECTOR ARBOLETES – TIERRABOMBA.

AUTOR: KATHERINE ANDREA LEÓN PALMA

PALABRAS CLAVE: Plataforma, Talud, Radiolarios, Caribe Colombiano, URI, Surgencia.

El actual trabajo de grado se realizó utilizando 30 muestras *piston coretop* de sedimentos distribuidas a lo largo del gradiente batimétrico desde la plataforma (39m) y talud (2469m) del Caribe Colombiano. Se contó un total de 7479 caparazones polycystinos: 2933 espumelaridos y 4646 naselaridos. El dominio generalizado de naselaridos indica condiciones más oceánicas que neríticas y de alta salinidad. Se describieron 15 familias, 93 géneros y 104 morfoespecies. Las familias más abundantes son: PLAGONIIDAE (31%), PYLONIIDAE (21%), SPYRIDAE (11%) y SPONGODISCIDAE (10%), que representan el 55% del total de caparazones. En cuanto a los géneros, los más relevantes son: *Tetrapyle* (10%), *Plagonium* (8%), *Tholospyris* (6), *Lophophaena* (6%), *Octapyle* (6%), y *Arachnocoralium* (6%); representan el 43 % del recuento total. La asociación típica está integrada por: *Tetrapyle octachantha*, Plagoniidae Group, *Tholospyris* spp. group, *Octapyle stenozoa*, *Arachnocoralium calvata*, *Lophophaena hispida*, *Pterocorys minythorax* y *Peromelissa phalacra*. Los valores de diversidad, equidad y dominancia, señalan una distribución equitativa del número de individuos entre las especies, lo cual, sumado a los bajos valores de URI determinados, indican condiciones de surgencia débil o de no surgencia. Por todo lo anterior, se planteó que la posible surgencia estacional (de presentarse) es de rango bajo y que el principal aporte de nutrientes a la zona de estudio proviene de los afluentes de la región.

¹ Proyecto de Grado: Radiolarios Recientes del Caribe Colombiano: Sector Arboletes – Tierrabomba
Facultad: Ingenierías Físicoquímicas Escuela: Geología Director: Vladimir Torres Torres

ABSTRACT ²

TITLE: RECENTS RADIOLARIANS OF COLOMBIAN CARIBBEAN: ARBOLETES – TIERRABOMBA ZONE.

AUTHOR: KATHERINE ANDREA LEÓN PALMA

KEY WORDS: Shelf, Slope, Radiolarians, Colombian Caribbean, URI, Upwelling.

The present undergraduate research project was conducted using 30 piston coretop sediment samples distributed along the bathimetric gradient from shelf (39m) to slope (2469m) of the Colombian Caribbean. A total of 7479 polycystine tests: 2933 spumellarians and 4646 nasellarians were counted. The general domain of nasellarians indicates high salinity conditions and a distal setting. 15 families, 93 genera and 104 species were described. The more abundant families, which represent the 55% of the total recount, were: PLAGONIIDAE (31%), PYLONIIDAE (21%), SPYRIDAE (11%) and SPONGODISCIDAE (10%). Regarding the genera, *Tetrapyle* (10%), *Plagonium* (8%), *Tholospyris* (6), *Lophophaena* (6%), *Octapyle* (6%), and *Arachnocoralium* (6%) were the more abundant, representing the 43% of the total recount. The typical association is constituted by *Tetrapyle octachantha*, Plagoniidae group, *Tholospyris* spp. group, *Octapyle stenozoa*, *Arachnocoralium calvata*, *Lophophaena hispida*, *Pterocorys minythorax* and *Peromelissa phalacra*. The high diversity, equity and dominance values, indicate an equitable distribution of the number of individuals among the species. This, in addition to the low URI values estimated, reflects none upwelling conditions in the study zone. From these facts it was concluded that the upwelling, if present, might be seasonal and of low rate. And that the principal source of nutrients in the study zone is the river's input.

² Degree Project: Recents Radiolarians of Colombian Caribbean: Arboletes – Tierrabomba Zone
Faculty: Physicalchemistry Engineering School: Geology Director: Vladimir Torres Torres

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la exploración petrolera en el país se enfoca en el Caribe colombiano, por esta razón es necesario profundizar en el conocimiento de grupos fósiles que permitan una amplia caracterización de las sedimentitas de origen marino.

En Colombia, los estudios bioestratigráficos de estratos marinos se han basado principalmente en foraminíferos (Petters & Sarmiento, 1956; Guerra, 1980; Duque, 1990; Hernández *et al.*, 2003). Recientemente se están implementando los nanofósiles calcáreos y dinoflagelados (Torres *et al.*, 2007; Garzón, 2007).

Un grupo fósil complementario a los anteriormente nombrados, son los radiolarios, microorganismos planctónicos, de amplia distribución geográfica y batimétrica, presentes en el registro fósil desde el Cámbrico hasta el presente. Gracias a su composición silíceo, son resistentes a la oxidación y no se ven afectados bajo la zona de compensación de carbonato, además, presentan su más alta abundancia en zonas ecuatoriales, por lo cual, tienen un alto potencial como herramienta bioestratigráfica complementaria a los microfósiles de pared calcárea.

Los radiolarios constituyen una herramienta para describir límites geográficos o reconstruir la paleoceanografía, además se utilizan para establecer cambios tectónicos en las cuencas oceánicas y son indicadores de masas de agua oceánicas, temperatura del agua, disponibilidad de nutrientes y procesos físicos como surgencia (Casey, 1993; Haslett, 1995; Kanaya y Koizumi, 1966; McMillen and Casey, 1977; Nigrini and Caulet, 1992; Riedel, 1967).

Hasta la fecha, solo se han realizado dos estudios de radiolarios recientes en Colombia (Bayona y Marín, 2007; Toro, 2003), ambos en el Pacífico y de edad Holocena; por lo que es necesario hacer más estudios que permitan una mayor comprensión su oceanografía, para su posterior aplicación en reconstrucciones paleoecológicas y bioestratigráficas.

El presente trabajo de grado se presenta como una aproximación taxonómica, ecológica y oceanográfica de radiolarios recientes en Colombia. Dicho trabajo busca principalmente evaluar los radiolarios como indicadores de surgencia, a través de la identificación de especies indicadoras de este fenómeno en los sedimentos de la plataforma y talud del Caribe Colombiano; para lo cual se pretende implementar el URI (Upwelling Radiolarian Index).

Como valor agregado, se presenta un catálogo taxonómico de radiolarios recientes, el cual registra por primera vez las especies de radiolarios presentes en sedimentos del Caribe Colombiano.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar de la influencia de surgencia en la zona de estudio, por medio de la presencia de las especies de radiolarios indicadoras de este proceso en muestras de sedimentos recientes.

Objetivos Específicos

Elaborar el primer catálogo de radiolarios recientes para el Caribe Colombiano, con la descripción e identificación taxonómica de morfotipos de radiolarios (desde orden hasta especie), con base a recuentos de 300 individuos por placa.

Determinar la intensidad relativa de surgencia mediante el uso del URI (*Upwelling Radiolarian Index*) para la zona de estudio.

Preguntas de Investigación

¿Son los radiolarios de la zona central del Caribe Colombiano buenos indicadores de surgencia?

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica costa afuera del Caribe Colombiano entre latitud $8^{\circ} 45' 55''\text{N}$ - $10^{\circ} 34' 00''\text{N}$; y longitud $75^{\circ} 20' 00''\text{W}$ - $77^{\circ} 20' 00''\text{W}$. Figura 1.

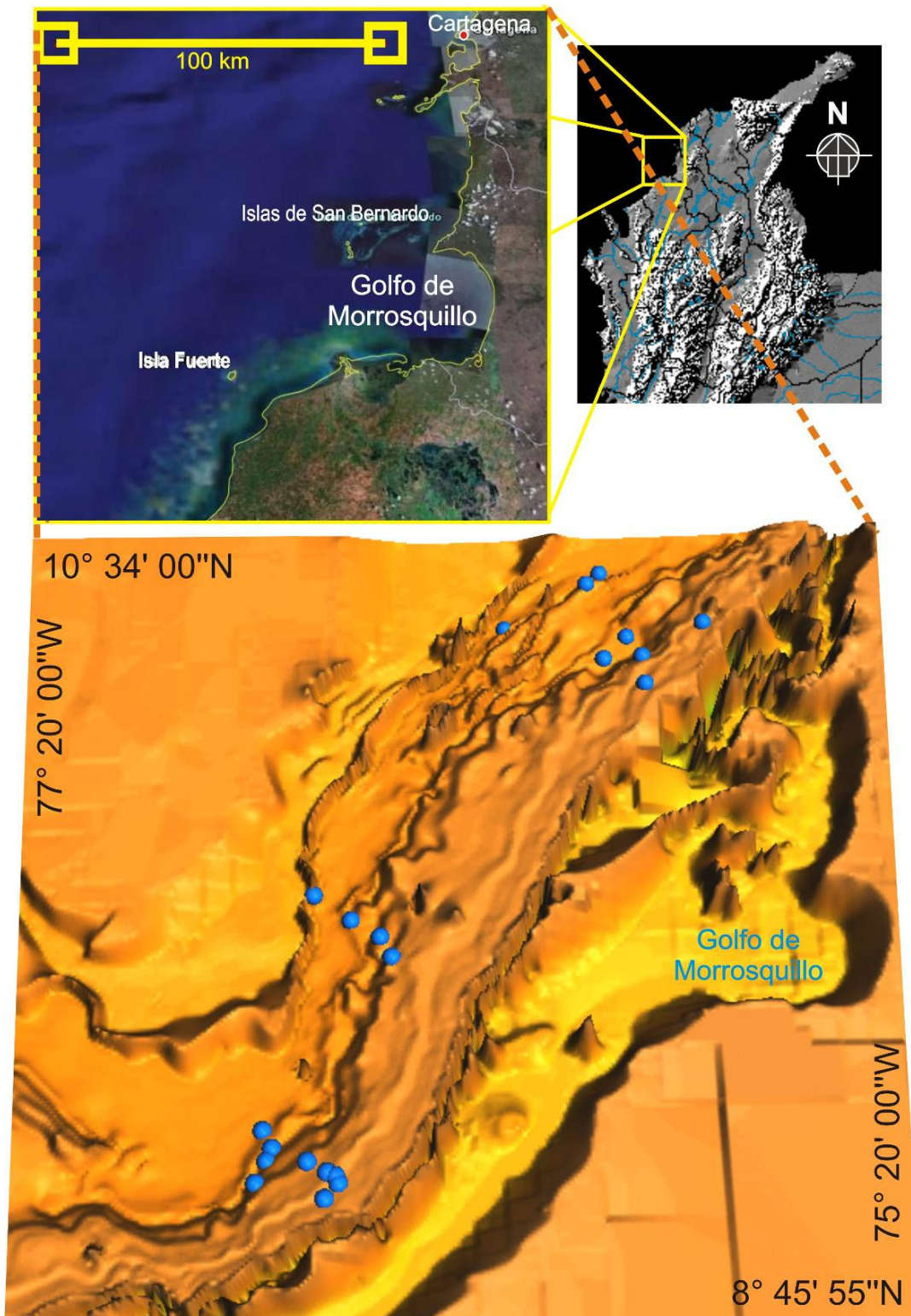


Figura 1. Localización de la zona de estudio y de las muestras analizadas.

2. MARCO GEOLÓGICO DE LA ZONA

La costa Caribe colombiana presenta una gran complejidad estructural y estratigráfica producto de la interacción de tres placas tectónicas: Nazca, Suramérica y Caribe (Burke *et al.*, 1983; Duque, 1980; González, Núñez y París, 1988; Pelgrain, 1990). La subducción de la placa del Caribe bajo la placa Suramericana produce una intensa actividad geológica reflejada en el diapirismo de lodo, que propicia la disolución conchas de foraminíferos (López, 2004); fenómeno que podría presentar alguna influencia en la preservación de caparazones de radiolarios. Este fenómeno está asociado a fallas inversas y de rumbo; se presenta tanto en zonas continentales como submarinas (Anexo 1), parece haber iniciado durante la depositación de las turbiditas del Mioceno, y tuvo su máxima expresión del Plioceno al Pleistoceno, durante la Orogenia Andina (Duque 1980, 1984; Vernet *et al.*, 1992).

2.1 GEOMORFOLOGÍA

Hacia la parte norte de la zona de estudio se presenta un complejo arrecifal que se alarga en dirección nororiente – suroccidente (Javelaud, 1986). Hacia el sur, el Golfo de Morrosquillo está vinculado al archipiélago de San Bernardo, considerado un sistema de islas, canales, manglares, ciénagas, barras, atolones y arrecifes costeros (Castaño, 2002).

Las geoformas litorales del golfo indican que esta zona deltaica ha recibido todos sus sedimentos del río Sinú. (Castaño, 2002) (Figura 2).

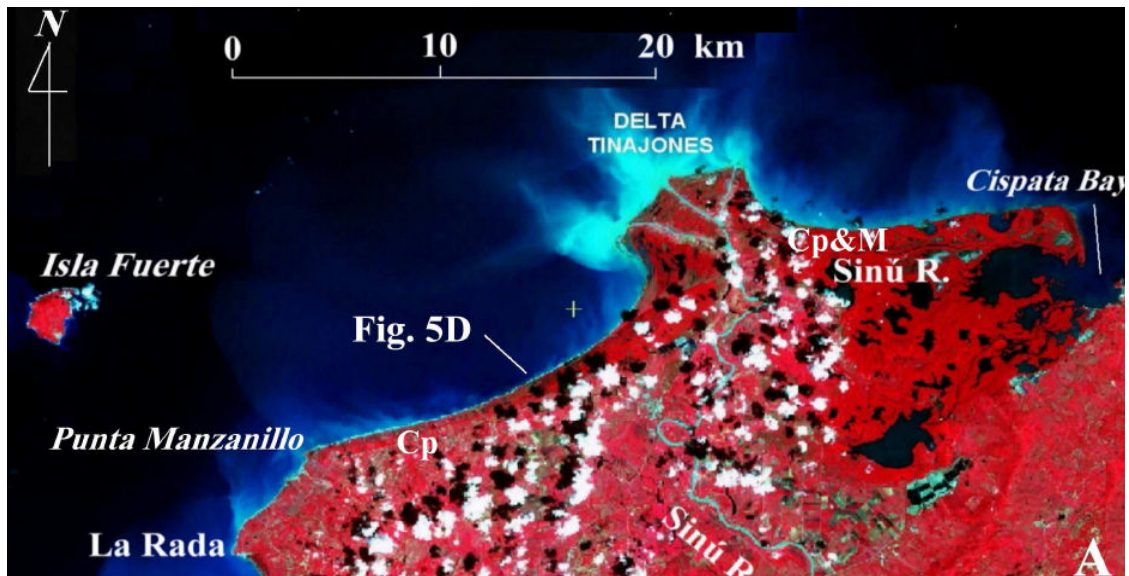


Figura 2. Desembocadura del Sinú, delta de Tinajones (Bahía de Cispatá) (imagen Landsat, 1999; cortesía del Invemar. Tomada de Correa et al. (2007).

La influencia continental se presenta en forma de profundos cañones sumergidos, que son la continuación submarina de las desembocaduras de los ríos (Arias, 1998). Estos cañones se presentan a lo largo de la plataforma continental y talud con flujos de turbiditas que mezclan los sedimentos superficiales.

2.2 MARCO OCEANOGRÁFICO

En la actualidad el Mar Caribe tiene una importancia significativa, ya que allí se forman masas de agua que componen la Corriente del Golfo que a su vez provee de aguas cálidas a la Cinta Transportadora (e.g. Broecker, 1991; Broecker, 1997; Linch *et al.*, 1999). Además, según Broecker (1991; 1997), esta cinta es controlada por el exceso de sal que es dejado en el Atlántico como resultado de la exportación de vapor hacia el Pacífico. Esto ocurre en mayor cantidad en el Caribe.

El transporte de agua superficial en la zona de estudio esta asociado a la Corriente del Caribe, la cual, fluye en sentido occidental, pasando por las Antillas Menores,

atraviesa la cuenca de Venezuela y cuando llega a la península de la Guajira toma un giro ciclónico, alimentando el sur de la cuenca de Colombia (Rincón, 2004), (Figura 3).

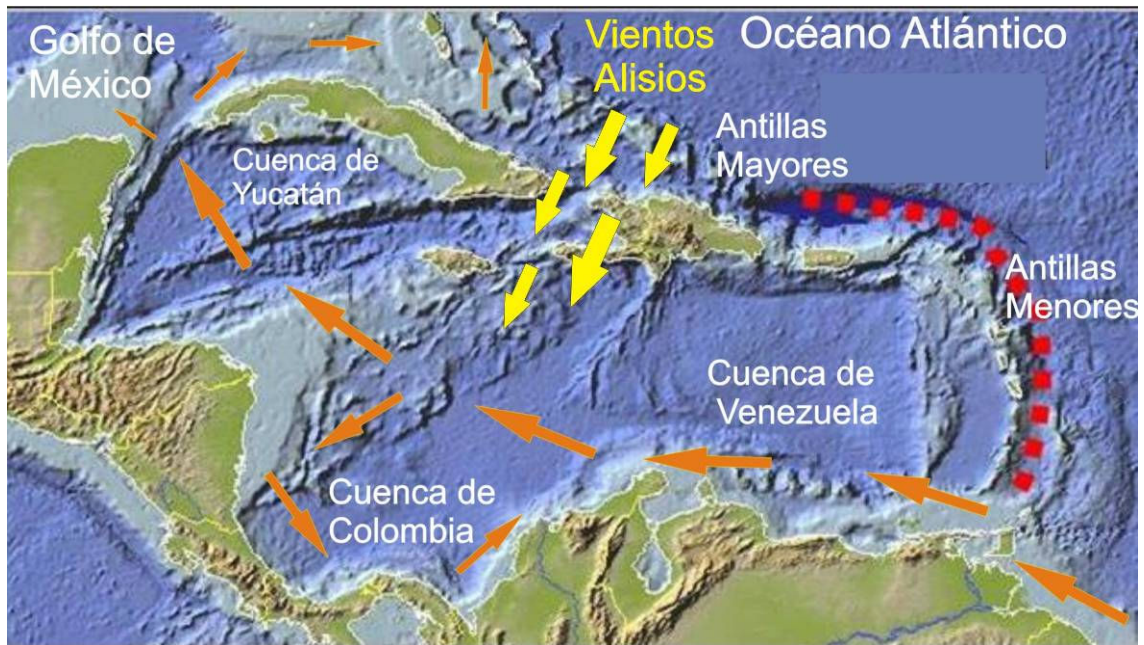


Figura 3. Circulación Oceánica Superficial en el Mar Caribe. Modificado de “Comisión Colombiana Del Océano” <online> www.cco.gov.co/imagenes%20tsunami/Imagen1.jpg

En el Caribe Colombiano, durante el período seco (Diciembre a Abril) se presentan los vientos alisios del NE, que deflectan la pluma del Magdalena hacia el SW, generan fuerte transporte litoral hacia el SW e inhiben la salida de aguas del canal del Dique hacia fuera de las bahías de Cartagena y Barbacoas (Bernal *et al.*, 2006).

Es durante este período, que en la Guajira, la dirección y la orientación de los vientos Alisios favorece la formación de sistemas de surgencia (*upwelling*) estacionales que generan el ascenso de aguas ricas en nutrientes a la superficie, las cuales pueden ser desplazadas grandes distancias por la Corriente del Caribe (en forma de “filamentos”) (Andrade y Barton, 2003) (Figura 4). Sin embargo en la parte norte de la zona de estudio se presentan complejos arrecifales, los cuales ven afectados su desarrollo en condiciones de surgencia (INVEMAR, 2005).

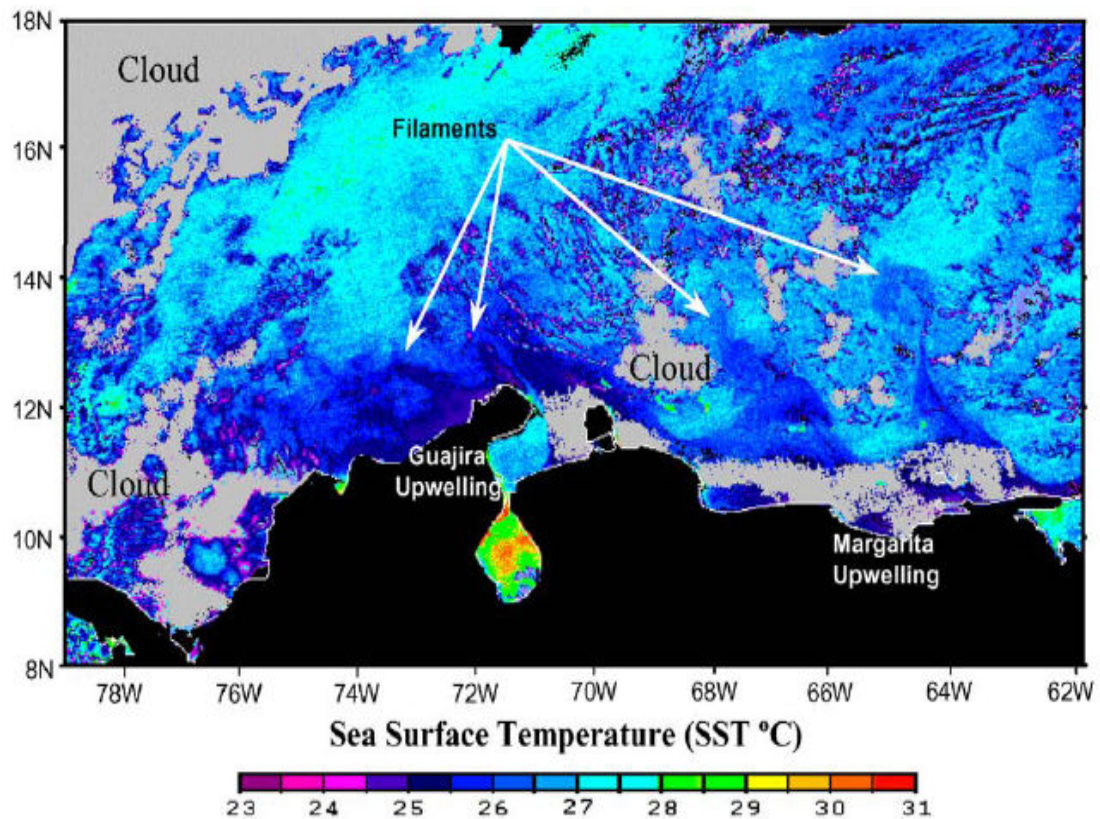


Figura 4. Se presenta la Temperatura Superficial del Mar Caribe y las zonas de surgencia a lo largo de la costa de Sur América. Tomado de Andrade y Barton, (2003).

