



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# Influencia de factores ecológicos en la distribución, abundancia y asociaciones de foraminíferos bénticos recientes en ecosistemas de manglar en el Golfo de Urabá

**Eliana Gómez Ocampo, Ing. Biológica**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas  
Medellín, Colombia  
2011

# Influencia de factores ecológicos en la distribución, abundancia y asociaciones de foraminíferos béticos recientes en ecosistemas de manglar en el Golfo de Urabá

**Eliana Gómez Ocampo**

Tesis o trabajo de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Medio Ambiente y Desarrollo**

Directora:  
(Ph.D.) Gladys Bernal Franco

Línea de investigación:  
Ecosistemas marinos  
Grupo de Investigación:  
Oceánicos

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas  
Medellín, Colombia  
2011

*Infinitas gracias... A la vida por las oportunidades... A mi familia por su apoyo incondicional... A Jaime por su amor...*

*Qué inapropiado llamar Tierra a este planeta, cuando es evidente que debería llamarse Océano.*

*Arthur C. Clarké*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi profesora y asesora Gladys Bernal por su apoyo, por ser mi guía durante la realización de este trabajo y por todo lo aprendido de ella.

A Jaime por su ayuda, amor y comprensión durante este tiempo.

A mis amigos y compañeros de oficina: Alejandro Henao, Oscar Álvarez, Ángela Gómez, Leidy Johana Yepes (Luna), Edwin Martínez, Daniel Largo, Juan David Franco, Ricardo Román, Jose Daniel Vélez, Yamith Quintana, Santiago Ortega y Luis Gabriel Molina, por haberme acogido y brindado su amistad en tan “calurosa” oficina, además por los ratos alegres que hacían de nuestro trabajo un poco más ameno. A mis amigos del PARH con quienes también compartí muchos momentos: Carolina Ortiz, Claudia Múnera, Juan Camilo Martínez (Mata) y Jose Julián Sánchez.

A mis amigos del proyecto Expedición Estuarina golfo de Urabá: Catalina Arteaga, Edgar Andrés Estrada, Luis Ferney Ortiz, Eliana Molina, Juan Felipe Paniagua y Juan David Osorio por su amistad, las salidas de campo y tantos momentos compartidos.

A quienes de uno u otro modo aportaron a este trabajo: Jaime Carmona y Mauricio Ruiz, por ayudarme y enseñarme a programar en matlab; ; Mario Jiménez por mostrarme que en excel todo puede ser fácil (Macros) y por sus asesorías en ArcGis; Juan David Osorio por enseñarme a trabajar en latex; Jose David Ramirez por su ayuda con los análisis de sedimentos; Lizeth Puerres por ayudarme a terminar el conteo de foras y a Natalia Jaramillo (Naty) por su compañía diaria y ayudarme con el diseño del modelo conceptual. Muchas gracias a todos.

A los profesores que me aportaron nuevos conocimientos: Andrés Osorio, Iván Correa, Ligia Urrego, Juan Felipe Blanco, Mario Londoño y Jaime Polanía.

En general a todos aquellos con quienes compartí estos dos años.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
1.1. Estado del arte . . . . .	3
1.1.1. Manglares . . . . .	3
1.1.2. Foraminíferos béticos en ecosistemas de manglar . . . . .	5
1.1.3. Factores ecológicos que influyen sobre foraminíferos béticos en ambientes marinos . . . . .	6
1.1.4. Factores ecológicos que influyen sobre foraminíferos béticos en ambientes de manglar . . . . .	8
1.1.5. Aplicaciones de los foraminíferos béticos en ecosistemas modernos . . . . .	11
<b>2. Problema de investigación</b>	<b>13</b>
2.1. Planteamiento del problema y justificación . . . . .	13
2.2. Objetivos e hipótesis . . . . .	15
2.2.1. Objetivo general . . . . .	15
2.2.2. Objetivos específicos . . . . .	15
2.2.3. Hipótesis . . . . .	15
<b>3. Área de estudio</b>	<b>16</b>
3.1. Generalidades . . . . .	16
3.2. Características de los bosques de manglar . . . . .	20
<b>4. Metodología</b>	<b>23</b>
4.1. Metodología en campo . . . . .	23
4.2. Metodología de laboratorio . . . . .	31
4.3. Análisis de resultados . . . . .	32
4.3.1. Mapas . . . . .	32
4.3.2. Índices . . . . .	33