En condiciones de surgencia, disminuye el contenido de oxígeno (región de mínima oxigenación) disuelto en el agua de mar (normalmente en talud), allí se presenta la zona de máxima productividad, y consecuentemente altas concentraciones de algunas especies oportunistas de radiolarios, por lo que se presenta una baja diversidad de estos microorganismos (McMillen and Casey, 1977; Tribovillard *et al.*, 1995; Vergnaud *et al.*, 1995).

Aunque actualmente la productividad de la Cuenca de Colombia es pobre, también está influenciada por lenguas de agua dulce provenientes de los ríos del norte de Suramérica y Centroamérica (Figura 5). La extensión de estas lenguas depende, en primer lugar, de las descargas de los ríos, y por ende de la precipitación continental, y en segundo lugar depende del patrón de circulación de las aguas superficiales, que facilita la dispersión de los efluentes continentales (Rincón, 2004).

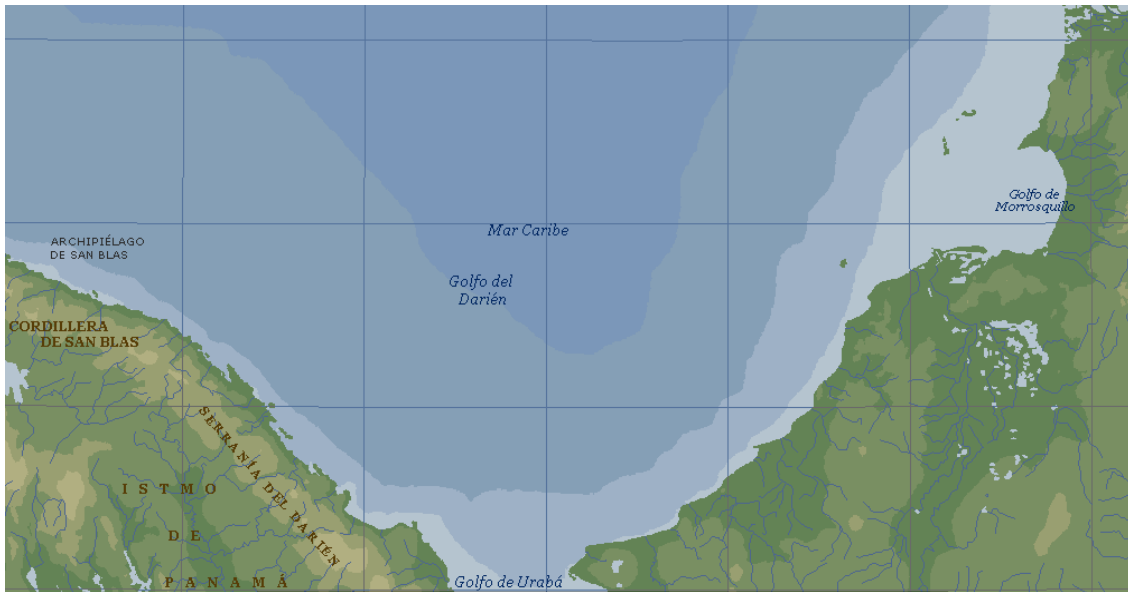


Figura 5. Influencia hidrológica de la zona de estudio. Tomado de Encarta, 2006.

Esta influencia fluvial se acrecienta durante el período húmedo (Mayo a Noviembre) donde se presentan lluvias, las aguas del canal del Dique salen hacia la plataforma continental y una contracorriente de Panamá fuerte y superficial barre la costa Caribe colombiana (Suroeste hacia el noreste). En este período, la surgencia es prácticamente nula (Andrade y Thomas, 1988; Leble y Cuignon, 1987; Orejarena *et al.*, 2004;

Por otra parte, en Levitus (1994), se presenta un promedio mensual de temperatura y salinidad de los últimos diez años para tres puntos (9,5N 76,5W; 10,5N 75,5W; 10,5N 76,5W) de la zona (Figura 6). Estos datos señalan que la termoclina y la termohalina se presentan a 100m de batimetría (Figura 7 a 12).

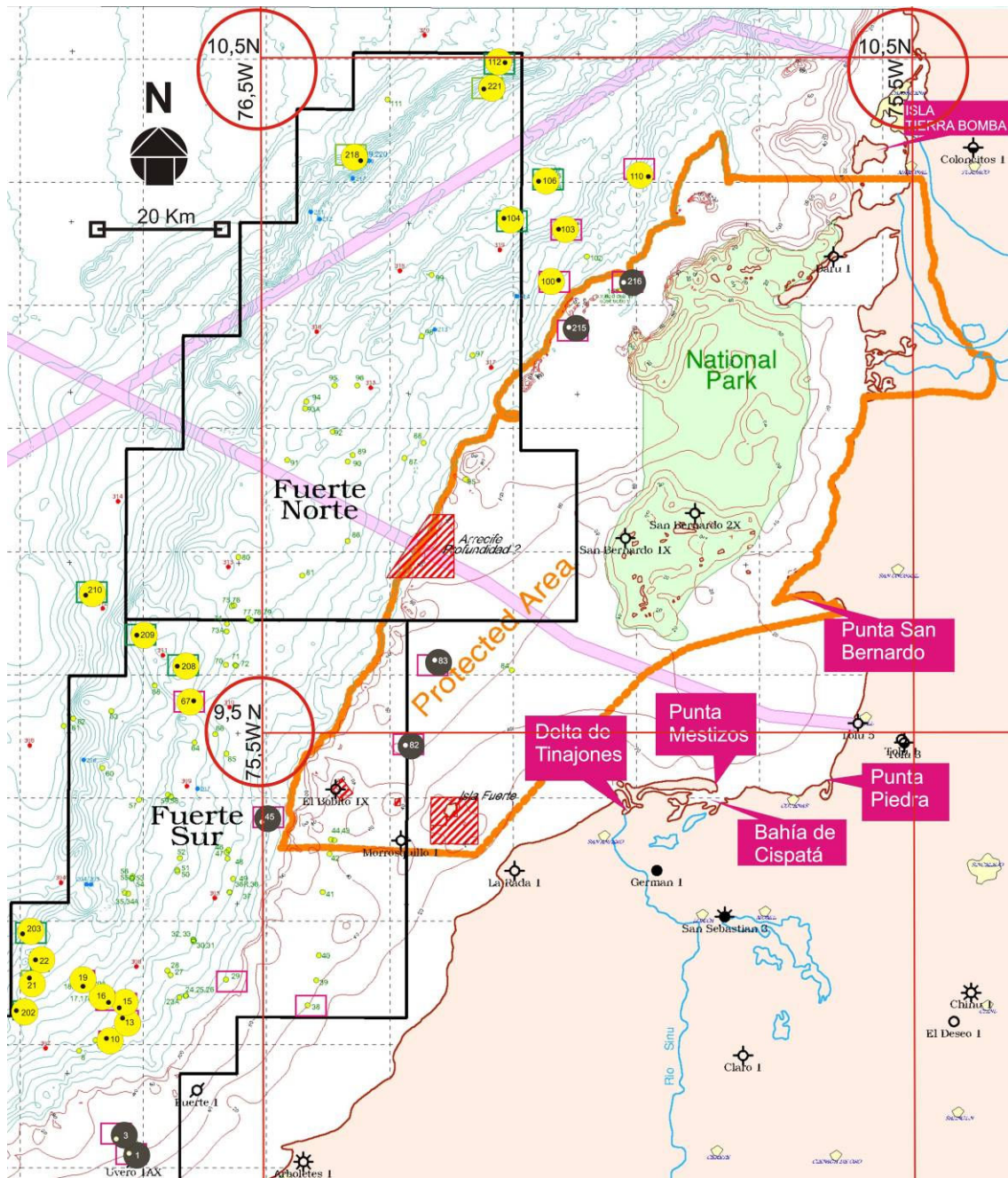


Figura 6. Ubicación de los puntos con información de termoclina y termohalina en la zona de estudio. Muestras con recobro mayor a 300 individuos en amarillo y con menor a 300 individuos en negro. Modificado de Tindale y Risch (2006).

Punto 9,5N 76,5W

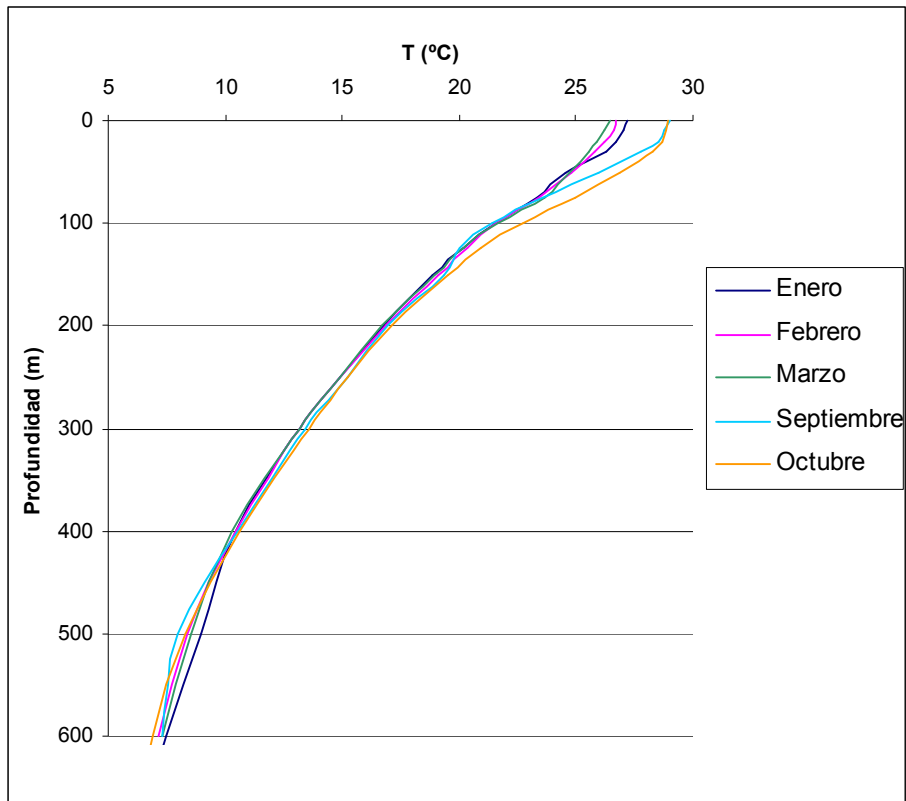


Figura 7. Temperatura contra Profundidad del Punto 9,5N 76,5W. Tomado de Levitus (1994)

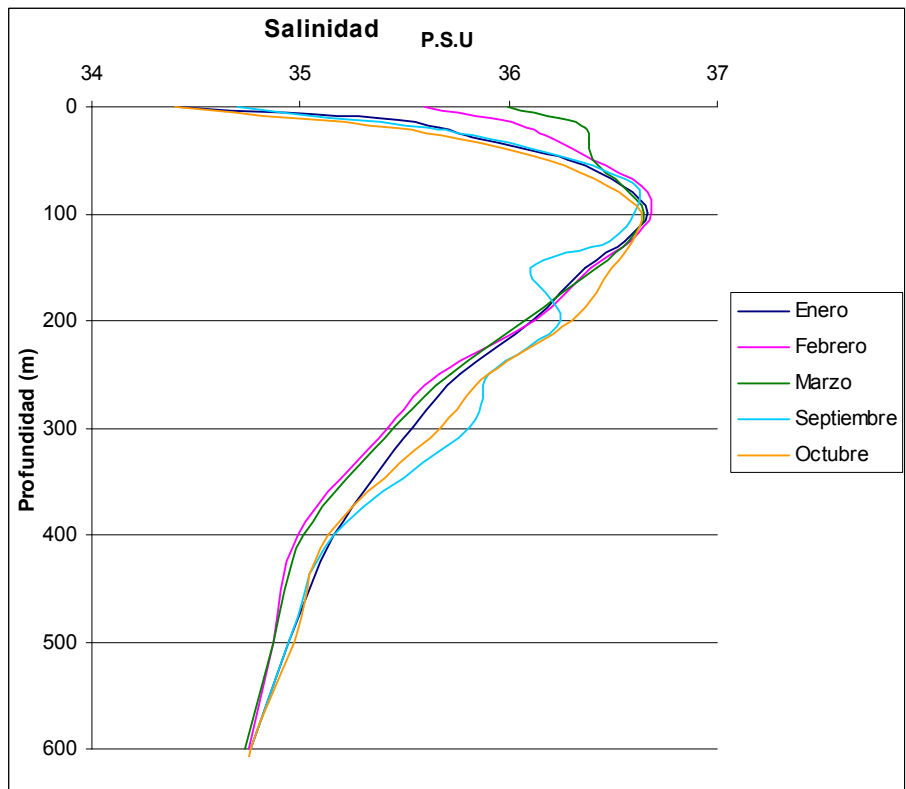


Figura 8. Salinidad contra Profundidad del Punto 9,5N 76,5W. Tomado de Levitus (1994)

Punto 10,5N 76,5W

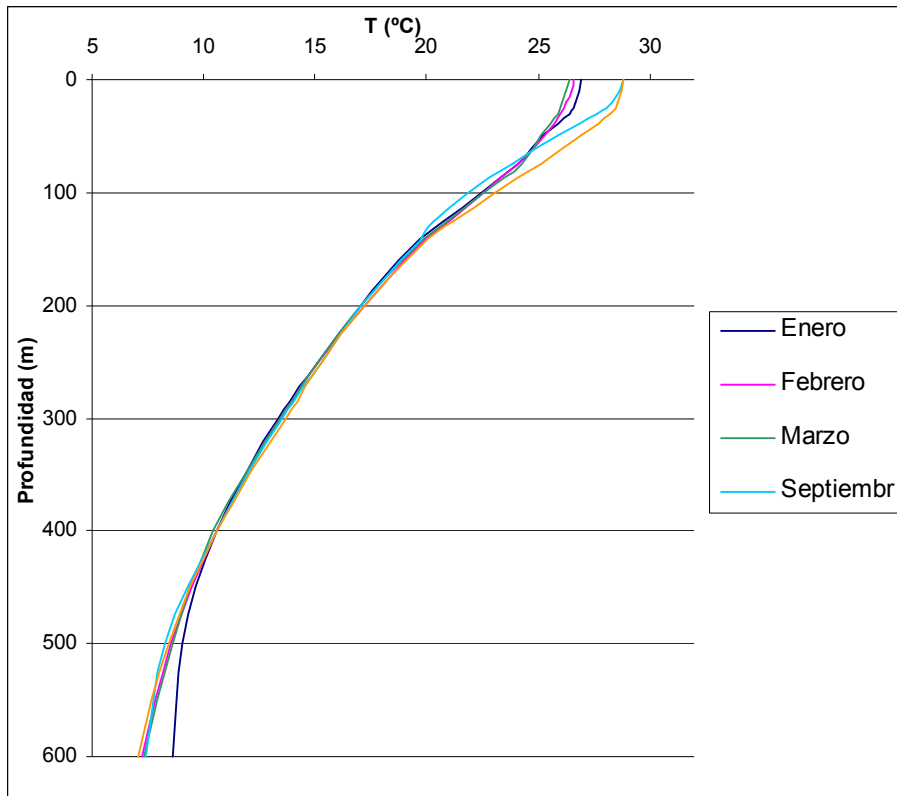


Figura 9. Temperatura contra Profundidad del Punto 10,5N 76,5W. Tomado de Levitus (1994).

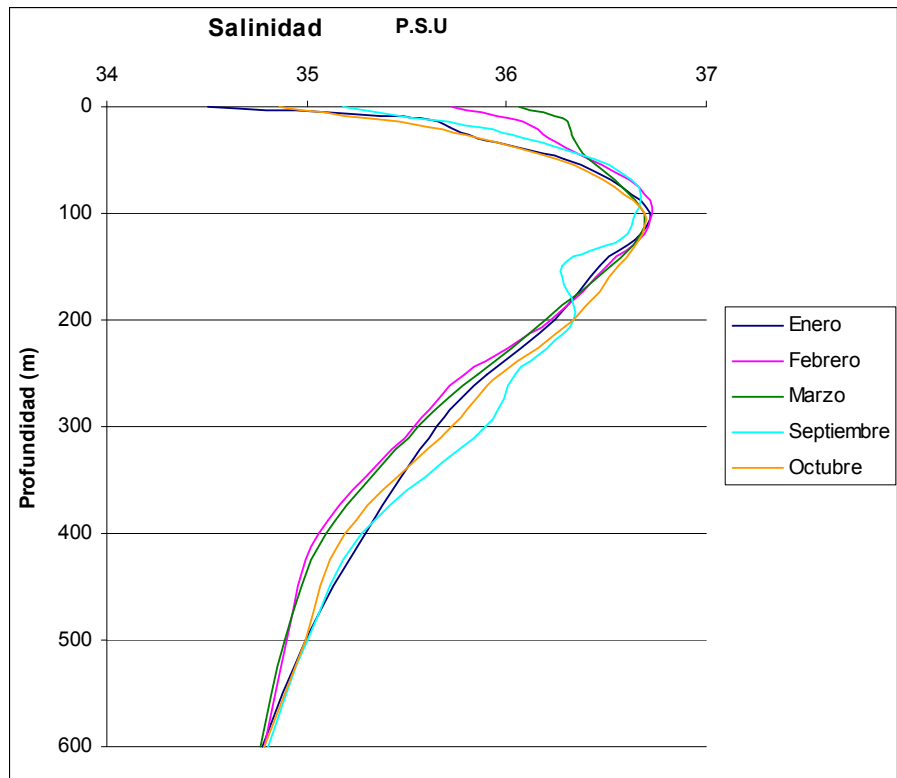


Figura 10. Salinidad contra Profundidad del Punto 10,5N 76,5W. Tomado de Levitus (1994)

Punto 10,5N 75,5W

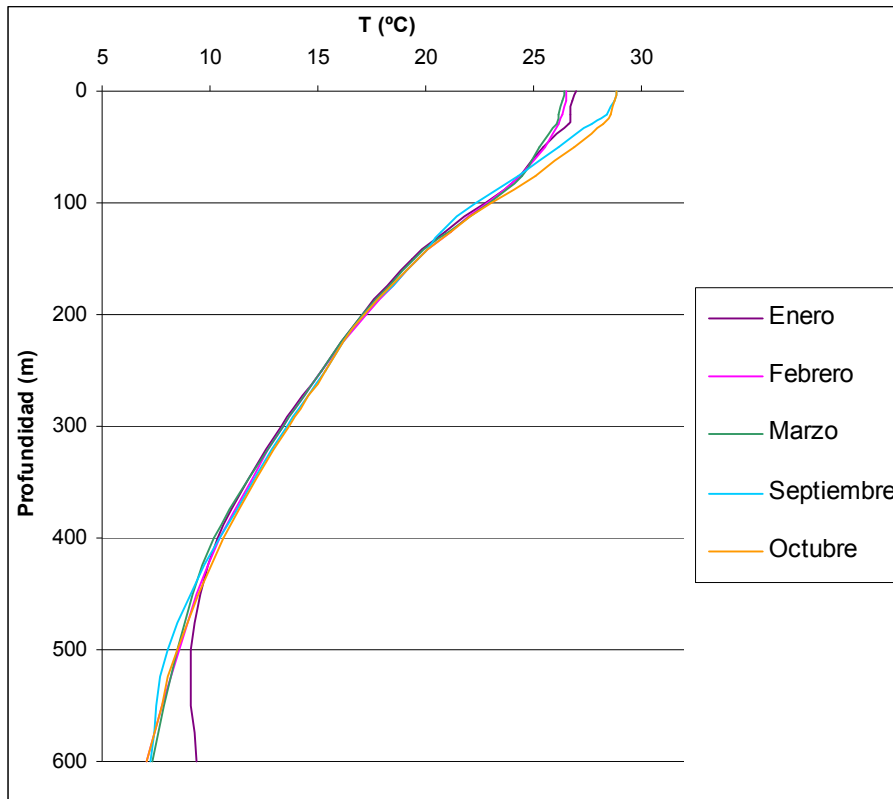


Figura 11. Temperatura contra Profundidad del Punto 10,5N 75,5W. Tomado de Levitus (1994)

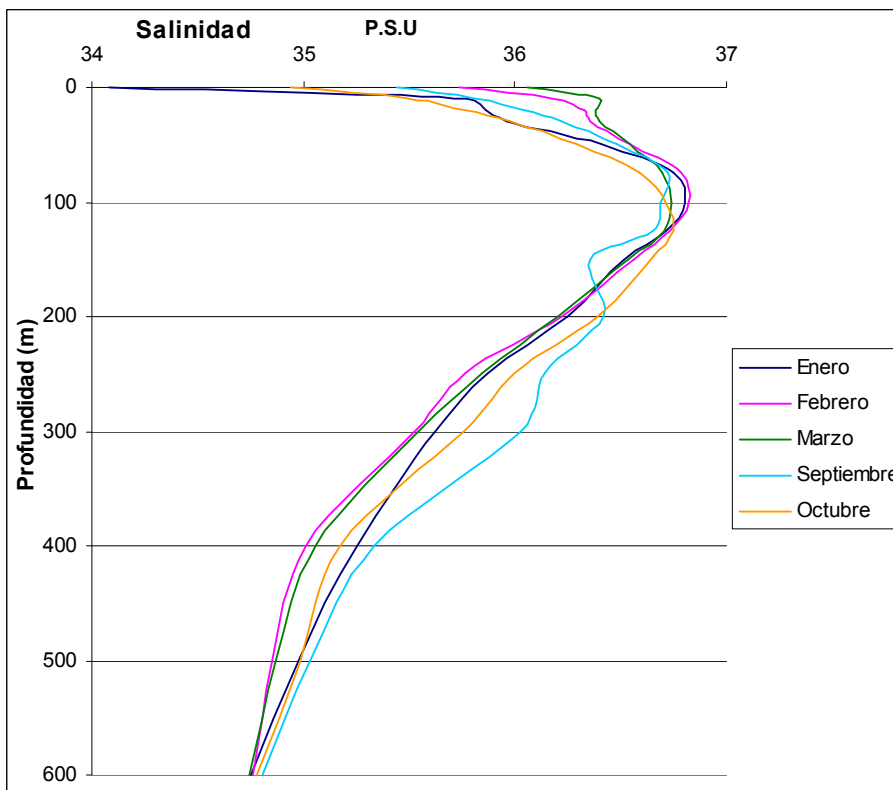


Figura 12. Salinidad contra Profundidad del Punto 10,5N 75,5W. Tomado de Levitus (1994).

3. ESTUDIOS ANTERIORES DE RADIOLARIOS EN SUDAMERICA Y EL CARIBE

McMillen and Casey (1977), estudiaron los radiolarios polycystinos en el Golfo de México y Mar Caribe; encontraron que dichas zonas presentan una productividad primaria baja y que la diversidad disminuye al aumentar la profundidad. Determinaron que la distribución porcentual de los radiolarios vivientes en el plancton y la de los caparazones en los sedimentos tiene un alto grado de similaridad.

Además reconocieron los radiolarios que distinguen las masas de agua de las zonas de estudio: *Spongopyle osculosa* para Aguas Profundas del Atlántico Norte (1200 a 4500 m); *Pterocorys bicornis* para las Aguas Intermedias Antárticas (700 a 1200m); *Amphirhopalum ypsilon* y *Thecosphaera entactinata* para Aguas Subsuperficiales Subtropicales; y *Spongaster tetras*, *Spongaster pentas*, *Pterocanium praetextum praetextum*, *Euchitonia elegans*, *Ommatartus tetrathalamus tetrathalamus*, *Pterocorys zancleus* y *Choenicosphaera murrayana* para aguas superficiales.

Haslett (1995), examinó muestras de sedimento superficial del Holoceno en sistemas de surgencia del Pacífico ecuatorial, allí determinó que en áreas de fuerte surgencia la termoclina declina en batimetrías superficiales, mientras que en áreas de surgencia débil o su ausencia, la termoclina declina a grandes profundidades (Figura 13 y 14). Este estudio demostró el potencial del URI para reconstruir sistemas de surgencia en amplias áreas geográficas en el registro geológico.

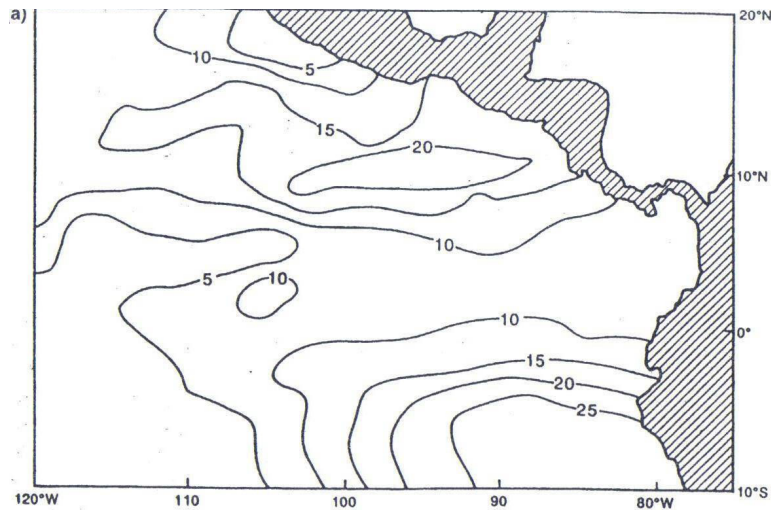


Figura 13. Valores de URI (%) para sedimentos superficiales del Holoceno en el Pacifico Oriental Ecuatorial. Tomado de Haslett (1995).

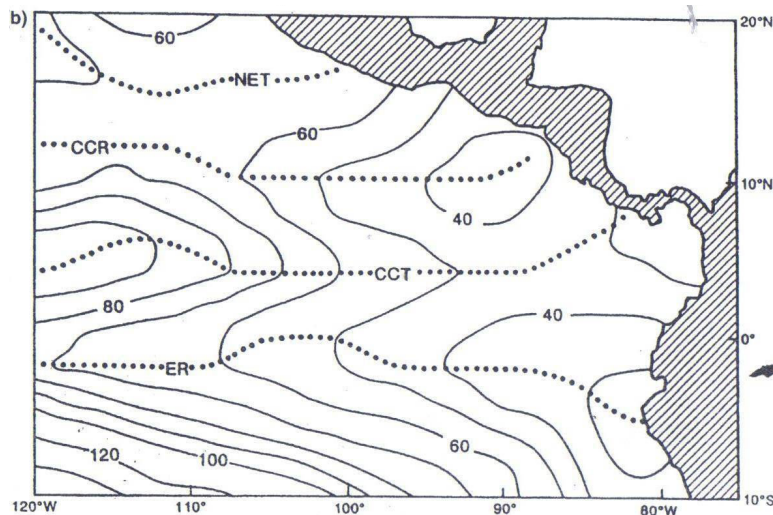


Figura 14. Profundidad de la termoclina en la misma región (de la Figura 13). Tomado de Haslett (1995).

Boltovskoy *et al.* (1995), analizaron muestras planctónicas y trampas sedimentarias del Atlántico Tropical Oriental; allí identificaron 148 taxa de radiolarios polycystinos, indicaron que su distribución geográfica en el área fue homogénea, y que no se presentó una asociación clara relacionada con la latitud, temperatura superficial o salinidad; de lo cual dedujeron que probablemente la advección subsuperficial de caparzones producidos en latitudes altas y la integración de abundancias bajas de radiolarios en intervalos batimétricos grandes son las principales causas de estas

inconsistencias. Además registraron una mayor abundancia de Naselaridos en las trampas sedimentarias.

Boltovskoy and Uliana (1996), analizaron el flujo de microplancton del Atlántico Tropical Nororiental; encontraron que los polycystinos fueron el grupo más abundante, que los naselaridos predominaron sobre los espumelaridos, y que las familias PLAGONIIDAE, THEOPERIDAE, SPYRIIDAE, ARTOSTROBIIDAE Y ACTINOMMIDAE fueron las más importantes. Por otra parte, se indicó que algunas especies de plagoniids, en especial *Arachnocorallium calvata* presenta probablemente una relación con alta productividad primaria debida a surgencia, y además que dicha especie represento más del 57% de los polycystinos de este estudio.

Boltovskoy (1999), realizó un estudio de radiolarios polycystinos, allí explica su morfología, reproducción, distribución geográfica y vertical y señala un método de preparación de placas. También presenta la descripción y clasificación taxonómica de muestras tomadas en el Atlántico Sur.

Toro (2003), analizó muestras del Pacífico Colombiano, allí registró una mayor proporción de espumelaridos, así como una disminución de la abundancia de radiolarios hacia el margen continental, lo cual adjudico posiblemente a la dilución por material terrígeno y transporte por corrientes. Además encontró que *Polysolenia murrayana* fue la especie indicadora de surgencia más abundante.

Bayona y Marín (2007), analizaron los foraminíferos planctónicos y radiolarios de dos núcleos de la Cuenca de Panamá, para los que realizaron su reconstrucción paleoceanográfica (Temperatura Superficial del Océano, surgencia, advección y profundidad del estrato de mezcla); allí identificaron el periodo del *Younger Dryas* y la Pequeña Edad de Hielo, además de continuos eventos de surgencia y de advección

de corrientes frías del Sur. Ellos encontraron una mayor proporción de espumelaridos sobre naselaridos.

Torres *et al.* (2007), realiza actualmente análisis de ambientes de la presente zona de estudio con base a foraminíferos bentónicos, utilizando las mismas muestras coretop que se analizan en el actual trabajo. Se ha indicado un ambiente de baja oxigenación en las muestras del talud medio y superior, ubicadas más arriba de los 1038m; así como se indicó que la muestra G13 (ubicada en la plataforma superior a 588m) presentó fauna de la plataforma, lo cual evidencia transporte de sedimentos, debido posiblemente a la presencia de cañones submarinos.

4. MÉTODOS

El presente trabajo de grado se realizó con base a 30 muestras de sedimento recolectadas por la compañía BHP Billiton con el método de corazón de pistón (piston core), durante septiembre y octubre de 2006, en el Bloque Fuerte, Caribe Colombiano.

Las muestras se distribuyen desde la plataforma media hasta el talud inferior, a través de un intervalo batimétrico de 39 a 2469 m: La descripción de cada muestra se muestra, junto a sus coordenadas y batimetría se presentan en la Tabla 1.

Muestra	Batimetría (m)	Target E	Target N	Descripción del sedimento
G38	39	344665	1006393	Arena arcillosa gris verdoso oscuro (5GY4/1).
G82	58	362433	1048518	Arcilla arenosa gris verdoso oscuro (5GY4/1).
G83	70	367362	1062387	Arena verde oscuro (5G5/1).
G1	72	317690	982318	Arena arcillosa gris verdoso oscuro (5GY4/1).
G3	96	315609	984663	Arcilla arenosa gris verdoso (5G6/1)
B215	135	389018	1116428	Arcilla marrón amarillenta oscuro (10YR 4/2) con fragmentos de corales naranja grisáceo (10YR 7/2).
G29	204	333429	1010567	Arcilla gris verdoso oscuro (5GY 4/1).
G216	220	397995	1123662	Arcillas verde grisáceo (5G5/2) con fragmentos de bivalvos y abundantes ostracodos.
G100	290	387443	1124084	Arcilla gris verdoso (5GY6/1).
G45	389	339325	1036031	Arcilla gris verdoso oscuro (5GY4/1) con fragmentos de conchas.
G110	425	401999	1140828	Arcilla verde oscuro (5G4/1).
G13	588	316815	1004230	Arcilla gris verdoso oscuro (5GY4/1) con fragmentos de gasterópodos
G15	623	316192	1005821	Arcilla-arena fina gris oscuro (N3)
G10	626	314007	1000948	Arcilla verde oscuro (5G5/1).
G16	778	314469	1006704	Arcilla verde oscuro (5G5/1).
G103	940	387282	1132449	Arcilla verde oscuro (5GY5/1).
G19	950	310252	1009322	Arcilla gris oscuro (N3) con presencia de pirita.
G67	999	328062	1055757	Arcilla gris verdosa oscuro (5GY 4/1).
B208	1038	325482	1061358	Arcilla verde oscuro (5G 5/1).

Muestra	Batimetría (m)	Target E	Target N	Descripción del sedimento
G21	1195	301467	1010729	Arcilla gris verdosa oscuro (5GY 4/1).
B202	1233	299402	1005358	Arcilla verde oscuro (5G 4/1).
G104	1320	378565	1134059	Arcilla verde oscuro (5GY5/1).
G22	1321	302515	1013590	Arcilla verde oscuro (5G5/1).
B209	1338	318937	1066431	Arcilla verde oscuro (5G 5/1).
G106	1350	384237	1140161	Arcilla verde oscuro (5G4/1)
B221	1390	375283	1155085	Arcilla marrón oscuro (5YR5/3).
B203	1643	300413	1017775	Arcilla verde oscuro (5G 4/1).
B218	1930	355325	1143443	Arcilla verde oscuro (5GY)
G112	2180	378755	1159316	Arcilla verde oliva claro (5Y5/2)
B210	2469	310603	1072878	Arcilla verde oliva grisáceo (5GY 5/1)

Tabla 1. Descripción, coordenadas (UTM) y batimetría de cada una de las muestras analizadas. Tomada de Torres *et al.*, 2007.

La batimetría se clasifico según Van Morkhoven *et al.* (1986) de la siguiente manera: Plataforma Continental hasta 100m (allí ocurre el cambio de pendiente en la zona de estudio), Talud Superior hasta 600m, Talud Medio hasta 1000m y Talud Inferior hasta 2000m; a partir de esta profundidad se estima que comienza la zona abisal.

De los 2.5 centímetros más superiores del corazón (*core tops*), se tomaron 10 gramos de sedimento para realizar las placas micropaleontológicas de radiolarios polycystinos, el método de preparación que a continuación se presentará, ha sufrido algunas modificaciones con respecto al original, tomado del trabajo de Boltovskoy (1999).

4.1 MÉTODO DE PREPARACIÓN DE PLACAS PARA RADIOLARIOS

- Se toma 10 gramos de muestra (puede oscilar de 5 – 10 gramos), ubicándola en un vaso de precipitado.
- A la muestra ubicada en el vaso se le agrega peróxido de hidrógeno al 10% (300 ml por litro) durante 30 minutos, para eliminar la materia orgánica. El recipiente con muestra y peróxido se deja al “baño María” (un recipiente con agua hirviendo contiene el vaso con muestra), agitando simultánea y cuidadosamente su contenido con un agitador, para acelerar así la reacción.
- Luego de los 30 minutos el recipiente se saca del “baño María” y posteriormente se le agrega pirofosfato de tetrasodio al 10% (10g por litro), dejando en reacción durante 24 horas. Esto permite la disgregación de material arcilloso. Aquí también se acelera la reacción mezclando la solución con un agitador.
- Cumplido el tiempo de la reacción, la solución obtenida se pasa por el tamiz de malla 21 μ m lavando el residuo retenido en el tamiz con agua destilada.
- Después de lavar completamente el residuo, este se pasa a un vaso de precipitado, al cual se agrega ácido clorhídrico al 10% durante 12 horas, esta reacción tiene como objetivo eliminar los carbonatos presentes.
- Posteriormente, dicha solución se vuelve a filtrar en malla 21 μ m, lavando el residuo retenido con abundante agua destilada, con la finalidad de de neutralizar el ácido clorhídrico (HCl), hasta observar que el agua que quede en el vaso de precipitado empieza a quedar limpia.
- El residuo final se ubica en un vaso de precipitado con poca cantidad de agua destilada, con la finalidad de poder pipetear el residuo, ubicándolo en un cubreobjetos. Previamente ha sido aplicada una gota de PVC (alcohol polivinílico) con el fin de adherir el material a montar en la placa.
- El PVC y el residuo se pipetea para que la mezcla se distribuya uniformemente sobre el cubreobjetos.

- Luego el cubreobjetos se ubica en una plancha, para secar la muestra y dejar fijo el material tratado sobre la lámina.
- Cuando dicho cubreobjetos este seco se monta en el portaobjetos con Bálsamo de Canadá, tratando de dejar gruesa la placa para que los caparzones de radiolarios no se destruyan.
- Para evitar que el cubreobjetos de la placa se mueva, es necesario que la placa se ubique en un horno aproximadamente a 40° C durante 24 horas, para que el Bálsamo se pueda curar de manera óptima.
- La preparación de las placas se realizó en las instalaciones del laboratorio de preparación de muestras geológicas del Instituto Colombiano del Petróleo y contó con la colaboración de su equipo humano. Por otra parte este método es una guía para la preparación de placas de microorganismos silíceos, y así quedó registrado en el manual de procedimientos del laboratorio anteriormente mencionado.

4.2 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE RADIOLARIOS

El análisis microscópico consistió en recorrer cada placa hasta contar 300 individuos, simultáneamente se realizó la descripción e identificación, de cada morfotipo, la descripción incluía definir su familia, género y posible especie, describir sus rasgos morfológicos y tomar sus medidas.

La clasificación taxonómica tomo como principal guía el trabajo de Boltovskoy (1999) y se basó en el sistema supragenérico de Riedel (1967, 1971) con ligeras modificaciones (ver Kling, 1978; Boltovskoy, 1981; Anderson *et al.*, 1996), además se apoyo de otros estudios (p. e. Van de Paverd (1995), Takahashi (1991)) y de la base de datos de INTERRAD (Internacional Association of Radiolarian Paleontologists) disponible en la web www.radiolaria.org .

Aunque la literatura presenta claves taxonómicas para radiolarios, estas no se implementaron ya que conllevan a rangos generalizados (familia o género).

Estos análisis fueron realizados en el microscopio de luz transmitida Leica DMLS, en

objetivo de 40X, en las instalaciones de la Universidad EAFIT, Medellín. Por otra parte las fotos fueron tomadas, en los microscopios Carl Zeiss Axioskop 2 plus y Axiostar plus; con objetivos de 20X y 40X (según el tamaño del morfotipo) en las instalaciones del Instituto Colombiano del Petróleo.

4.3 REVISIÓN DE MORFOTIPOS

La revisión e identificación taxonómica se contó con la asesoría de la especialista de radiolarios Doctora Annika Sanfilippo, Profesora de la Universidad de California; quien corrigió y revisó la designación taxonómica de algunos morfotipos, sin embargo no todos fueron revisados, por lo cual a través del catálogo frecuentemente se habla de afinidad de especie.

4.4 DETERMINACIÓN DE PROPORCIONES DE CAPARAZONES (TEST RATIO Y TAXON RATIO)

La determinación de la proporción entre Espumelaridos (S) y Naselaridos (N), tanto de caparazones, como de taxas (incluyendo aquí los grupos taxonómicos) se realizó de la siguiente manera:

(S/N) Test Ratio: Por cada muestra se hizo una relación de los caparazones espumelaridos sobre los caparazones naselaridos. Se considera que esta relación es dominada por los naselaridos cuando da un valor menor a 1.

(S/N) Taxon Ratio: En cada muestra se evaluó el número de taxas espumelaridas sobre naselaridas, y se definió una dominancia espumelarida en valores mayores a 1.

4.5 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SURGENCIA URI

El URI (*Upwelling Radiolarian Index*) es el índice de Surgencia con Radiolarios, este se calcula estableciendo la presencia de especies indicadoras de surgencia, las cuales han sido definidas por Nigrini and Caulet (1992), y están relacionadas con diferentes masas de agua (Tabla 2), por lo que se definen como:

Especies endémicas: Encontradas sólo en sedimentos de sistemas de surgencia

Especies temperadas desplazadas: Comunes en aguas templadas, pero no comunes en aguas tropicales

Especies tropicales reforzadas: Comunes en los trópicos pero se vuelven más frecuentes en presencia de sistemas de surgencia

Categoría	Especies
Especies Endémicas de Surgencia	<i>Actinomma spp. group</i>
	<i>Anthocyrtdium rectidentatum</i>
	<i>Collosphaera sp. Aff. C. huxleyi</i>
	<i>Cypassis irregularis</i>
	<i>Dictyophimus infabricatus</i>
	<i>Eucyrtidium aderces</i>
	<i>Eucyrtidium erythromystas</i>
	<i>Inversumbella macroceras</i>
	<i>Lamprocyclus hadros</i>
	<i>Lamprocyclus maritales ventricosa</i>
	<i>Phormostichoartus schneideri</i>
	<i>Plectacantha cremastoplegma</i>
	<i>Pseudocubus warreni</i>
	<i>Pterocanium grandiporus</i>
Especies Temperadas Desplazadas	<i>Acrosphaera murrayana group</i>
	<i>Pentopylonium implicatum</i>
	<i>Pterocanium aritum</i>
Especies Tropicales Reforzadas	<i>Lamprocyrtis nigrinae</i>
	<i>Lithostrobus of L. hexagonalis</i>
	<i>Phormostichoartus caryoforma</i>
	<i>Phormostichoartus crustula</i>
	<i>Pterocorys minythorax</i>

Tabla 2. Especies indicadoras de surgencia, Nigrini y Caulet (1992). En negrilla las especies que posiblemente se presentan en el estudio y con las que se calculó el URI.

Para obtener los valores de URI, el procedimiento en cada muestra consistió en:

1. Realizar un recuento de 300 caparazones.
2. Convertir en porcentaje las abundancias de cada especie.
3. Identificar las especies indicadoras de surgencia (Tabla 7) y luego sumar los pesos en porcentaje de dichas especies (dicho valor será el valor del URI).

Como se observa, es vital tener certeza de las especies que se presentan en el estudio, para así determinar si entre éstas hay indicadoras de surgencia y poder calcular el URI, debido a lo anterior el grado de confianza del URI determinado es debatible.

4.6 ÍNDICE DE DIVERSIDAD ECOLÓGICA

Para el cálculo de los índices ecológicos (Diversidad de Shanon, Dominancia, Equidad de Simpson y Riqueza) se uso programa PAST (versión 1.68).

El índice de diversidad de Shanon H , puede ser definida como una medida de composición de especies (Legendre y Legendre, 1998) o morfotipos en el caso de este estudio, en términos del número de especies y su abundancia relativa:

$$H = \sum_{i=1}^q p_i \log p_i$$

Donde p_i es la frecuencia relativa o proporción de especies i .

H es igual a cero cuando la muestra contiene una sola especie y se incrementa con el número de especies (hasta un valor máximo de 5). La interpretación probabilística de H se refiere a la incertidumbre de la identidad de un organismo escogido al azar en una muestra. La incertidumbre es menor cuando la muestra es dominada por pocas especies o cuando el número de especies es pequeño. Esta situación corresponde a un H bajo (Legendre y Legendre, 1998).

Por otra parte, la equidad caracteriza la forma de distribución del número de especies, presenta valores de 0 a 1, es inversamente proporcional a la dominancia y sus valores

oscilan de 0 a 1. Finalmente el número de especies o Riqueza puede ser una función de estabilidad del ambiente (Legendre y Legendre, 1998).

4.7 MODELO EN 3D DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para una mejor comprensión de la zona de estudio y buscando visualizar una posible relación entre topografía e índice de diversidad, se realizó un modelo 3D de la zona de estudio.

- Se partió de la imagen del mapa, entregada por la compañía BHP Billiton. La imagen se convirtió a escala de grises y se amplió su lienzo, para lo que se implementó Corel Draw X3 (versión 13), luego se georreferenció y vectorizó en el programa R2V (versión 5.0.4).
- Partiendo de la imagen vectorizada se crearon las isobatas con su respectivo valor batimétrico, utilizando el programa AutoCAD Map 2000.
- Luego se implementó el programa SIG SPRING (versión 4.3.3) para poder visualizar los errores cometidos en la creación de las isobatas.
- Finalmente se visualizó en 3D en el programa en Arcview GIS (Figura 15) y SIG GRASS (versión 6.2) (Figura 16), para comparar que programa presentaba mejor visualización.