4.3.3.	Análisis estadísticos . . . . .	34
4.3.4.	Cálculos sedimentológicos . . . . .	34
4.3.5.	Análisis de la relación entre foraminíferos bénticos y la calidad de aguas . . . . .	35
4.3.6.	Modelo conceptual . . . . .	36
<b>5.</b>	<b>Resultados</b>	<b>37</b>
5.1.	Abundancia de foraminíferos bénticos . . . . .	37
5.2.	Especies de foraminíferos bénticos . . . . .	39
5.2.1.	Sistemática de foraminíferos bénticos . . . . .	39
5.2.2.	Diversidad de especies y porcentaje de aglutinados . . . . .	41
5.2.3.	Especies más abundantes . . . . .	42
5.3.	Distribución de foraminíferos bénticos por tamaño de grano . . . . .	46
5.4.	Asociaciones de foraminíferos bénticos . . . . .	48
5.5.	Caracterización de los ecosistemas de acuerdo con sus variables ambientales . . . . .	49
5.5.1.	Granulometría de los sedimentos . . . . .	49
5.5.2.	Contenido de carbonato de calcio y materia orgánica . . . . .	51
5.5.3.	Calidad del agua superficial en el Golfo de Urabá . . . . .	52
5.5.4.	Zonificación según morfología y procesos físicos . . . . .	58
5.5.5.	Análisis cluster de las estaciones . . . . .	61
5.6.	Relación entre foraminíferos y variables físicas . . . . .	64
5.6.1.	Análisis estadísticos . . . . .	64
5.7.	Relación entre la distribución superficial de las asociaciones de foraminíferos y los factores ecológicos . . . . .	69
<b>6.</b>	<b>Discusión</b>	<b>72</b>
6.1.	Abundancia y diversidad de foraminíferos bénticos . . . . .	72
6.2.	Especies de foraminíferos bénticos más abundantes . . . . .	73
6.3.	Distribución de foraminíferos bénticos por tamaño de grano . . . . .	74
6.4.	Distribución espacial de las asociaciones de foraminíferos bénticos . . . . .	76
6.5.	Relación entre foraminíferos y variables físicas . . . . .	76
6.5.1.	Tamaño de grano . . . . .	76
6.5.2.	Materia orgánica . . . . .	78
6.5.3.	Carbonato de calcio . . . . .	78
6.5.4.	Salinidad, temperatura y profundidad . . . . .	79
6.6.	Relación entre las asociaciones de foraminíferos y los factores ecológicos . . . . .	80

6.7. Calidad del agua en el Golfo de Urabá y su relación con los foraminíferos bénticos . . . . .	81
6.7.1. Oxígeno disuelto . . . . .	82
6.7.2. Fertilizantes (N-NH <sub>4</sub> , N-NO <sub>3</sub> y P-PO <sub>4</sub> ) . . . . .	83
6.7.3. Contaminación con metales traza, metales pesados e hidrocarburos . . . . .	84
6.7.4. Pesticidas . . . . .	86
6.8. Zonificación según geomorfología y procesos físicos . . . . .	87
6.9. Modelo conceptual . . . . .	90
<b>7. Conclusiones</b>	<b>92</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>95</b>

# Índice de figuras

3.1. Manglares en el Golfo de Urabá . . . . .	18
3.2. Mapas del oleaje modelado y cuadros resumen de las características oceanográficas de cada época . . . . .	19
3.3. Fotografía manglares en el Golfo de Urabá . . . . .	21
3.4. Mapas de Coberturas de manglar y cuadro resumiendo características principales . . . . .	22
4.1. Localidades de muestreo de foraminíferos en los manglares del Golfo de Urabá . . . . .	24
4.2. Fotografías aéreas del Urabá chocoano donde se tomaron muestras de foraminíferos (propiedad del proyecto expedición estuarina Golfo de Urabá, fase I) . . . . .	25
4.3. Fotografías aéreas de las bahías muestreadas que conforman el delta del río Atrato (propiedad del proyecto expedición estuarina al Golfo de Urabá, fase I) . . . . .	26
4.4. Fotografías aéreas de las bahías Colombia, Turbo y El Uno (propiedad del proyecto expedición estuarina al Golfo de Urabá, fase I) . . . . .	27
4.5. Fotografías aéreas de la Martina, río Caimán viejo, El Carlos y La Cartagenita (propiedad del proyecto expedición estuarina al Golfo de Urabá, fase I) . . . . .	28
4.6. Fotografías aéreas de la ensenada de Rionegro (propiedad del proyecto expedición estuarina al Golfo de Urabá, fase I) . . . . .	29
4.7. Fotografías aéreas del Caribe antioqueño (propiedad del proyecto expedición estuarina al Golfo de Urabá, fase I) . . . . .	30
4.8. Recolección de las muestras de sedimentos . . . . .	31
4.9. Procedimiento en laboratorio para la separación de foraminíferos de los sedimentos . . . . .	32
4.10. Estaciones de monitoreo de calidad de aguas (INVEMAR) . . . . .	35