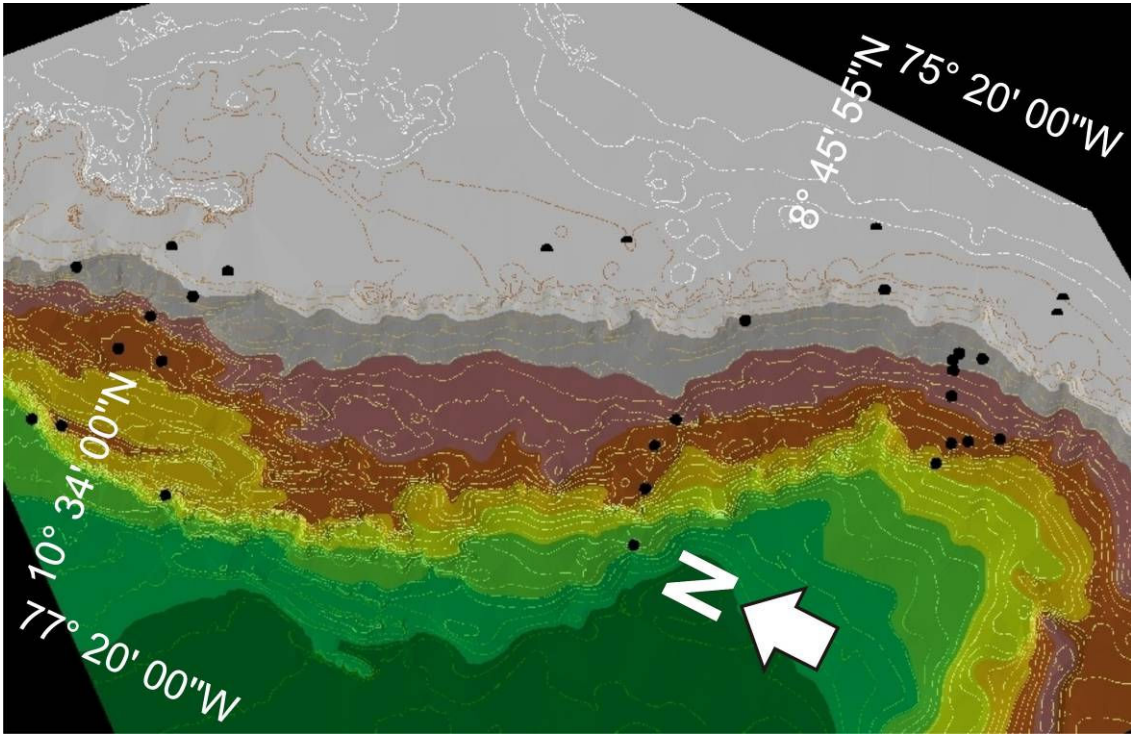


Figura 15. Modelo 3D de la zona de estudio en ArcGIS.

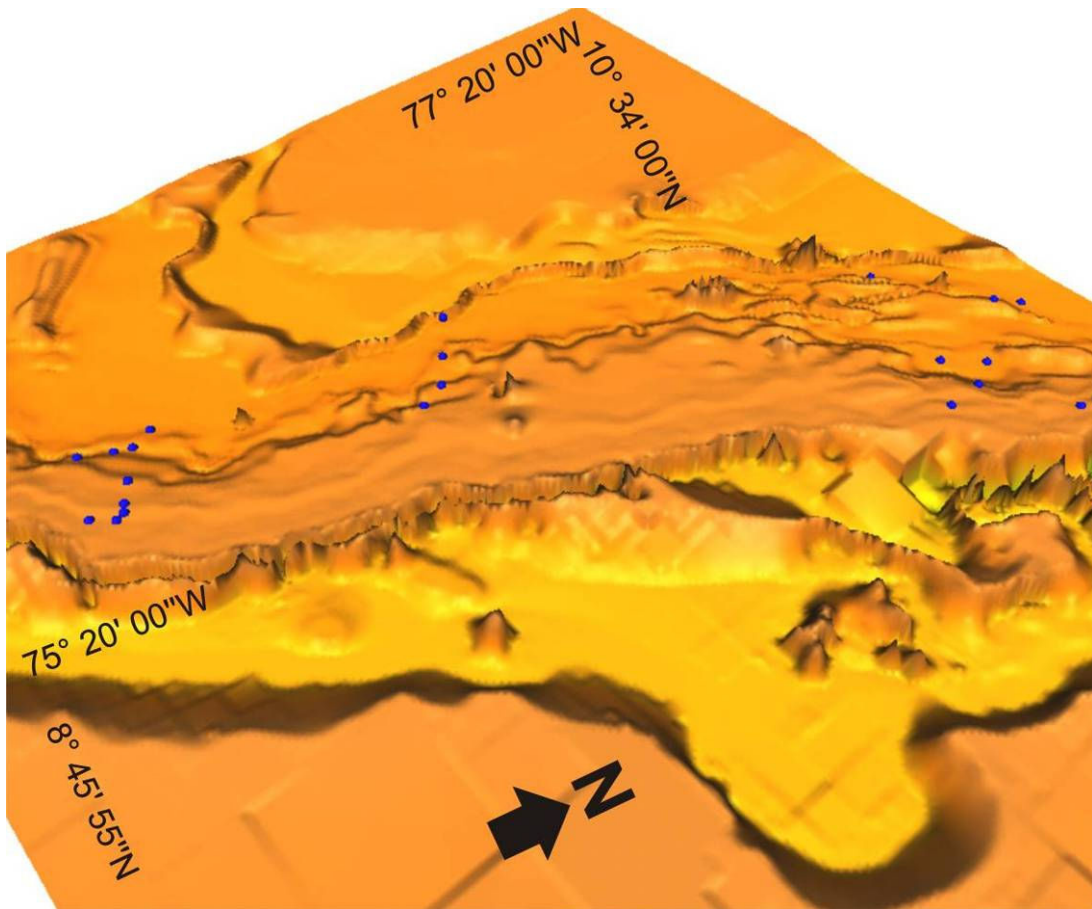


Figura 16. Modelo 3D de la zona de estudio en GRASS.

5. SISTEMÁTICA DE RADIOLARIOS

Los radiolarios son protoctistas silíceos exclusivamente marinos, microorganismos holoplanctónicos que forman parte del zooplancton. Durante su vida están provistos de filamentos protoplasmáticos radiados (de donde nace su nombre) (Figura 17), que les sirve para atrapar sus presas (zooplancton, fitoplancton, algas y detritos) y en su flotación; pero es la presencia de un caparazón o exoesqueleto silíceo el principal atributo para identificar las especies sedimentadas o fosilizadas (Campbell 1954; Kudo 1969).

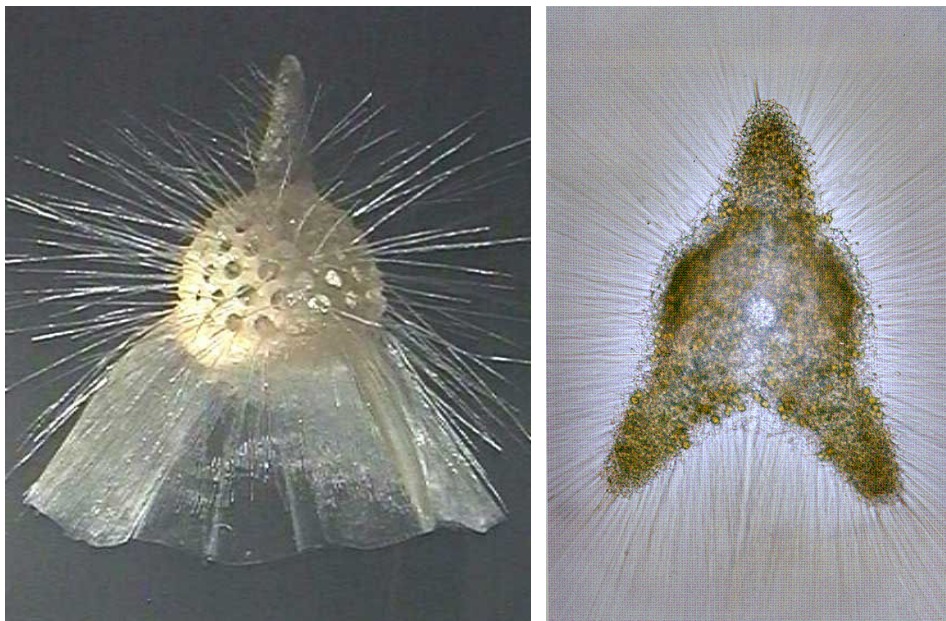


Figura 17. Radiolarios naselaridos con sus pseudopios citoplasmáticos. Tomado de Matsuoka, 1993.

Armstrong y Brasier (2005), señalan que dentro del Filo RADIOZOA las Clases Acantharia, Phaeodaria y Polycystina presentan en común, una cápsula o esfera central; pero estas Clases difieren en la composición química de sus esqueletos, siendo de sulfato de Estroncio (SrSO_4) en la clase Acantharia (se disuelve fácilmente en agua de mar); 95% de composición orgánica y 5% de opalina silíceo en el orden Phaeodaria y de sílice amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) en la clase Polycystina.

Por dicha composición los polycystinos son los radiolarios con mayor grado de preservación en sedimentos y registro fósil, y presentan un rango geológico del Cámbrico hasta el presente.

5.1 BIOLOGÍA

Los radiolarios son unicelulares, su tamaño varía entre 50- 200 μ m de diámetro y según Deflandre (1967), ciertas especies tienen varios milímetros de diámetro, con asociaciones en colonias extendidas en metros de longitud. Según Armstrong y Brasier (2005), su citoplasma se divide en: ectoplasma (cápsula externa) y endoplasma (cápsula interna), separadas por una membrana orgánica perforada llamada cápsula central. (Figura 18).

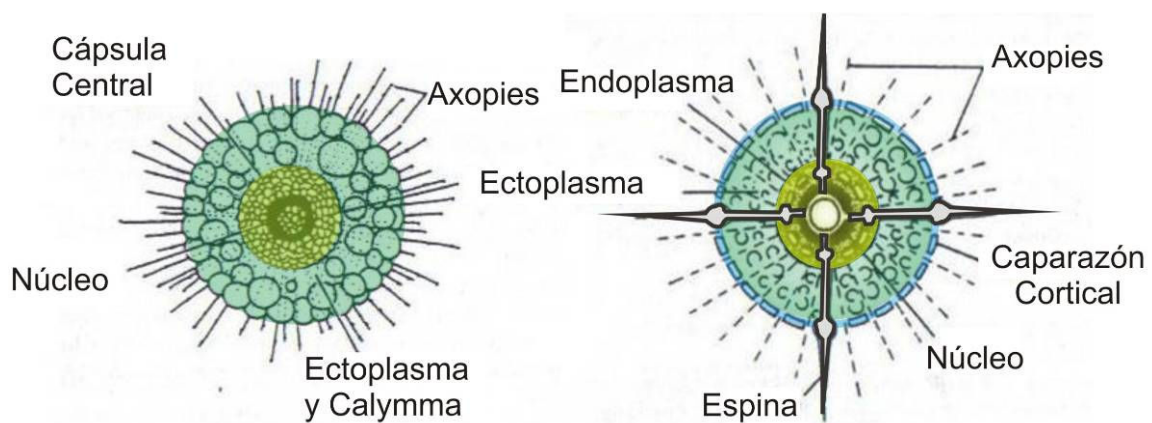


Figura 18. Características morfológicas de los radiolarios. Modificada de Armstrong y Brasier (2005).

Los radiolarios se reproducen asexualmente por fisión simple y se asume que sexualmente por gametogénesis (no ha sido confirmada) (Boltovskoy, 1999).

Crecen añadiendo elementos rotos a su esqueleto, su vida media es aproximadamente de 2 semanas a 1 mes, y son el taxonómicamente el grupo más diverso de los protozoos marinos planctónicos, lo que hace su reconocimiento taxonómico un trabajo altamente complejo (Armstrong y Brasier, 2005).

5.2 ECOLOGÍA Y APLICACIONES

Los radiolarios se presentan de polo a polo y de batimetrías superficiales a abisales; sin embargo ellos prefieren condiciones oceánicas, ya que en márgenes continentales los caparazones son diluidos por acción del material terrígeno (ver Armstrong y Brasier, 2005).

Preferiblemente se presentan hacia el talud continental y en océanos profundos, en regiones influenciadas por surgencia donde las corrientes superficiales divergentes suben nutrientes de profundidades donde el alimento planctónico es abundante (Casey, 1993).

Se manejan de 400 a 500 especies comunes, presentando su mayor diversidad y abundancia en latitudes ecuatoriales; sin embargo, algunas especies dominantes de altas latitudes a poca profundidad, aparecen también en aguas frías a grandes profundidades cerca al Ecuador (Ver Casey, 1993; Armstrong y Brasier, 2005).

Los radiolarios espumelaridos dominan la zona fótica (< 200 metros), y zonas de plataforma “nearshore”, siendo las formas esféricas y discoidales los principales mecanismos para reducir el hundimiento, además de presentar afinidad por aguas con baja salinidad (Casey, 1993; Kling, 1978).

Por su parte, los Naselaridos dominan las profundidades por debajo de los 2000 metros y las zonas de océano abierto, se adaptan a áreas con corrientes de aguas ascendentes y presentan afinidad a condiciones de alta salinidad (ver Benson, 1966; Boltovskoy & Jankilevich, 1985).

Estos microorganismos se implementan para describir límites geográficos o reconstruir la paleoceanografía de una región, ya que su distribución esta relacionada a la circulación oceánica, y además son indicadores de masas de agua oceánicas, temperatura del agua, disponibilidad de nutrientes y procesos físicos como surgencia (e.g. Casey, 1993; Haslett, 1995).

5.3 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN

El primer sistema de clasificación de radiolarios lo produjo Haeckel (1887), allí abarcó cerca de 3000 especies (2400 especies nuevas), y la realizó basado en las similitudes morfológicas, sin tener en cuenta la continuidad en el registro fósil, demostrable a través de secuencias evolutivas, por lo que muchas de sus especies descritas son morfotipos ligeramente diferentes entre si, o etapas de desarrollo de un mismo organismo (Boltovskoy, 1999).

A pesar de estos errores y del tiempo transcurrido, los avances hacia un mejor sistema de clasificación han sido pocos y los intentos por lograrlo, se han dividido en métodos citológicos y estudios evolutivos.

Las clasificaciones basadas en las características del citoplasma (p. e. Hollande and Enjumet (1960), Cachon and Cachon (1972), Petrushevskaya (1981)) no son aplicables a fósiles y materiales subfósiles; pero los análisis de linajes evolutivos en secuencias geológicas han tenido éxito al definir caracteres para la clasificación.

Es así como Riedel y Sanfilippo (1986), evaluaron los rasgos más importantes utilizados por Haeckel, implementando la prueba evolutiva. Ellos concluyen que algunos de ellos (p. e., número de segmentos, de esferas concéntricas, presencia y naturaleza de las torácicas) no tienen valor supragenérico y que otros (la estructura cefálica, el arreglo de poros, terminaciones del caparazón en Naselaridos, etc), considerados de menor importancia, se conservan a través del tiempo, por lo que son relevantes para divisiones de alta jerarquía.

De los sistemas de clasificación hechos en base a características esquelétales, sólo el sistema supragenérico de Riedel (1967, 1971) (Figura 19), ha tenido una amplia aceptación para radiolarios existentes y Cenozoicos, y es el adoptado en este trabajo (con ligeras modificaciones; ver también Kling, 1978; Boltovskoy, 1981; Anderson *et al.*, 1996).

Sin embargo, esta clasificación no resuelve muchos de los problemas planteados, por lo que se debe implementar provisionalmente.

Además de los rangos taxonómicos reconocidos, el presente análisis taxonómico también implemento los “Grupos morfológicos”. El arreglo de taxon dentro de los grupos morfológicos, facilita la comparación de las principales características de los diferentes grupos y también permite el reconocimiento de semejanzas, similaridades y diferencias menores entre los taxa del mismo grupo.

Con excepción de algunas especies abundantes y cosmopolitas, por lo que sus nombres son bien asignados, frecuentemente la nomenclatura binomial aislada no puede precisar inequívocamente un morfotipo, ya que nombres diferentes son aplicados a una misma especie, e inversamente, organismos idénticos son reportados bajo diferentes nombres específicos e incluso genéricos (Boltovskoy y Jankilevich, 1985, Boltovskoy 1999).

Kingdom Protista Haeckel, 1886
Phylum Sarcodina Hertwig and Lesser, 1876
Class Actinopoda Calkins, 1909
Subclass Heliozoa Haeckel, 1886
Subclass Acantharia Müller, 1858
Subclass Radiolaria Müller, 1858
Superorder Phaeodaria Haeckel, 1879
Superorder Polycystina Ehrenberg, 1838, emend. Riedel, 1967
Order Collodaria Haeckel, 1881
Family Thalassicollida Haeckel, 1862
Family Collozoida Haeckel, 1862
Family Thalassosphaerida Haeckel, 1862
Family Sphaerozoida Haeckel, 1862
Order Spumellaria Ehrenberg, 1875
Family Collosphaeridae Müller, 1858, emend. Strelkov and Reshetnjak, 1971
Family Actinommiidae Haeckel, 1862, emend. Sanfilippo and Riedel, 1980
Family Coccodiscidae Haeckel, 1862, emend. Sanfilippo and Riedel, 1980
Family Phacodiscidae Haeckel, 1881
Family Spongodiscidae Haeckel, 1862, emend. Riedel, 1967
Family Litheliidae Haeckel, 1862
Family Pyloniidae Haeckel, 1881
Family Tholoniidae Haeckel, 1862
Order Nassellaria Ehrenberg, 1875
Family Spyridae (=Trissocyclidae, Acanthodesmiidae) Ehrenberg, 1847, emend. Petrushevskaya, 1971
Family Plagoniidae Haeckel, 1881, emend. Riedel, 1967
Family Theoperidae Haeckel, 1881, emend. Riedel, 1967
Family Carpocaniidae Haeckel, 1881, emend. Riedel, 1967
Family Pterocorythidae Haeckel, 1881, emend. Riedel, 1967
Family Artostrobiidae Riedel, 1967, emend. Foreman, 1973
Family Cannobotryidae Haeckel, 1881, emend. Riedel, 1967

Figura 19. Esquema de la sistemática propuesta por Riedel (1967, 1971) con ligeras modificaciones (Kling, 1978; Boltovskoy, 1981e; Anderson et al., 1996).

Debido a que una proporción substancial de las descripciones originales de las especies están en publicaciones antiguas, difíciles de conseguir; algunos autores encuentran mejor crear “nuevas especies” para caparazones poco usuales encontrados en placas, que buscar en los libros viejos un nombre adecuado ya

establecido (Boltovskoy, 1999). Es por esta razón que en la taxonomía radiolaria al mencionar un género o especie se hace referencia al primer autor.

5.4 MORFOLOGÍA RADIOLARIA

Los radiolarios polycystinos se diferencian como Espumelaridos debido a su esqueleto con simetría esférica, o en Naselaridos gracias a su simetría no esférica, usualmente bilateral (Casey, 1993). Figura 20 y 21.

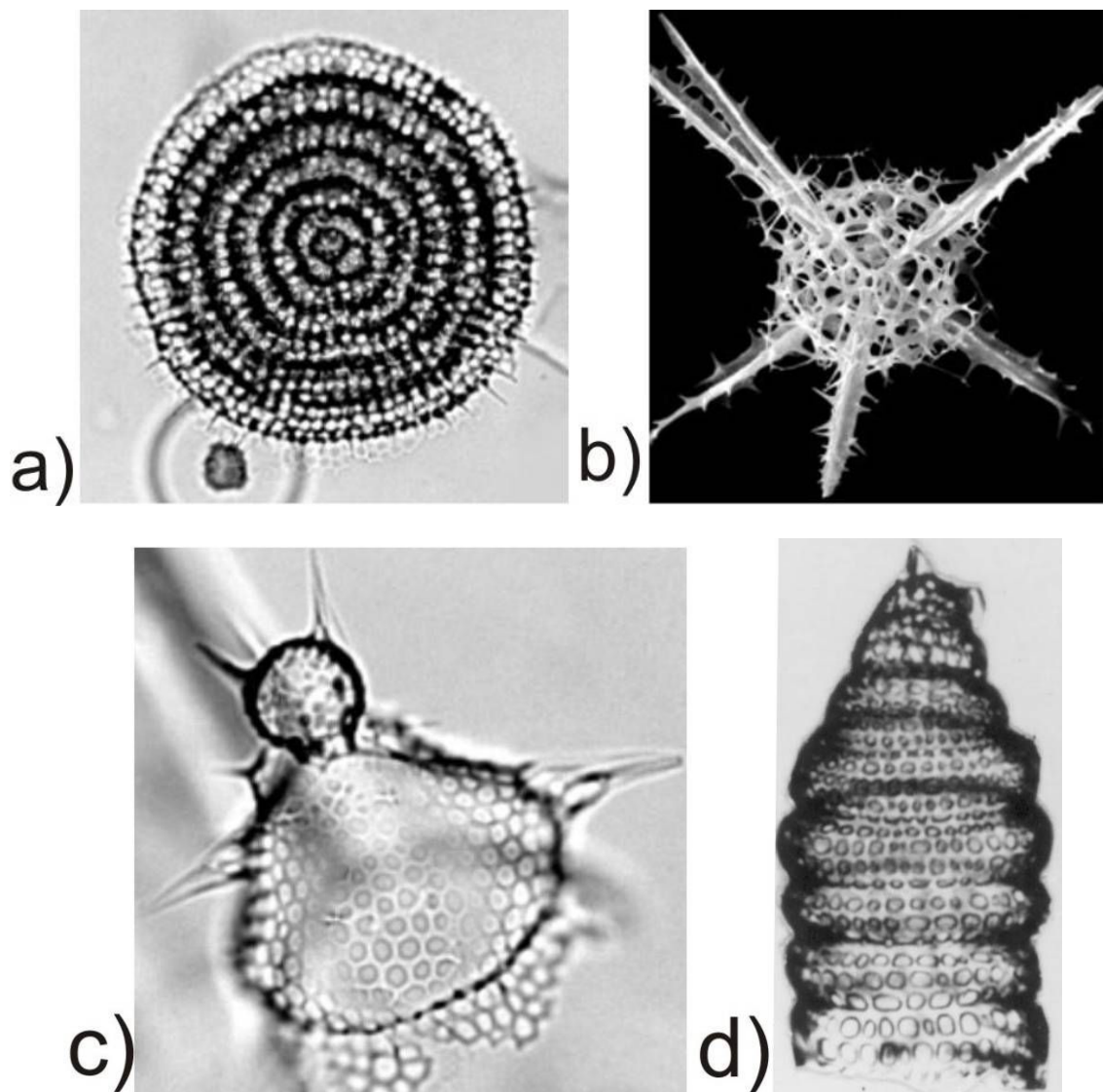


Figura 20. Ejemplos de radiolarios polycystinos. Espumelaridos (a y b) y Naselaridos (c y d).

Tomado de www.radialaria.org

Los esqueletos polycystinos consisten en un sistema de estructuras interconectadas por barras, con elementos como espinas y poros que en conjunto desarrollan una compleja variedad de formas. Los caparazones internos se denominan caparazones medulares, mientras que el caparazón más exterior de una estructura multicorazada o una forma unicorazada se denomina caparazón cortical.

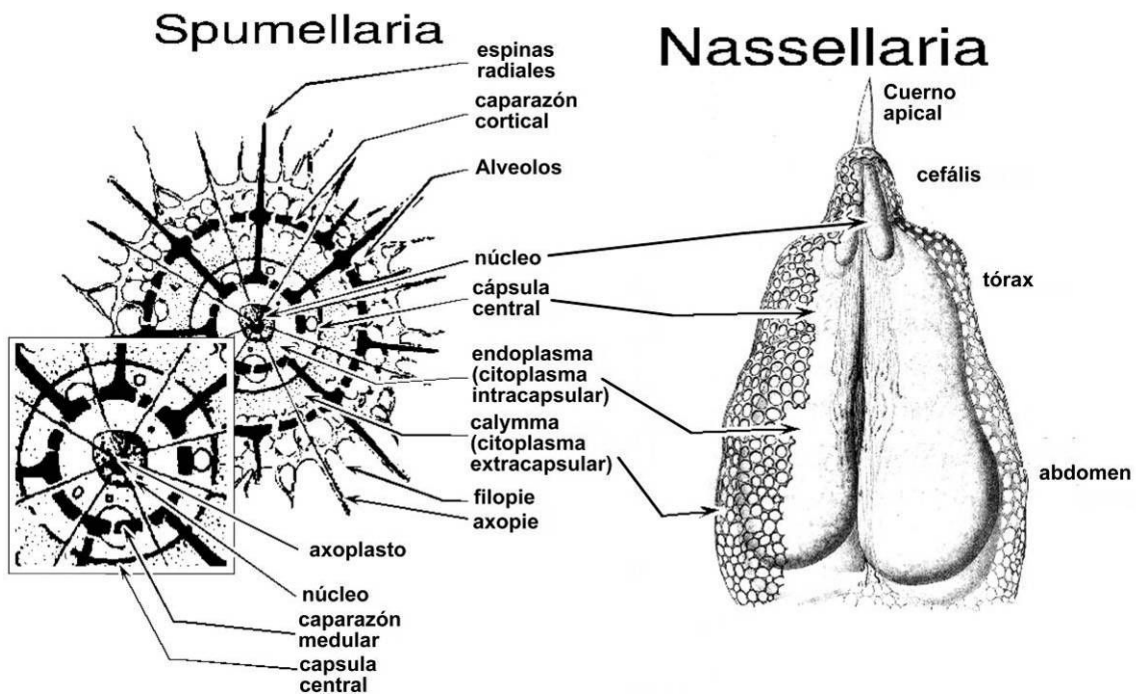


Figura 21. Características principales de las células polycystinas A) Espumelaridas y B) Naselaridas. Modificado de Kling (1978) y Boltovskoy (1981).

Para un mejor entendimiento de la morfología radiolaria a continuación se explicaran en que consiste cada elemento estructural:

1) Espinas: Estructuras radiales con una terminación libre. **Espinas Principales:** Son centrípetas, generalmente grandes y están unidas a otros elementos esquelétales como caparazones concéntricos; pueden estar ramificadas densamente o sostener más espinas u otros tipos de ornamentación. Las espinas principales tienen forma cilíndrica (varas), cónica o pueden subdividirse y presentarse de 3- filos; las

variaciones en su diámetro puede ser gradual o abrupto (Van de Paverd, 1995)
 (Figura 22).

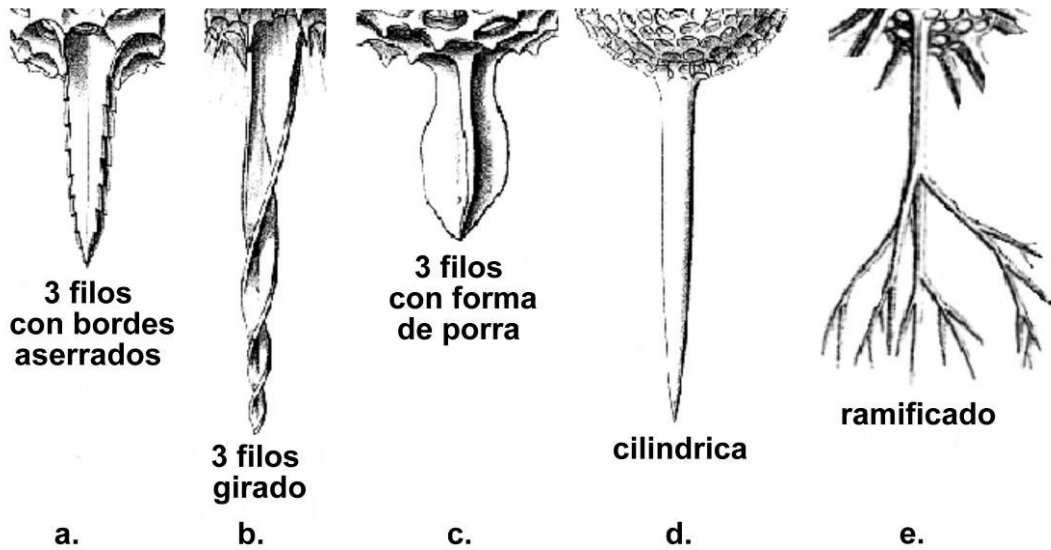


Figura 22. Espinas Principales: a) 3- filos aserrada; b) 3-filos girada; c) 3-filos como palo; d) cilíndrica y e) ramificada. Tomado de Boltovskoy (1999).

Por otra parte las espinas en los naselaridos se clasifican de acuerdo a su ubicación.

Figura 23.

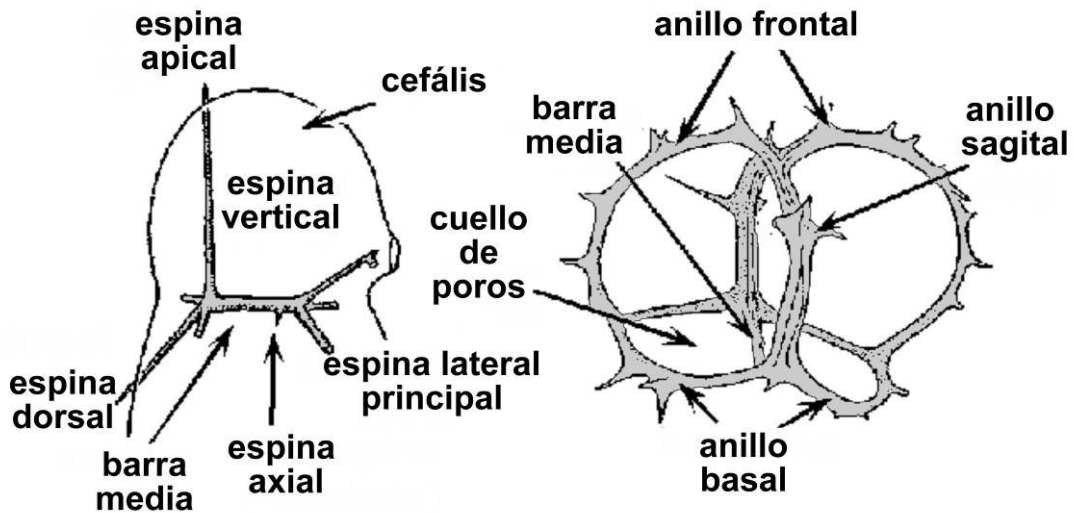


Figura 23. Tipos de espinas según su ubicación en naselaridos. Tomado de Boltovskoy (1999).

Espinas Secundarias: son sencillas, generalmente más pequeñas que las principales, y están restringidas a la superficie de un gran elemento estructural como

un caparazón o una espina principal (Van de Paverd, 1995). Por otro lado las espinas en los naselaridos no se clasifican por su forma, sino por su ubicación (ver Boltovskoy, 1999) (Figura 24).

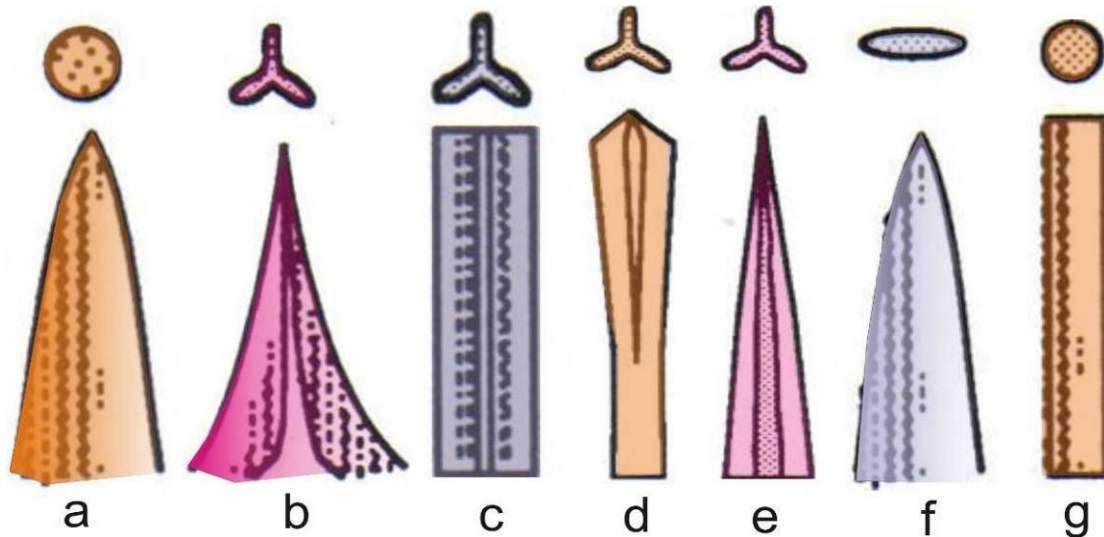


Figura 24. Forma de espinas principales y secundarias (5 primeras). Tomado de Van de Paverd (1995).

2) Barras: Elementos estructurales con cierta extensión lateral (generalmente más largas que anchas) conectadas a otros elementos en ambas terminaciones. Se conocen como barras principales aquellas que conectan diferentes elementos estructurales y barras menores; bloques construidos de y dentro de un solo elemento estructural (Van de Paverd, 1995) (Figura 25).

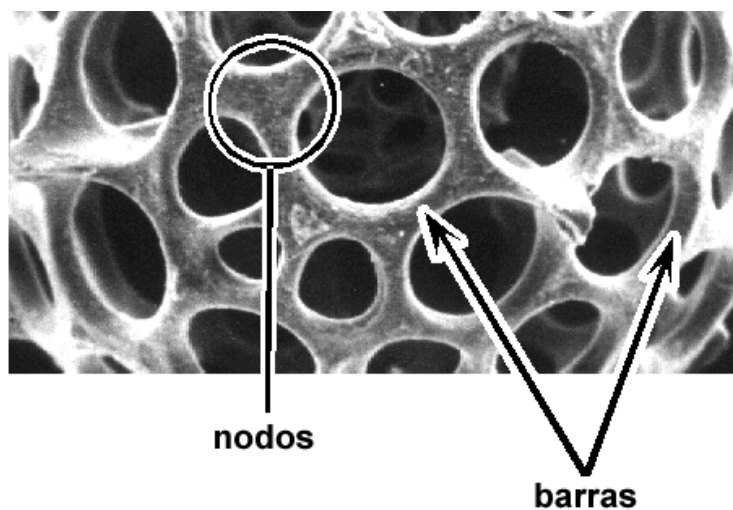


Figura 25. Se muestran barras, nodos y poros circulares. Tomado de Boltovskoy (1999).

Las **barras menores** pueden ser subdivididas basándose en la forma de su corte transversal, este puede ser: rectangular, redondeado a circular, triangular, de tres filos, con forma de “T”, o con forma de “I” (Van de Paverd, 1995) (Figura 26).

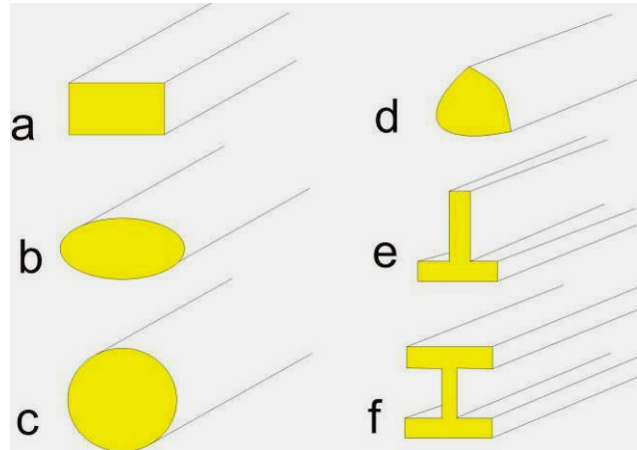


Figura 26. Barras menores; a) Rectangular; b) Ovoide; c) Circular; d) Triangular; e) Forma-T y f) Forma-I. Tomado de Van de Paverd (1995).

3) Poros: Aplicado a cualquier abertura relativamente pequeña. Término restringido a las aberturas en elementos esquelétales con una extensión radial limitada (caparazones enrejados, esponjosos y placas microperforadas). Con excepción de los pequeños poros circulares ($<1 \mu\text{m}$) de las “placas microperforadas”, los poros usualmente varían de tamaño en el caparazón (Van de Paverd, 1995) (Figura 27).

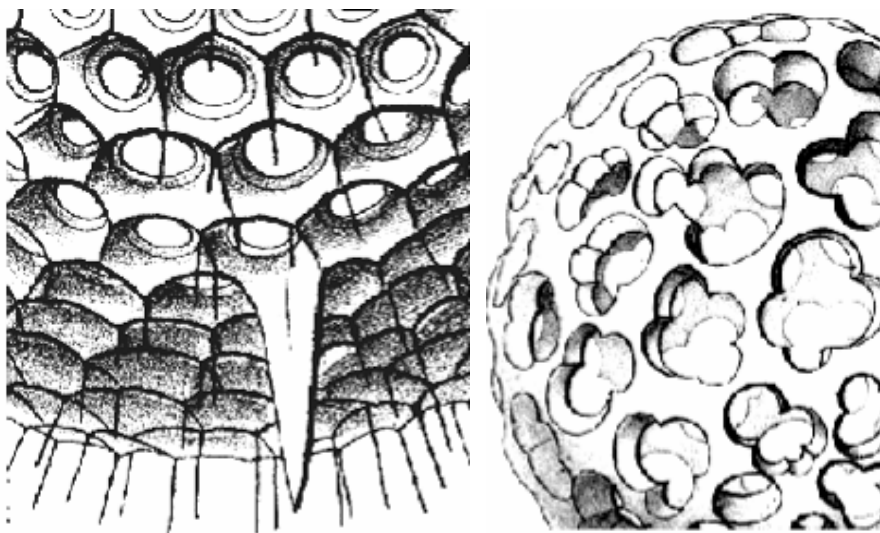


Figura 27. Poros con forma hexagonal y roseta. Tomado de Bolotovskoy (1999).

Los caparazones lisos tienen poros bien definidos, clasificados de acuerdo a su contorno como poros circulares, subangulares o angulares (Van de Paverd, 1995).

Se han descrito los tres elementos básicos de la morfología de radiolarios, sin embargo, a partir de estos elementos se desarrollan otras características como el Patrón de Poros, Tipos de Pared y Forma del caparazón. Para diferenciar la mayoría de estas características se requiere de una amplia experiencia en morfología radiolaria, por lo que no se pudieron describir en varios de los morfotipos analizados. Sin embargo, a continuación se explica a manera general en que consisten:

4) Patrón de Poros: Depende de una distancia relativa entre el centro de cada poro al centro de sus vecinos cercanos, sin tener en cuenta el tamaño del poro. En los paquetes hexagonales hay seis poros cercanos con una misma distancia entre sí. El paquete cúbico presenta cuatro poros cercanos y en el paquete lineal hay dos poros, mientras que el patrón de poros irregulares presenta la distancia variable entre los centros (Van de Paverd, 1995) (Figura 28).

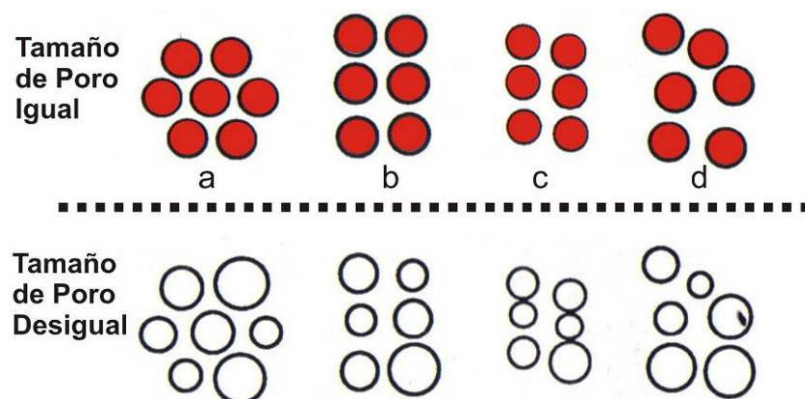


Figura 28. Patrón de poros; a) Paquete Hexagonal, b) Paquete Cúbico, c) Paquete lineal y d) Patrón Irregular. Tomado de Van de Paverd (1995).

5) Tipos de Pared: Puede ser simple o compleja. La pared simple está relacionada a los caparazones enrejados, estructuras relativamente abiertas con poros claramente definidos, desarrollados en un solo plano – incluyendo las placas perforadas y

enrejadas. La pared compleja o esponjosa, puede o no estar restringida a planos claramente definidos (Van de Paverd, 1995) (Figuras 29 y 30).

Las placas perforadas se caracterizan por sus grandes espacios lisos entre los poros. El término “placa microperforada” es usado si los poros son extremadamente pequeños. (Van de Paverd, 1995).

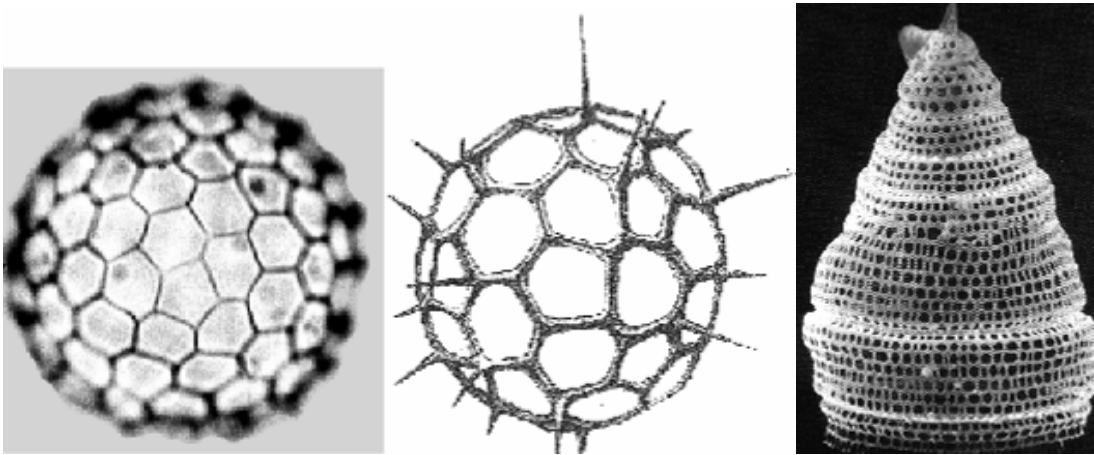


Figura 29. Radiolarios con caparazones enrejados. Tomado de Bolotovskoy (1999).

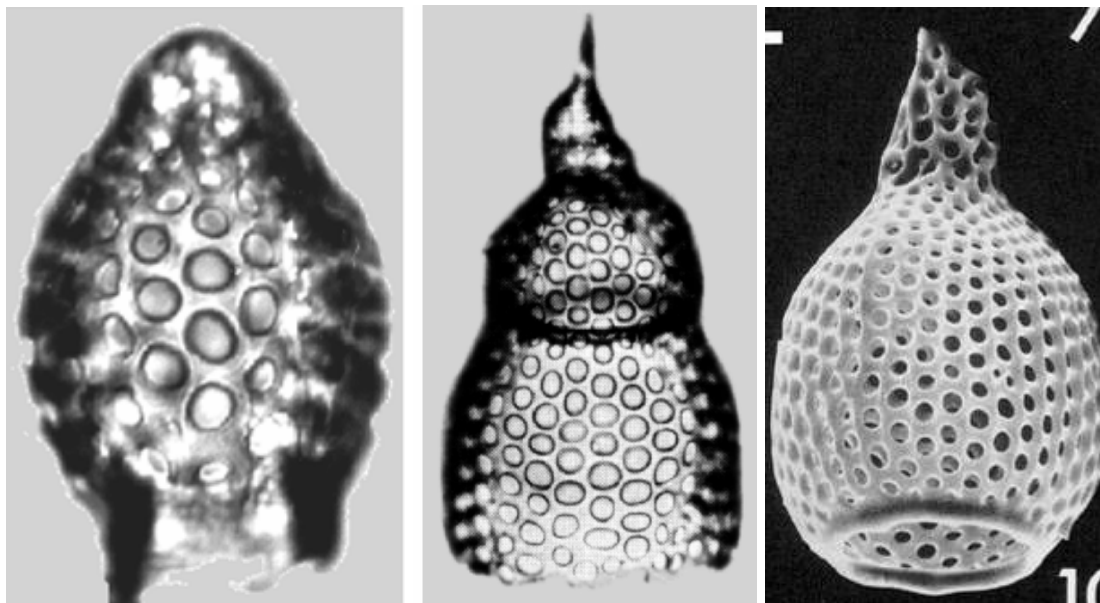


Figura 30. Radiolarios con caparazones perforados. Tomado de Boltovskoy (1999).

Los caparazones esponjosos son densos y su morfología de los caparazones esponjosos es muy variable (Figura 31).

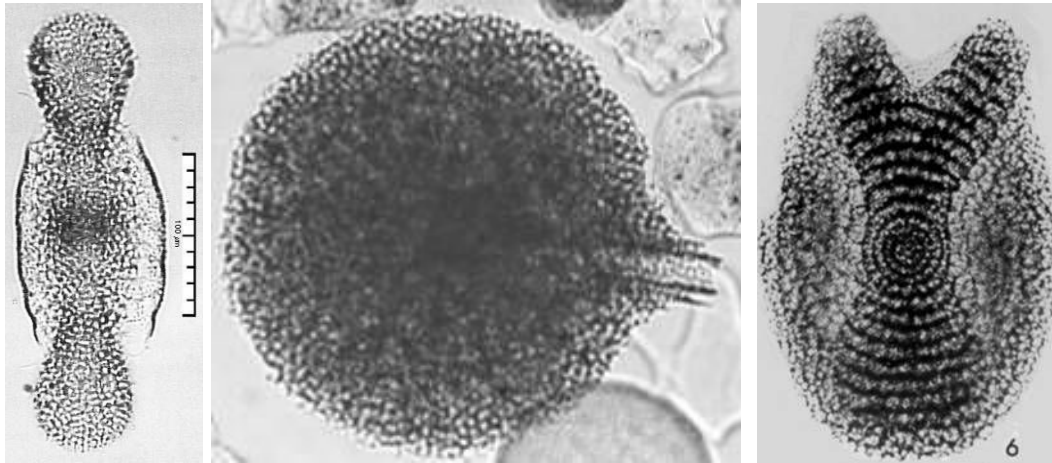


Figura 31. Radiolarios con caparazones esponjosos. Tomado de Ciesielski y Bjorklund (1995) y Dolven (1998) y Benson (1966).

6) Forma del caparazón: Cada estructura se presenta en varias formas, incluyendo esferas, ovoides, cilindros, discos, espirales, así como en varios tipos de formas bilobuladas o cónicas (Van de Paverd, 1995) (Figuras 29, 30 y 31). Para ver la terminología descriptiva de estas formas ver Campbell (1954), Kling (1978), Anderson (1983) y Casey (1993).

7) Estructuras Especiales: Pequeñas estructuras incluyendo costillas de algunos naselaridos, así como alas, apéndices, entre otros (Ver Glosario de términos morfológicos de radiolarios en Boltovskoy, 1999)

A partir de las características morfológicas arriba mencionadas, se clasificaron taxonómicamente los radiolarios encontrados en los sedimentos de las muestras del Caribe Colombiano del actual trabajo de investigación.

6. RESULTADOS

El análisis de las 30 muestras, arrojó un total de 7479 caparazones polycystinos contados: 2933 de la orden Espumelaria y 4646 de la orden Naselaria.

Aunque se buscaba hacer un recuento de 300 caparazones por muestra, en 9 muestras ubicadas en la plataforma y talud superior (G38, G82, G83, G1, G3, B215, G29, B216 y G45), se presentó bajo recobro. Ver Anexo 1 y 2.

Durante el análisis de las 30 placas se describieron y clasificaron 104 morfoespecies, correspondientes a 93 géneros y 15 familias. Además se incluyeron dos grupos morfológicos (*Tholospyris* spp. group y Plagoniidae group) (Anexo 3).

En la Tabla 3, se presentan las 15 familias que se reconocieron. Allí se observa las familias más importantes: PLAGONIIDAE (31,1%), PYLONIIDAE (20,9%), SPYRIDAE (11,2%) y SPONGODISCIDAE (9,7%), que representan el 55,2% del total de caparazones contados (Figura 32).

Familias	#	%
ACTINOMMIDAE	188	2,5
COCCODISCIDAE	176	2,3
COLLOSPHAERIDAE	50	0,7
LITHELIIDAE	176	2,3
PHACODISCIDAE	7	0,1
PYLONIIDAE	1581	20,9
SPONGODISCIDAE	736	9,7
THOLONIIDAE	19	0,2
ARTOSTROBIIDAE	186	2,5
CANNOBOTRYIDAE	305	4,0
CARPOCANIIDAE	59	0,8
PLAGONIIDAE	2357	31,1
PTEROCORYTHIDAE	460	6,1
SPYRIDAE	848	11,2
THEOPERIDAE	431	5,7

Tabla 3. Familias reconocidas en el presente estudio, en negrilla las principales con el número de caparazones y porcentaje correspondientes.

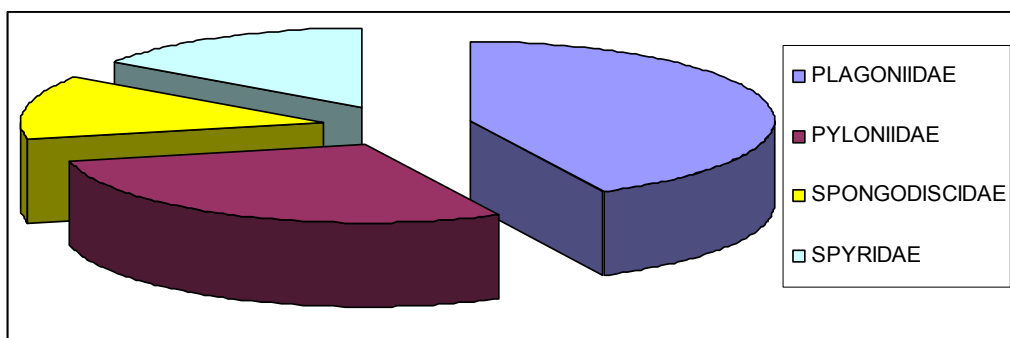


Figura 32. Familias más importantes del estudio que representan el 55,2% del recuento total.

Los 93 géneros reconocidos se presentan en Tabla 4, allí se incluyen 2 grupos morfológicos. Los géneros más relevantes fueron: *Tetrapyle* (10,2%), *Plagonium* (8,1%), *Tholospyris* (6,3), *Lophophaena* (6,2%), *Octapyle* (6,2%), y *Arachnocoralium* (5,6%); representan el 42,6 % del recuento total (Figura 33).

Genus	#	%
<i>Acanthodesmia</i>	105	1,4
<i>Acanthosphaera</i>	21	0,3
<i>Acrobotrys</i>	53	0,7
<i>Acrosphaera</i>	34	0,4
<i>Actinomma</i>	31	0,4
<i>Amphirhopalum</i>	5	0,1
<i>Anomalacantha</i>	6	0,1
<i>Anthocyrtidium</i>	111	1,5
<i>Arachnocoralium</i>	422	5,6
<i>Artobotrys</i>	6	0,1
<i>Artostrobos</i>	12	0,2
<i>Botryocyrtis</i>	37	0,5
<i>Botryopyle</i>	19	0,3
<i>Botrostrobos</i>	1	0,0
<i>Callimitra</i>	9	0,1
<i>Carpocanarium</i>	2	0,0
<i>Carpocanistrum</i>	57	0,8
<i>Carposphaera</i>	1	0,0
<i>Cenosphaera</i>	54	0,7
<i>Centrobotrys</i>	1	0,0
<i>Cladosceniun</i>	8	0,1
<i>Clathrocanium</i>	32	0,4
<i>Clathrocircus</i>	17	0,2
<i>Clathrocorys</i>	35	0,5
<i>Collosphaera</i>	5	0,1
<i>Cornutella</i>	98	1,3
<i>Corocalyptra</i>	31	0,4
<i>Cromyenchinus</i>	5	0,1
<i>Tholoma</i>	19	0,3

Genus	#	%
<i>Cycladophora</i>	32	0,4
<i>Cyrtopera</i>	21	0,3
<i>Dictyophimus</i>	9	0,1
<i>Dipylissa</i>	8	0,1
<i>Disolenia</i>	1	0,0
<i>Druppatractus</i>	3	0,0
<i>Dyctiocorine</i>	29	0,4
<i>Dydymorcythis</i>	176	2,3
<i>Euchitonia</i>	113	1,5
<i>Eucyrtidium</i>	68	0,9
<i>Heliaster</i>	20	0,3
<i>Heliodiscus</i>	7	0,1
<i>Heliosoma</i>	1	0,0
<i>Helotholus</i>	11	0,1
<i>Hexacantium</i>	20	0,3
Hexapyle	222	2,9
<i>Lamprocyclas</i>	13	0,2
<i>Lampromitra</i>	88	1,2
<i>Larcopyle</i>	79	1,0
<i>Larcospira</i>	7	0,1
<i>Lipmanella</i>	1	0,0
<i>Litharachnium</i>	5	0,1
<i>Lithelius</i>	30	0,4
<i>Lithomelissa</i>	2	0,0
<i>Lithophera</i>	2	0,0
<i>Lithostrobos</i>	11	0,1
Lophophaena	475	6,3
<i>Lophospyris</i>	4	0,1
Octapyle	470	6,2
<i>Peridium</i>	194	2,6
<i>Peripyramis</i>	10	0,1
<i>Peromelissa</i>	263	3,5
<i>Phormacantha</i>	93	1,2
<i>Phormospyris</i>	11	0,1
Plagonium	614	8,1
<i>Pseudocubus</i>	25	0,3
<i>Pterocanium</i>	50	0,7
<i>Pterocorys</i>	266	3,5
<i>Pterocorys</i>	70	0,9
<i>Pylolena</i>	109	1,4
<i>Pylospira</i>	4	0,1
<i>Saccospyris</i>	195	2,6
<i>Siphocampe</i>	52	0,7
<i>Spirocyrtis</i>	3	0,0
<i>Spongaster</i>	9	0,1
<i>Spongocore</i>	6	0,1
<i>Spongodiscus</i>	178	2,3
<i>Spongotrochus</i>	16	0,2
<i>Spongurus</i>	103	1,4
<i>Stichocorys</i>	124	1,6
<i>Stylochlamydidium</i>	6	0,1

Genus	#	%
<i>Stylodictya</i>	271	3,6
<i>Stylosphaera</i>	6	0,1
<i>Stylotractus</i>	16	0,2
<i>Syphonosphaera</i>	10	0,1
<i>Tetrapyle</i>	772	10,2
<i>Thecosphaera</i>	4	0,1
<i>Theopilium</i>	81	1,1
<i>Tholospyra</i>	56	0,7
<i>Tholospyris</i>	475	6,3
<i>Triplagia</i>	25	0,3
<i>Triplecta</i>	30	0,4
<i>Trisulcus</i>	31	0,4
<i>Zygocircus</i>	236	3,1

Tabla 4. Géneros reconocidos en el presente estudio, en negrilla los principales con el número de caparazones y porcentaje.

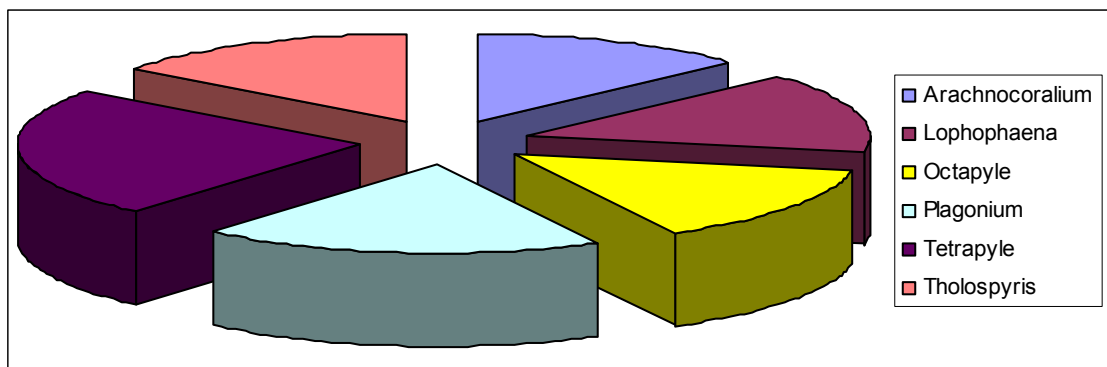


Figura 34. Géneros más importantes del estudio que representan el 42,6% del recuento total.

De la misma manera el análisis taxonómico general de grupos morfológicos y especies se indican en la Tabla 5. Se observa que los grupos morfológicos y las especies más abundantes fueron: *Tetrapyle octachantha* (10,2%), Plagoniidae Group (8,1%), *Tholospyris* spp. group (6,2%), *Octapyle stenozaa* (6,2%), *Arachnocoralium calvata* (5,6%), *Lophophaena hispida* (5%), *Pterocorys minythorax* (3,5%) y *Peromelissa phalacra* (3,5%), que en conjunto representan 48,3% del recuento total (Figura 35).

Especie	Total	%
<i>Acanthosphaera dodecastyla</i>	105	1,4
<i>Acanthodesmia vinculata</i>	21	0,3
<i>Acrobotrys aff. telerans</i>	53	0,7

Especie	Total	%
<i>Acrosphaera murrayana</i>	18	0,2
<i>Acrosphaera spinoza</i>	16	0,2
<i>Actinomma aff. antarcticum</i>	4	0,1
<i>Actinomma aff. leptodermum</i>	23	0,3
<i>Actinomma aff. sol</i>	4	0,1
<i>Amphirhopalum aff. ypsilon</i>	5	0,1
<i>Anomalacantha aff. dentata</i>	6	0,1
<i>Anthocyrtdium aff. ophirense</i>	46	0,6
<i>Anthocyrtdium aff. zanguebaricum</i>	65	0,9
<i>Arachnocoralium aff. calvata</i>	422	5,6
<i>Artobotrys aff. borealis</i>	6	0,1
<i>Artostrobos aff. annulatus</i>	12	0,2
<i>Botryocyrtdis scutum</i>	37	0,5
<i>Botryopyle dictyocephalus</i>	19	0,3
<i>Botryostrobos aquilonaris</i>	1	0,0
<i>Callimitra aff. carolotae</i>	9	0,1
<i>Carpocanarium papillosum</i>	2	0,0
<i>Aff. Carpodanistrum spp.</i>	57	0,8
<i>Carposphaera aff. acanthophora</i>	1	0,0
<i>Aff. Cenosphaera sp.</i>	54	0,7
<i>Centrobotrys aff. thermophila</i>	1	0,0
<i>Cladosceniun ancoratum</i>	8	0,1
<i>Clathrocanium coarctatum</i>	32	0,4
<i>Clathrocircus aff. stapedius</i>	17	0,2
<i>Clathrocorys aff. murrayi</i>	35	0,5
<i>Collosphaera aff. macrophora</i>	5	0,1
<i>Cornutella profunda</i>	98	1,3
<i>Corocalyptra aff. cervus</i>	7	0,1
<i>Corocalyptra aff. kruegeri</i>	7	0,1
<i>Corocalyptra columba</i>	17	0,2
<i>Cromyenchinus aff. antartica</i>	5	0,1
<i>Cubotholus octoceras</i>	19	0,3
<i>Cycladophora davisiana</i>	32	0,4
<i>Cyrtopera laguncula</i>	21	0,3
<i>Dictyophimus glacilipes</i>	9	0,1
<i>Dipylissa aff. bensoni</i>	8	0,1
<i>Disolenia aff. quadrata</i>	1	0,0
<i>Druppattractus aff. irregularis</i>	3	0,0
<i>Dyctiocorine aff. truncatum</i>	29	0,4
<i>Dydymorcythis tetrathalamus tetrathalamus</i>	176	2,3
<i>Euchitonia aff. furcata</i>	113	1,5
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i>	7	0,1
<i>Eucyrtidium hexastichum</i>	61	0,8
<i>Heliaster aff. hexagonium</i>	20	0,3
<i>Heliodiscus aff. asteriscus</i>	7	0,1
<i>Heliosoma aff. echinaster</i>	1	0,0
<i>Helotholus aff. histicosa</i>	11	0,1
<i>Hexacantium aff. enthacantium</i>	5	0,1
<i>Hexacantium aff. laevigatum</i>	15	0,2
<i>Aff. Hexapyle spp.</i>	222	2,9
<i>Lamprocyclas aff. maritalis</i>	13	0,2

Especie	Total	%
<i>Lampromitra aff. quadricuspis</i>	88	1,2
<i>Larcopyle butschlii</i>	79	1,0
<i>Larcospira aff. quadrangula</i>	7	0,1
<i>Lipmanella bombus</i>	1	0,0
<i>Litharachnium aff. tentorium</i>	5	0,1
<i>Lithelius aff. minor</i>	30	0,4
<i>Lithomelissa aff. setosa</i>	2	0,0
<i>Lithophaera bacca</i>	2	0,0
<i>Lithostrobos aff. hexagonalis</i>	11	0,1
<i>Lophophaena aff. butschlii</i>	96	1,3
Lophophaena hispida	379	5,0
<i>Lophospyris aff. pentagona pentagona</i>	4	0,1
Octapyle stenozaea	470	6,2
<i>Peridium aff. longispinum</i>	194	2,6
<i>Peripyramis aff. circumtexta</i>	10	0,1
Peromelissa aff. phalacra	263	3,5
<i>Phormacantha hystrix</i>	93	1,2
<i>Phormospyris aff. stabilis scaphipes</i>	11	0,1
Plogoniidae Group	614	8,1
<i>Pseudocubus aff. obeliscus</i>	25	0,3
<i>Pterocanium praetextum praetextum</i>	28	0,4
<i>Pterocanium trilobum</i>	22	0,3
Pterocorys aff. minythorax	266	3,5
<i>Pterocorys aff. zancleus</i>	70	0,9
<i>Pylolella aff. armata</i>	109	1,4
<i>Pylospira octopyle</i>	4	0,1
<i>Saccospyris antarctica</i>	195	2,6
<i>Siphocampe arachnea</i>	52	0,7
<i>Spirocyrtis scalaris</i>	3	0,0
<i>Spongaster aff. tetras irregularis</i>	6	0,1
<i>Spongaster tetras tetras</i>	3	0,0
<i>Spongocore aff. cylindricus</i>	6	0,1
<i>Spongodiscus resurgens</i>	178	2,3
<i>Spongotrochus glacialis</i>	16	0,2
<i>Spongurus aff. elliptica</i>	103	1,4
<i>Stichocorys aff. seriata</i>	124	1,6
<i>Stylochlamydidium asteriscus</i>	6	0,1
<i>Stylodictya aff. aculeata</i>	43	0,6
<i>Stylodictya aff. multispina</i>	228	3,0
<i>Stylosphaera aff. melpomene</i>	6	0,1
<i>Stylotractus aff. cronos</i>	16	0,2
<i>Syphonosphaera aff. polisiphonia</i>	10	0,1
Tetrapyle octachantha	772	10,2
<i>Thecosphaera aff. inermis</i>	4	0,1
<i>Theopilium aff. tricostatum</i>	81	1,1
<i>Tholospyra aff. cervicornis</i>	56	0,7
<i>Tholospyris aff. rombus</i>	1	0,0
Tholospyris spp.group	474	6,3
<i>Triplagia aff. primordialis</i>	25	0,3
<i>Triplecta triactis</i>	30	0,4
<i>Trisulcus aff. triacanthus</i>	31	0,4

Especie	Total	%
<i>Zygocircus aff. Z. productus</i>	236	3,1

Tabla 5. Especies reconocidas en el presente estudio, en negrilla las principales con el número de caparazones y porcentaje.

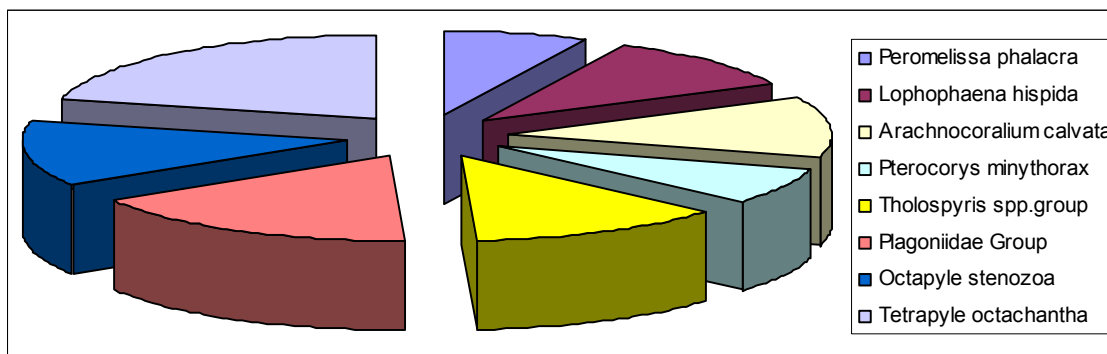


Figura 35. Asociación típica de la zona que representó el 48,3% del recuento total.

Por otra parte, las proporciones de Espumelaridos contra Naselaridos de las 30 muestras en número de caparazones totales, indicó un dominio general de los Naselaridos, con excepción de 6 muestras; y la comparación entre taxa, igualmente arrojó un dominio generalizado de los Naselaridos, con excepción a 2 muestras (Tabla 6).

Muestras	Caparazones Espumelaridos	Caparazones Naselaridos	(S/N) Test Ratio	Taxa Espum	Taxa Nase	(S/N) Taxa Ratio
G38 (39m)	1	4	0,250	1	4	0,250
G82 (58m)	8	12	0,667	4	8	0,500
G83 (70m)	25	15	1,667	10	8	1,250
G1 (72m)	35	81	0,432	11	20	0,550
G3 (96m)	18	39	0,462	7	14	0,500
B215 (135m)	17	33	0,515	6	10	0,600
G29 (204m)	89	112	0,795	17	18	0,944
B216 (220m)	2	0	No determinado	1	0	No determinado
G100 (290m)	129	186	0,694	18	27	0,667
G110 (425m)	149	154	0,968	19	24	0,792
G45 (489m)	42	50	0,840	9	18	0,500
G13 (588m)	137	176	0,778	22	32	0,688
G15 (623m)	91	232	0,392	19	35	0,543
G10 (626m)	108	198	0,545	16	26	0,615
G16 (718m)	161	155	1,039	24	27	0,889
G103 (904m)	129	193	0,668	15	30	0,500
G19 (950m)	187	161	1,161	21	27	0,778

G67 (999m)	139	213	0,653	21	30	0,700
B208 (1038m)	145	218	0,665	24	28	0,857
B209 (1138m)	137	163	0,840	19	22	0,864
G21 (1195m)	102	245	0,416	17	32	0,531
B 202 (1233m)	35	284	0,123	8	25	0,320
G104 (1320m)	134	229	0,585	22	31	0,710
G22 (1321m)	104	230	0,452	22	36	0,611
B106 (1350m)	114	218	0,523	21	35	0,600
B221 (1390m)	93	240	0,388	11	28	0,393
B203 (1643m)	171	189	0,905	21	29	0,724
B218 (1930m)	94	240	0,392	16	34	0,471
G112 (2180m)	205	182	1,126	17	34	0,500
B210 (2469m)	132	194	0,680	17	34	0,500

Tabla 6. Se muestran los valores de la proporción; en rojo la dominancia de los espumelaridos.

Se determinó el URI para las muestras que tuvieron recobro mayor a 300 caparazones, las especies que se utilizaron para dicho cálculo se observan en la Tabla 7, al igual que los valores de URI para cada muestra. Figura 36

Muestras	<i>Actinomma leptodermum</i>	<i>Acrosphaera murrayana</i>	<i>Pterocorys minythorax</i>	<i>Lithostrobos hexagonalis</i>	URI
B209 (1138)	2,0	0,0	0,0	0,0	2,0
B106 (1350)	0,3	0,0	1,2	0,3	1,8
G112 (2180)	0,0	0,0	1,8	1,3	3,1
G10 (626)	1,0	0,0	0,3	0,0	1,3
G13 (588)	0,3	0,0	2,6	0,0	2,9
G15 (623)	0,6	0,0	5,9	0,0	6,5
G16 (718)	0,0	0,0	5,7	0,0	5,7
G22 (1321)	0,0	0,0	5,1	0,0	5,1
G104 (1320)	0,8	0,0	3,3	0,0	4,1
G103 (904)	0,6	0,0	5,0	0,0	5,6
G19 (950)	0,3	0,0	3,4	0,0	3,7
B218 (1930)	0,3	0,0	0,9	0,6	1,8
G21 (1195)	0,9	0,3	2,0	0,6	3,7
B203 (1643)	0,0	0,3	3,1	0,0	3,3
B221 (1390)	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3
B210 (2469)	0,0	0,6	1,2	0,0	1,8
G67 (999)	0,0	1,4	1,7	0,0	3,1
B208 (1038)	0,0	1,9	11,3	0,0	13,2
G100 (290)	0,0	0,0	8,3	0,0	8,3
G110 (425)	0,0	0,3	3,6	0,0	4,0
B 202 (1233)	0,0	0,0	3,4	0,3	3,8

Tabla 7. Peso porcentual de las especies indicadoras de surgencia en cada muestra y su respectivo valor de URI.

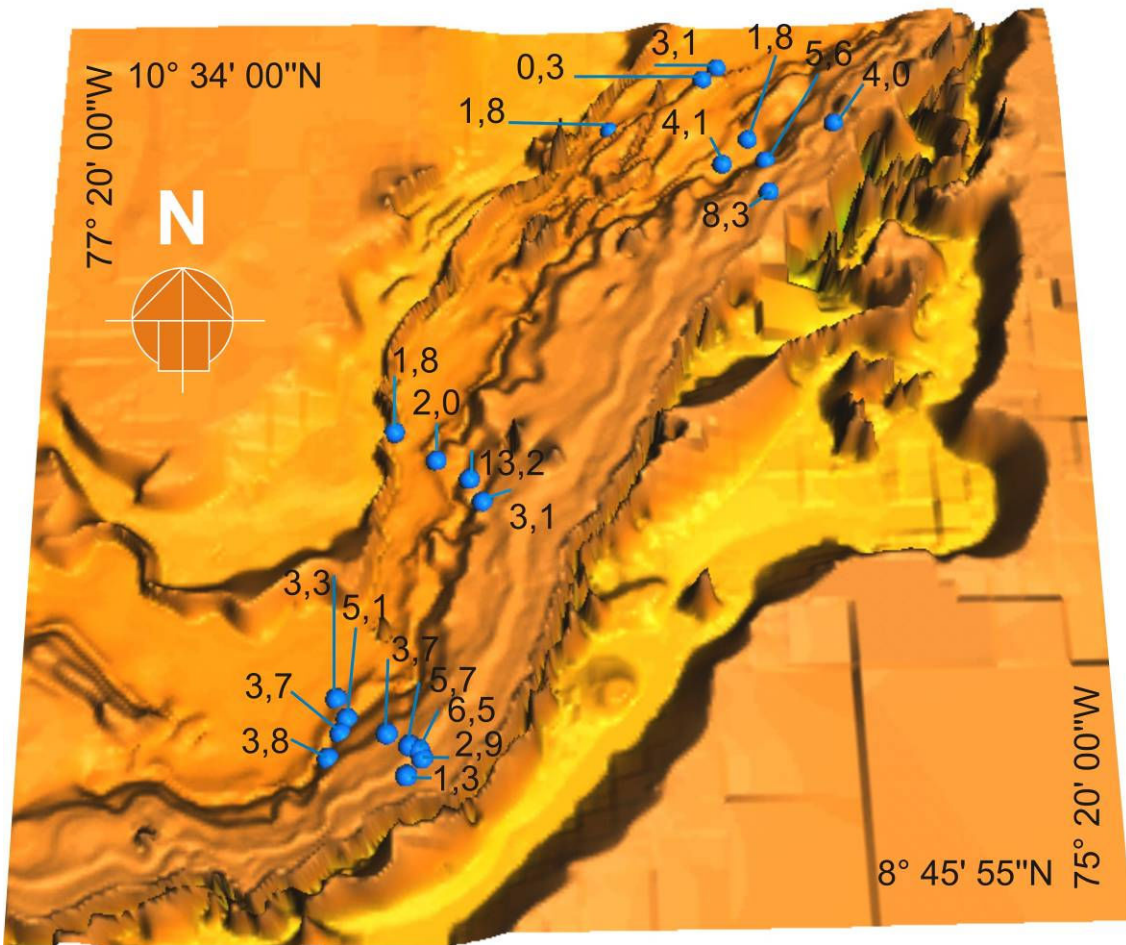


Figura 36. Valores de URI para cada muestra.

Finalmente los índices ecológicos de Diversidad (Shanon), Equidad (Simpson), Dominancia y Riqueza; se realizaron en las muestras que presentaron más de 300 individuos (dicha información se presenta en la Tabla 8 y Figuras 37 a 39).

Muestras	Taxa	Dominancia	Shannon	Simpson
G100 (290 m)	45	0,057	3,256	0,943
G110 (425 m)	43	0,058	3,248	0,942
G13 (588m)	53	0,052	3,361	0,948
G15 (623m)	54	0,040	3,532	0,960
G10 (626m)	42	0,056	3,211	0,944
G16 (718m)	51	0,039	3,520	0,961
G103 (904m)	45	0,056	3,237	0,944
G19 (950m)	48	0,066	3,187	0,934
G67 (999 m)	51	0,057	3,286	0,943
B208 (1038 m)	52	0,051	3,406	0,949
B209 (1138m)	41	0,058	3,176	0,942
G21 (1195 m)	49	0,063	3,236	0,937
B 202 (1233m)	33	0,073	2,906	0,927

Muestras	Taxa	Dominancia	Shannon	Simpson
G104 (1320m)	53	0,034	3,599	0,966
G22 (1321m)	58	0,033	3,650	0,967
B106 (1350m)	56	0,044	3,491	0,956
B221 (1390 m)	39	0,068	3,036	0,932
B203 (1643 m)	50	0,058	3,266	0,942
B218 (1930 m)	50	0,051	3,343	0,949
G112 (2180m)	51	0,050	3,358	0,950
B210 (2469 m)	51	0,048	3,421	0,952

Tabla 8. Número de Taxa y valores de Dominancia, Diversidad y Equidad para cada muestra con recobro mayor a 300 individuos.

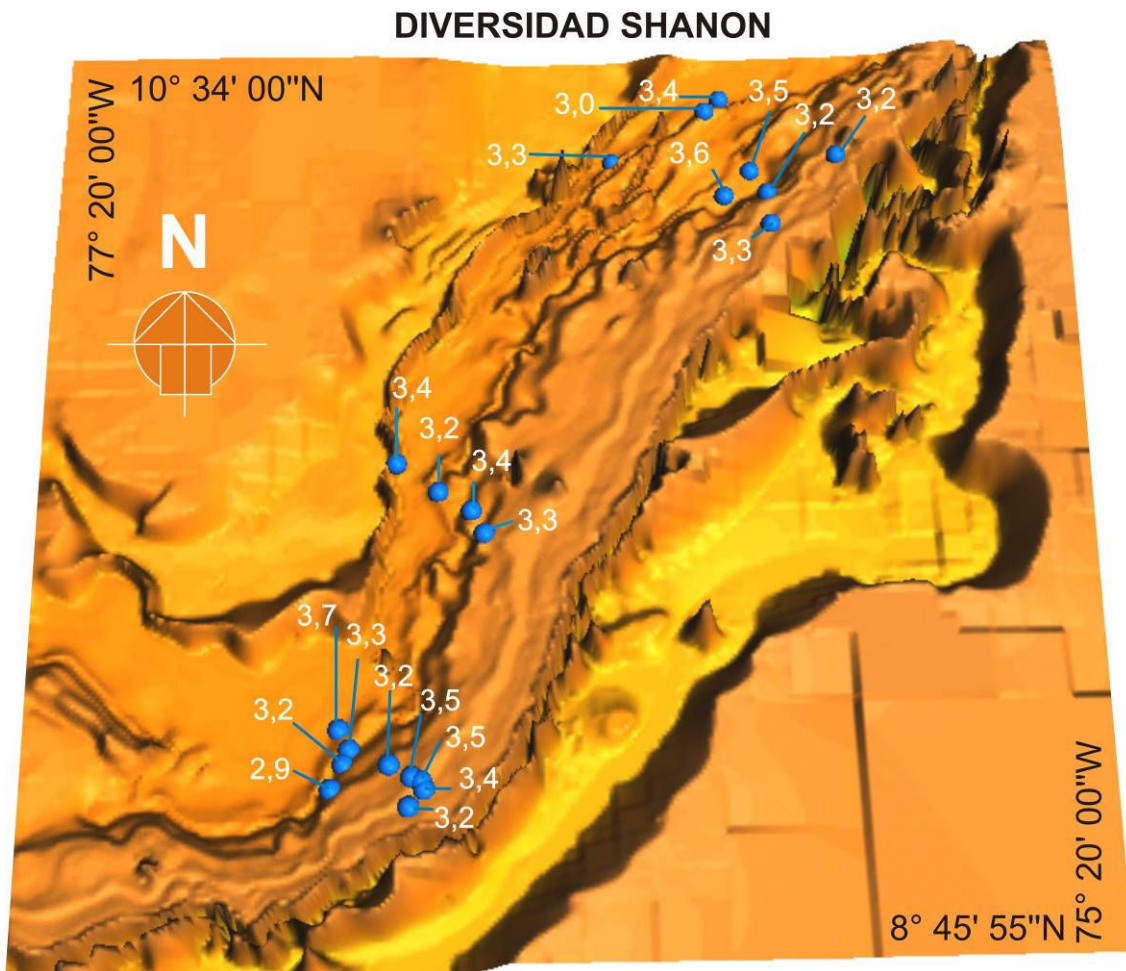


Figura 37. Valores de Diversidad para cada muestra, teniendo en cuenta que la diversidad varía de 0 a 5.

EQUIDAD SIMPSON

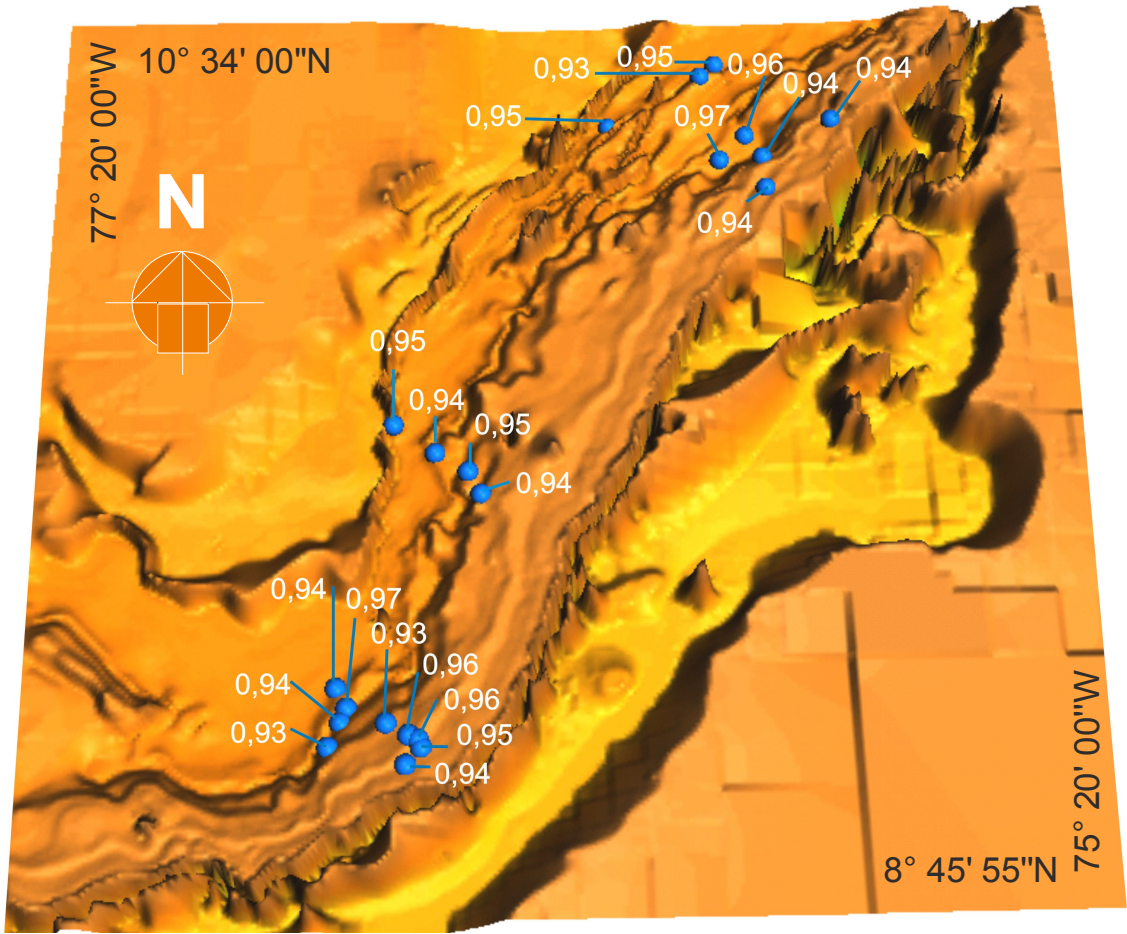


Figura 38. Valores de Equidad para cada muestra, teniendo en cuenta que la equidad varía de 0 a 1.

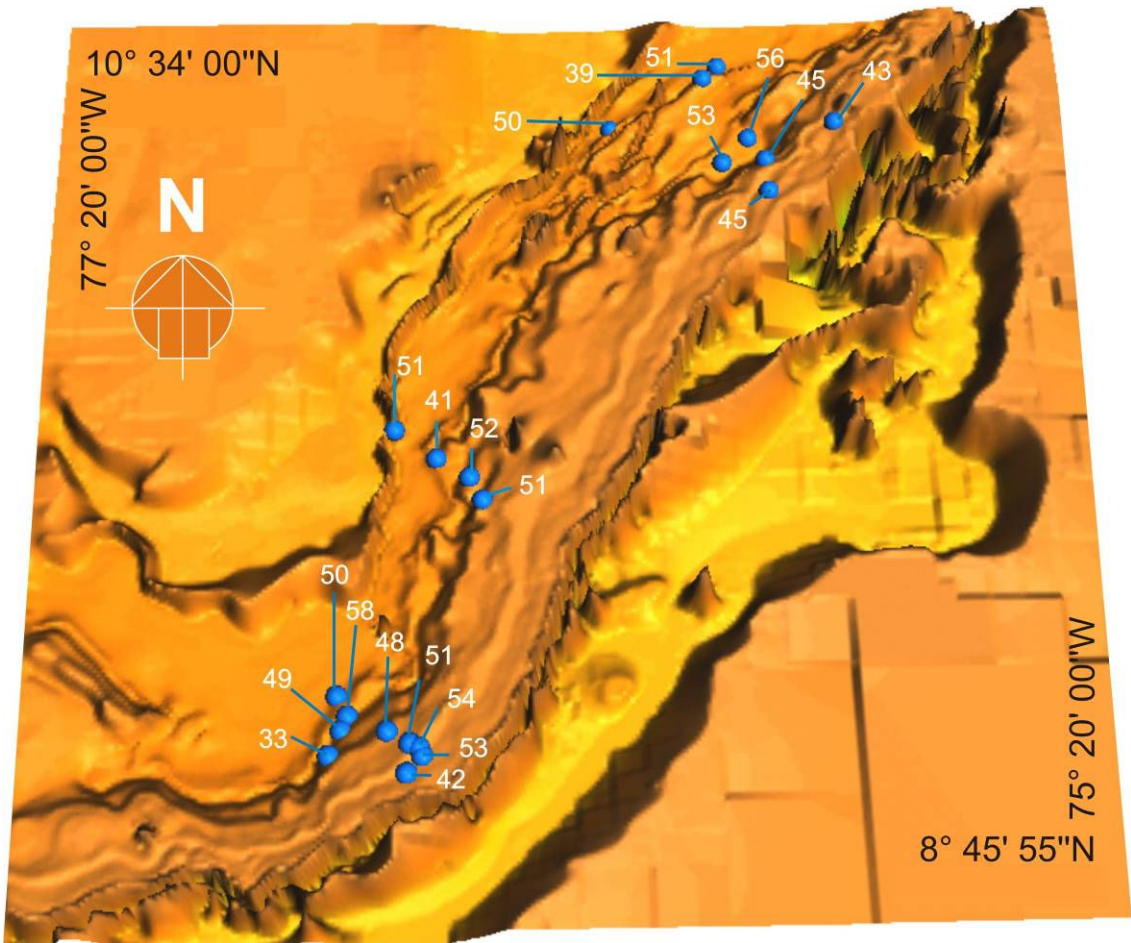


Figura 39. Riqueza para cada muestra (Número de taxa por muestra).

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 INTERPRETACIÓN DEL RECOBRO DE LAS MUESTRAS

El recobro de las muestras varía de acuerdo a la topografía de la zona; se observó que en las muestras por encima de los 220 m (G38, G82, G83, G1, G3, B215, G29 y G216) el recobro fue bajo (además de la muestra G45 (485m)) (Anexo 2). Dichas muestras ubicadas en la plataforma y talud superior, corresponden a un ambiente de alta energía, lo cual está evidenciado en la composición arenosa de la mayoría de estas muestras. De esta manera, la fuerte dinámica costera, la posible presencia de cañones submarinos (con flujos de turbiditas) y los aportes de material terrígeno por parte de los afluentes de la zona, pudo haber dificultado la preservación de los caparazones de radiolarios.

Así mismo, la presencia de pirita en la muestra G19 (950m), puede ser indicativo de un ambiente marino con bajo oxigenación (Allison *et al.* 1995) (Tabla 1).

Probablemente las manifestaciones de diapirosmo de lodo no se encontraban lo suficientemente cerca de las muestras, por lo que no se identificó ninguna influencia de dicho fenómeno en las muestras (recobro, color de sedimento).

7.2 ECOLOGÍA

Asociación Típica

Según estudios anteriores, las especies *Tetrapyle octachantha*, Plagoniidae Group, *Tholospyrus* spp. group, *Octapyle stenozaa*, *Arachnocoralium calvata*, *Lophophaena hispida* y *Pterocorys minythorax*, son comunes en los trópicos (Benson, 1966; Boltovskoy and Uliana, 1996; Haslett, 1992; Wang *et al.*, 2003). De la misma manera, altas abundancias de: *T. octachantha*, *O. stenozaa*, Plagoniidae Group y *Arachnocoralium calvata*, también han sido identificadas en estudios del Pacífico y Atlántico tropical (Benson, 1966; Boltovskoy, 1989; Boltovskoy and Uliana, 1999).

En conclusión, la principal asociación de taxa identificadas y reportadas en la zona de estudio (*Tetrapyle octachantha*, Plagoniidae Group, *Tholospyrus* spp. group, *Octapyle stenozaea*, *Arachnocoralium calvata*, *Lophophaena hispida*, *Pterocorys minythorax* y *Peromelissa phalacra*), constituyen una asociación típica tropical (Anexo 2 y Figura 35).

Proporciones de Espumelaridos contra Naselaridos (Test Ratio y Taxon Ratio)

El análisis de las 30 muestras indicó que las proporciones de naselaridos contra espumelaridos, medidas tanto en caparazones como en taxa, mostró un dominio generalizado de los naselaridos (Tabla 6). Este dominio indica condiciones más oceánicas que neríticas y de alta salinidad (Benson, 1966; Boltovskoy y Jankilevich, 1985).

Las condiciones de salinidad, podrían deberse a la evaporación en el Mar Caribe (Rincón, 2004), que conlleva a numerosas precipitaciones sobre el Pacífico Tropical Oriental, las cuales producen un descenso en la salinidad. Este fenómeno se registra en un dominio de los espumelaridos, reportados por Bayona y Marín (2007), y Toro (2003).

Por otro lado el "Test Ratio" indicó que las muestras G83 (70m), G16 (718m), G19 (950m) y G112 (2180m), presentaron valores ligeramente superiores a 1 (de 1,2 a 1,6). Se presume que dichas muestras se ubicaron en zonas con condiciones desfavorables para la preservación de caparazones, y por eso los espumelaridos, más resistentes que los naselaridos (Boltovskoy y Jankilevich, 1985), se presentaron en mayor proporción, afectando los resultados del índice.

Así mismo el Taxon Ratio presentó un valor de 1,2 para la muestra G83 (70m) (Tabla 6), lo cual se explica ya que los espumelaridos son más abundantes en zonas neríticas (Benson, 1966; Boltovskoy y Jankilevich, 1985).

La muestra B216 (220m) tuvo tan poco recobro (2 caparazones) que no fue posible aplicar aquí las proporciones S/N, sin embargo que los dos caparazones recuperados

fueran espumelaridos refuerza el argumento de la alta resistencia de los espumelaridos.

Significado de los Índices Ecológicos.

Se puede concluir que los índices de diversidad, dominancia y equidad señalan una comunidad muy diversa, ya que los valores de equidad son altos y los de dominancia bajos (Tabla 8), lo cual señala una distribución equitativa del número de individuos (o abundancia) entre las especies. Valores similares de diversidad, equidad y dominancia se han registrado en el Caribe (Boltovskoy *et al.*, 1995).

Teniendo en cuenta que en condiciones de surgencia, la diversidad y equidad son bajas, mientras que la dominancia es alta, ya que se presentan altas abundancias de algunas especies oportunistas (McMillen and Casey, 1977; Tribovillard *et al.*, 1995; Vergnaud *et al.*, 1995); estos índices reflejan condiciones de no surgencia en la zona de estudio.

Análisis de los valores del URI y la Surgencia

El URI medido en la zona de estudio oscila entre 0,3% y 13,2%; de la misma manera Haslett (1995), registra valores del 30% en sedimentos del Pacífico Tropical Oriental, donde se presenta el sistema de surgencia del Perú. Comparando los valores de URI obtenidos en el actual trabajo contra los del Pacífico Tropical Oriental presentados por Haslett (1995), se puede asumir que los del actual estudio son bajos.

Haslett (1995) plantea que la profundidad de la termoclina es un indicador del nivel de surgencia y lo demuestra en su estudio, ya que en las áreas de fuerte surgencia (alto URI) la termoclina decae en batimetrías superficiales, alrededor de 20 m; mientras que en áreas de surgencia débil o ausente, la termoclina se presenta en batimetrías cerca de los 70 a 80 m.

Lo anterior, sumado a que en la zona de estudio actualmente la termoclina (al igual que la termohalina) decae a una batimetría de 100m (LEVITUS, 1994), y asumiendo que esta situación no ha cambiado durante el Holoceno; los valores bajos de URI de la presente investigación concuerdan con Haslett (1995); y además con McMillen and Casey (1977) y Rincón (2004), quienes señalan la baja productividad del Mar Caribe y de la Cuenca de Colombia.

Llama la atención que las dos especies que aportan más peso a los valores del URI (*L. hexagonalis* y *P. minythora*) sean especies tropicales reforzadas (especies comunes en los trópicos con mayor frecuencia en presencia de surgencia), que podrían estar influenciadas por una baja oxigenación presente en el talud superior y medio (evidenciada en la presencia de pirita en G19, color de las muestras (Tabla 1) y fauna indicadora de dicho ambiente (ECOPETROL, 2007)), y así explicar los altos valores de URI en las muestras: B208, G15, G100, G16 y G103 (Tabla 7).

Basado en lo indicado arriba, se indica que posiblemente el principal aporte de nutrientes a la zona de estudio proviene de los afluentes de la región, y que la posible surgencia estacional (de presentarse) es de rango bajo.

Aunque todas las muestras corresponden a los 2,5 cm más superiores del corazón, se plantea que las muestras no tienen la misma tasa de sedimentación, ya que están en diferentes batimetrías y regímenes de energía.

Por otro lado, se debe mencionar que, aunque los valores de URI obtenidos en este estudio tienen un grado de incertidumbre representativa (en cuanto a la asignación taxonómica), otros parámetros ecológicos analizados en el presente estudio, como diversidad, equidad, dominancia, batimetría de la termoclina, concuerdan con los bajos valores de URI, determinados aquí.

Con los anteriores resultados se puede indicar que los radiolarios no son lo suficientemente sensibles a la surgencia en la zona de estudio, ya que la disponibilidad de nutrientes produce un aumento de especies tropicales indicadoras de “surgencia” en el trópico, y esta disponibilidad de nutrientes puede obedecer al aporte hecho por afluentes continentales; con lo cual se responde la pregunta inicial de investigación.

8. CONCLUSIONES

El análisis de las 30 muestras indicó un bajo recobro en 9 muestras ubicadas en la plataforma continental (principalmente) y talud superior. Dicho recobro se atribuye posiblemente a la ubicación de las muestras en un ambiente de alta energía, que comprende una dinámica costera, posible presencia de cañones submarinos y aportes de material terrígeno por parte de los afluentes de la zona (evidenciado en la composición arenosa de la mayoría de estas muestras), que en conjunto pudieron haber dificultado la preservación de los caparazones de radiolarios.

Durante el trabajo taxonómico se contaron un total de 7479 caparazones polycystinos: 2933 espumelaridos y 4646 naselaridos, dentro de los cuales se describieron 15 familias, 93 géneros y 104 morfoespecies; además de 2 grupos morfológicos (*Tholospyris* spp. group y Plagoniidae group).

Las familias más importantes del análisis taxonómico fueron: PLAGONIIDAE (31,1%), PYLONIIDAE (20,9%), SPYRIDAE (11,2%) y SPONGODISCIDAE (9,7%), que representan el 55,2% del total de caparazones. Resultados similares se han reportado en el Atlántico Tropical Nororiental. Igualmente los géneros más relevantes fueron: *Tetrapyle* (10,2%), *Plagonium* (8,1%), *Tholospyris* (6,3), *Lophophaena* (6,2%), *Octapyle* (6,2%), y *Arachnocoralium* (5,6%); representan el 42,6 % del recuento total.

De la misma forma la asociación típica esta integrada por: *Tetrapyle octachantha*, Plagoniidae Group, *Tholospyris* spp. group, *Octapyle stenozoa*, *Arachnocoralium calvata*, *Lophophaena hispida*, *Pterocorys minythorax* y *Peromelissa phalacra*, los cuales son los taxa más abundantes y frecuentes en las muestras.

El dominio generalizado de naselaridos contra espumelaridos, tanto en caparazones como en taxa, indica condiciones más oceánicas que neríticas y de alta salinidad, debida posiblemente a la evaporación en el Mar Caribe. Dicha evaporación se relaciona con una menor salinidad del Pacífico Tropical Oriental, posiblemente registrada en trabajos con dominio de espumelaridos.

Los valores de diversidad, equidad y dominancia, señalan una distribución equitativa del número de individuos entre las especies; lo cual refleja condiciones de no surgencia en la zona de estudio.

Lo anterior, sumado al URI determinado y profundidad a la cual defleca la termoclina en la zona de estudio, señalan condiciones de surgencia débil o de no surgencia; que concuerdan con anteriores señalamientos de baja productividad del Mar Caribe y de la Cuenca de Colombia. Además se debe tener en cuenta que los máximos valores de URI, pueden estar influenciados por la zona de baja oxigenación presente en el talud superior y medio.

Se plantea que la posible surgencia estacional (de presentarse) es de rango bajo y que el principal aporte de nutrientes a la zona de estudio proviene de los afluentes de la región.

9. RECOMENDACIONES

Se debe realizar una revisión taxonómica completa del actual proyecto de grado, para así poder validar totalmente el URI.

Sería necesario analizar muestras de plancton de la zona de estudio durante el período seco (Diciembre a Abril), para confirmar la presencia de surgencia a través de un URI (taxonómicamente validado).

Es necesario seguir realizando estudios taxonómicos de radiolarios (tanto en formas actuales, como en fósiles), para evaluar su potencial y poderlos implementar como herramienta oceanográfica, paleoceanográfica y bioestratigráfica.

10. BIBLIOGRAFIA

- Allison P., Wingall P. & Brett C., 1995. Paleo-oxygenation: effect and recognition, *In* Bosence D., & Allison P., Eds., *Marine Paleoenvironmental Analysis from Fossils: Geological Society Special Publication*, n. 83: 97-112 p.
- Anderson O., 1983. *Radiolaria*. Springer Verlag, New York, N.Y.
- Anderson, R.O., Nigrini, C., Boltovskoy, D. & Takahashi, K. 1996. *Radiolaria*. General overview of polycystine morphology, skeletal morphology, reproduction, distribution and ecology, and taxonomy. Diagnoses of extant families and orders. Identification keys for the most common polycystina spumellarian and nassellarian species. *In* Lee, J. Ed., *An Illustrated Guide to the Protozoa*.
- Andrade C. y Barton E., 2003. The Guajira upwelling system. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH Cartagena, Colombia. School of Ocean Sciences, University of Wales, Menai Bridge, Wales, UK. *Continental Shelf Research* 25 (2005): 1003–1022 p.
- Andrade C. y Thomas Y., 1988. Sedimentos en suspensión e hidrodinámica al suroeste del delta del río Magdalena, mar Caribe, Colombia. *Boletín Científico CIOH*, 8: 27-34 p.
- Armstrong H., Brasier M., 2005. *Microfossils*. Second Edition, Blackwell Publishing. USA, p.296.
- Arias F., 1998. Condiciones Oceanográficas del Caribe Colombiano, 31-43. En Samper D. (Ed). *Colombia Patria de tres mares. EXPOLISBOA 98*. Panamericana, formas e Impresas, EXPOLISBOA 98. Bogotá, 240 p.
- Bayona G. y Marín D., 2007. Paleooceanografía Holocénica del margen oriental de la cuenca de Panamá con base en foraminíferos planctónicos y radiolarios. Tesis de Pregrado. Universidad EAFIT, Medellín. 88 p.
- Benson R, 1966. Recent Radiolaria from the Gulf of California. Ph.D. thesis from the University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota, USA.

- Bernal G., Velásquez A., Vargas I., Agudelo A., Andrade C., Domínguez J., Ricaurte C. y Mayo G., 2006. Variabilidad de los aportes a los sedimentos superficiales durante un ciclo anual en los bancos de Salmedina. *Boletín Investigaciones Marinas Costeras*, 35: 59-75.
- Boltovskoy, E. 1981. Masas de agua en el Atlántico Sudoccidental, 227-237 p. In Boltovskoy, D. (ed.), *Atlas del Zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*, Publicación Especial del Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, Argentina. 261- 316 p.
- Boltovskoy D., 1989. Radiolarian record of the last 40,000 years in the western equatorial Pacific. *Oceanologica Acta* 12/1, 79-86 p.
- Boltovskoy, D. 1995. Formation and deformation of the microfossil record: plankton, sediment traps and surface sediments (Extended abstract). *1 Seminario Latino-Americano de Geoquímica Organica no Meio Ambiente y 1 Workshop sobre Paleoceanografía com enfase em Micropaleontologia e Estratigrafia, Gramado, Brasil, 12-15 Noveber*, 35-41 p.
- Boltovskoy D., 1999. Radiolaria Polycystina "South Atlantic Zooplankton" Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Backhuys Publishers, Leiden. 149-212 pp [ISBN 90-5782-035-8]
- Boltovskoy D., Oberhaensli H. & Wefer G., 1995. Radiolarian assemblages in the eastern tropical Atlantic: patterns in the plankton and in sediment trap samples. *Journal of marine Systems*: 8 (1996), 31-51p.
- Boltovskoy D. & Jankilevich S., 1985. Radiolarian distribution in East Equatorial Pacific Plankton. *Oceanol Acta* 8: 101-123 p.
- Boltovskoy D. y Uliana E., 1996. Seasonal variation in the flux of microplankton and radiolarian assemblage compositions in the northeastern tropical Atlantic at 2,195 m. *Limnol. Oceanogr.* 41(4), 615-653 p.
- Broecker W., 1991. The Great Ocean Conveyor. *Oceanography*, Vol. 4, 79-89 p.

- Broecker W., 1997. Thermohaline circulation, the Achilles Heel of our climate system: Will man made CO₂ upset the current balance?. *Science*, Vol. 278, 1582-1588 p.
- Burke K. y otros, 1983. En Carvajal (2001). Four phases tectonostratigraphic development of the southern Caribbean. 10th Caribbean geological conference. Abstract page 169. Cartagena de Indias. Colombia.
- Cachon J. y Cachon M., 1972. Le système axopodial des radiolaires sphaeroidés. II. Les Periaxoplastidiés, III - Cryptoaxoplastidiés (anaxoplastidiés), IV - Les fusules et le système rheoplasmique. *Arch. Protistenk.*, 114:291-307 p.
- Campbell, A. 1954. Subclass Radiolaria, D11-D163 p. In: Moore, R.C. (Ed.), *Treatise of Invertebrate Paleontology. Protista 3.* Geological Society of America and Kansas University Press, Lawrence, Kansas. D.11-D.163 Pp.
- Casey, R., 1993, Radiolaria, en: Lipps, J. *Fossil Prokaryotes and Protist.* Blackwell Scientific Publications, Oxford, 377 p.
- Castaño, 2002. *Golfos y Bahías de Colombia.* Banco de Occidente. Santiago de Cali, Colombia 206 p.
- Ciesielski, P.F. and Bjørklund, K.R., 1995. Ecology, morphology, stratigraphy, and the paleoceanographic significance of *Cycladophora davisiana davisiana*. Part II: Stratigraphy in the North Atlantic (DSDP Site 609) and Labrador Sea (ODP Site 646B). *Marine Micropaleontology*, vol. 25: 67-86 p.
- Correa I., Ríos A., González D, Toro M., Ojeda G. y Restrepo I., 2007. *Erosión Litoral entre Arboletes y Punta San Bernardo, Costa Caribe Colombiana.* Universidad EAFIT, Medellín. Instituto Colombiano del Petróleo ICP, Piedecuesta, Colombia. 22p.
- Deflandre G., 1967. *La vida creadora de rocas.* Universidad de Buenos Aires. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Argentina.
- Dolven J., 1998. Late Pleistocene to late Holocene Biostratigraphy and Paleotemperatures in the SE Norwegian Sea, based on Polycystine Radiolarians. Master's Degree Thesis, University of Oslo (Norway), 155 pp.

- Duque H., 1980; en Carvajal, 2001. Geotectónica y evolución de la región noroccidental colombiana. Boletín Geológico INGEOMINAS vol. 23 No.3 34 p. Bogotá.
- Duque H. 1984; en Carvajal, 2001. Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú - San Jacinto en el Noroccidente de Colombia. Boletín Geológico INGEOMINAS vol. 27 No.2 pp.1-29 Bogotá.
- Duque H., 1990. Neogene stratigraphy, paleoceanography, and paleogeography in northwest South America and the evolution of the Panama Seaway. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 77, 203- 234 pp.
- Encarta, 2006. Biblioteca Premium.
- Garzón S., 2007. Dinoflagelados del Oligoceno Temprano-Mioceno Temprano de la sección Arroyo Alférez, Colombia. Tesis de Pregrado Universidad Industrial de Santander.
- González H., Núñez A. y París G., 1988. Mapa Geológico de Colombia, Memoria Explicativa. INGEOMINAS. Bogotá, Colombia.
- Guerra R., 1980. Final Report: Biostratigraphy, paleoenvironments and visual organic geochemical studies. MOBIL San José 1 Offshore Colombia.
- Haeckel E. 1862. Die Radiolarien (Rhizopoda Radiaria). Eine Monographie. Reimer, Berlin, 1-572 pp.
- Haeckel E., 1881. Prodomus Systematis Radiolarium, Entwurf eines Radiolarien-Systems auf Grund von Studien der Challenger-Radiolarien. *Jenaische Zeitschr. Naturwiss.*, 15, 3: 418 – 472 p.
- Haeckel E., 1887. Report on Radiolaria collected by H.M.S. Challenger during the years 1873-1876. *Rep. Sci. Res. Voyage H.M.S. Challenger 1873-76*, 18:1-1803 p.
- Haslett S., 1992. Early Pleistocene glacial-interglacial radiolarian assemblages from the eastern equatorial Pacific: *Journal of Plankton Research*, v. 14, 1553-1563 p.
- Haslett S., 1995, Mapping Holocene upwelling in the eastern equatorial Pacific using Radiolaria: *The Holocene*, v. 5, 470-478 p.

- Haslett S., 2002. Quaternary Environmental Micropalaeontology. Oxford University Press Inc., New York. 339 p.
- Hernández R., Ramírez V. y Reyes J., 2003. Evolución Geohistórica de las Cuencas del Norte de Colombia. VIII Simposio Bolivariano – Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, vol. 2, 256- 263 pp.
- Hollande A. y Enjumet M., 1960. Cytologie, évolution et systématique des Sphaeroidés (Radiolaires). Arch. Mus. Nation. Hist. Natur., Paris, Ser. 7, 7:1-134. A major contribution toward a new classification of spherical spumellarians based on cytological traits.
- INVEMAR - Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005. Los Ecosistemas del Mar Caribe Colombiano y de sus Costas, 38 p.
- Javelaud, 1986. Sedimentología de la Plataforma Continental del Caribe Colombiano. Boletín Científico. C.I.O.H. 6: 17-39 p.
- Kanaya, T., and Koizumi, I., 1966, Interpretation of diatom thanatocoenoses from the North Pacific applied to a study of core V20-130 (studies of a deep-sea core V20-120, part IV): Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser., v. 37: 89-130 p.
- Kling S.A. 1978. Radiolaria. In "Introduction to marine micropaleontology" (Haq B., Boersma A., eds.), Elsevier, New York, 203-244 pp.
- Kudo, R. 1969. Protozoología. Edit. CECOSA, México, 483-485 pp.
- Leble S. y Cuignon R., 1987. El archipiélago de las islas del Rosario, estudio morfológico, hidrodinámico y sedimentológico. Boletín Científico, CIOH, 7: 37-52 p.
- Legendre P. y Legendre L., 1998, Numerical Ecology. Elsevier. 853 p.
- Levitus, S., 1994. World Ocean Atlas. NOAA. US. Dept. Commerce, Washington DC. (<http://ingrid.ldeo.columbia.edu/SOURCES/LEVITUS94/>)
- Linch H., Peterson L., Overpeck T., Trumbore S. y Murray D. 1997. Late Quaternary climate change from $\delta^{18}\text{O}$ records of multiple species of planktonic foraminifera:

- High-resolution records from the anoxic Cariaco Basin, Venezuela. *Paleoceanography*, Vol. 12, No. 3, 415-427 p.
- López S., 2004. Foraminíferos Bénticos Recientes de los Bancos de Salmedina, Caribe Colombiano. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Matsuoka A., 1993. Observations of living radiolarians from the surface water in the Caribbean Sea. *News of Osaka Micropaleontologists*, Special Volume 9, 349-363 pp.
- McMillen K. and Casey R., 1977. Distribution of living polycystina radiolarians in the Gulf of Mexico and Caribbean Sea, and comparison with the sedimentary record. *Marine Micropaleontology*, 3 (1978): 121-145.
- Nigrini C, and Caulet J., 1992. Late Neogeno radiolarian assemblage characteristic of Indo-Pacific areas of upwelling. *Micropaleontology*, 38: 138-164 p.
- Orejarena J., Domínguez J., Ricaurte C., Mayo G. y Andrade C., 2004. Variaciones de la concentración de la clorofila a y su relación con los parámetros físicos medidos en los Bancos de Salmedina durante 2003-2004, Caribe colombiano. *Boletín Científico, CIOH*, 22: 56-63 p.
- Pelgrain A., 1990, en Carvajal (2001). Rasgos tectónicos y estilo estructural de la margen activa noreste colombiana. *Boletín CIOH*. Cartagena, Colombia. 51 p.
- Petrushevskaya, M. G. 1962. Znachenie rosta skeleta radiolyarii dlya sistematiki. *Zoologicheskii Zhurnal*, 41:331-341 p.
- Petrushevskaya, M. G. 1967. Radiolyarii otryadov Spumellaria i Nassellaria Antarkticheskoi oblasti (po materialam Sovetskoi Antarkticheskoi Ekspeditszii). *Issledovaniya Fauny Morei*, Nauka, Leningrad, 9(12), 3:5-186.
- Petrushevskaya M., 1981. Radiolyarii otryada Nassellaria Mirovogo Okeana [Radiolarians of the order Nassellaria from the World Ocean]. Nauka, Leningrad, pp. 1-405. A catalogue and new classification scheme of all extant and extinct nassellarians.
- Petters V. y Sarmiento R., 1956. Oligocene and Lower Miocene Biostratigraphy of the

- Carmen-Zambrano áreas, Colombia. *Micropaleontology*, vol. 2, 7-35 pp.
- Riedel W., 1967. Subclass Radiolaria. In "The fossil record" (W.B. Harland *et al.*, eds.), Geol. Soc. London, 291-298 pp.
- Riedel W., 1971. Systematic classification of polycystine Radiolaria. In "The micropalaeontology of oceans" (W.R. Riedel, B.M. Funnell, eds.), Cambridge Univ. Press, Cambridge, 649-660 pp.
- Riedel W. y Sanfilippo A., 1986. Morphological characters for a natural classification of Cenozoic Radiolaria, reflecting phylogenesis. *Mar. Micropaleontol.*, 11:151-170 p.
- Rincón D., 2004. Condiciones Paleocceanográficas del Mar Caribe Suroccidental (0-60 ka BP), Estimadas a partir del registro de asociaciones de Foraminíferos Bentónicos y Planctónicos del núcleo ODP-999a. Tesis de Maestría, Departamento de Geología, Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- Takahashi K., 1991. Radiolaria: Flux, Ecology, and Taxonomy in the Pacific and Atlantic. Departmente of Geology and Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institution. Masachusetts, USA. 303 p.
- Tindale K. y Risch D., 2006. Mapa total de la zona Isla Fuerte, Escala 1:100000. BHP y ECOPETROL S.A.
- Toro M., 2003, Radiolarios Recientes como Indicadores Paleocceanográficos en la Cuenca de Panamá, Pacífico Colombiano. Tesis de Pregrado. Universidad EAFIT, Medellín. 63 p.
- Torres V., Pulido M., Vargas M., Rodríguez M., Ortiz A., Reyes A., Peña L., Fiorini F., Flores J., Sierro F., Mejía A., Duque-Caro H., Rueda M., Carlos Molinares Blanco, Oswaldo Mantilla Muñoz, Sandra Garzón Beltrán, Diana Espitia Vanegas, John Ortiz, Jairo Alexander Duarte Forero, Sandra Restrepo Acevedo, Olga Lucía Celis Guzmán y Patarroyo G., 2007. Macroproyecto modelamiento de cuencas costa afuera: "Estratigrafía de las secuencias Cenozoicas del norte de Colombia" 149p.

- Tribovillard N., Caulet J., Vergnaud-Grazzini C., Moureau N. & Tremblay P., 1996. Lack of organic matter accumulation on the upwelling-influenced Somalia margin in a glacial-intelglacial transition. *Marine Geology*, 133, (3-4), 157-182 p.
- Vergnaud C., Caulet J. & Vence-Peyré M., 1995. Index de fertilité et mousson dans le bassin de Somalia. Evolution au Quaternaire supérieur. *Bull. Soc. Géol. France*, 1995, t. 166, n° 3, 259-270 pp.
- Van de Paverd P., 1995. Recent Polycystine Radiolaria from the Snellius-II Expedition. Paleontological Museum, University of Oslo. Oslo, Norway. 351 p.
- Van Morkhoven F., Berggren W., Edwards A., 1986. Cenozoic Cosmopolitan Deep-Water Benthic Foraminifera. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, Memoir 11: 1 -423 p. Appendix I.
- Vernette G., Maufret A., Bobier C., y Gayet J., 1992. Mud diapirismo, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian Margin. *Revista Tectonophisics*. Elsevier science publishers. Amsterdam, Holland. 335 -349 p.
- Wang R., Clemens S., Huang B. & Chen M., 2003. Quaternary palaeoceanographic changes in the northern South China Sea (ODP Site 1146): radiolarian evidence. *Journal of Quaternary Science* 18 (8), 745-756 p.

www.cco.gov.co/imagenes%20tsunami/Imagen1.jpg

www.radiolaria.org