5.1. Abundancias totales de foraminíferos . . . . .	38
5.2. Fotografías de foraminíferos bénticos tomadas desde un microscopio de barrido electrónico. 1. <i>Milliammina fusca</i> (Debenay y Luan). 2. <i>Haplophragmoides canariensis</i> (Barker) 3. <i>Arenoparrella mexicana</i> (Kornfeld). 4. <i>Trochammina squamata</i> (Barker). 5. <i>Ammonia beccarii</i> (Linné). 6. <i>Ammonia differens</i> (McCulloch). 7. <i>Ammobaculites exilis</i> (Cushman y Brönnimann). 8. <i>Ammobaculites americanus</i> (Cushman). 9. <i>Ammotium salsum</i> (Cushman y Brönnimann). 10. <i>Ammobaculites exiguus</i> (Cushman y Brönnimann). 11. <i>Rosalina cf globulariformis</i> (McCulloch). 12. <i>Trochammina inflata</i> (Montagu). 13. <i>Amoastuta inepta</i> (Cushman y McCulloch). 14. <i>Cellanthus gunteri</i> (Cole). 15. <i>Anomalinoidea kurtzi</i> (McCulloch). 16. <i>Bolivina cf arenosa</i> (Chapman). 17. <i>Discorbis granulosa</i> (Heron-Allen y Earland). 18. <i>Elphidium mexicanum</i> (Kornfeld). 19. <i>Haplophragmoides wilbertii</i> (Andersen). . . . .	40
5.3. Mapas mostrando los valores de los índices de Simpson (derecha) y Shannon- Weaver (izquierda) para cada localidad muestreada en los manglares del Golfo . . . . .	41
5.4. Mapa mostrando a) Ubicación y especies de foraminíferos teñidos; b) distribución de foraminíferos con caparazón aglutinado . . . . .	42
5.5. Distribución de las abundancias de <i>M. fusca</i> en los manglares del Golfo de Urabá . . . . .	43
5.6. Distribución de abundancias <i>H. canariensis</i> (arriba) y <i>A. exiguus</i> (abajo). . . . .	44
5.7. Mapas distribución de abundancias a) <i>T. squammata</i> , b) <i>A. exiliis</i> , c) <i>A. salsum</i> , d) <i>A. americanus</i> . . . . .	45
5.8. Diagrama de cajas mostrando la distribución por intervalos de tamaños de grano de las abundancias totales de foraminíferos bénticos . . . . .	46
5.9. Gráficos de bloques mostrando la distribución de abundancias por intervalos de tamaño de grano según la especie; a) Para el total de individuos por especie; b) individuos teñidos por especie . . . . .	47
5.10. Dendrograma obtenido del análisis cluster de las abundancias de las once especies más abundantes en el Golfo de Urabá . . . . .	48
5.11. Distribución espacial de las asociaciones resultantes de los grupos del análisis cluster . . . . .	49
5.12. Variación espacial del tamaño medio de grano (a), de la asimetría (b), la selección (c) y la clasificación textural de los sedimentos (d) (en unidades phi) en los manglares del Golfo de Urabá. La clasificación de los sedimentos se hizo según Folk (1954) . . . . .	50
5.13. Distribución del porcentaje de lodos en los manglares del Golfo de Urabá	51

5.14. Mapas mostrando la distribución de % de carbonato de calcio (izquierda) y % de Materia orgánica (derecha) . . . . .	52
5.15. Variables químicas indicadoras de calidad de agua. Las estaciones con estrella coinciden con las localidades de muestreo de foraminíferos. a) Comportamiento del oxígeno disuelto (OD) en diferentes localidades del Golfo de Urabá. La línea negra indica el valor de referencia mínimo de 4mg/L, según la legislación colombiana; b) Concentraciones de fosfatos (P-PO <sub>4</sub> ) medidas en aguas superficiales de Antioquia. Estaciones con * sobrepasaron los 400 ug/L de P-PO <sub>4</sub> (gráficas tomadas de REDCAM (2010)) . . . . .	53
5.16. Gráficos de concentraciones de nutrientes. a) Concentraciones amonio N-NH <sub>4</sub> ; b) Concentraciones medidas de nitratos N-NO <sub>3</sub> . Las estaciones con * sobrepasan los 1500 ug/L de N-NO <sub>3</sub> (REDCAM, 2010) . . . . .	55
5.17. Concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) medidos en playas de Antioquia. La línea verde en 2.3 es el logaritmo de 200 NMP/100mL que indica el límite permisible para el contacto primario según el decreto 1594 (Minsalud, 1984) (REDCAM, 2010) . . . . .	56
5.18. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) en aguas superficiales (REDCAM, 2010) . . . . .	57
5.19. Zonificación realizada en los manglares del Golfo de Urabá según su ubicación y procesos físicos . . . . .	58
5.20. distribución de los dos grupos obtenidos del análisis cluster . . . . .	62
5.21. Dendrograma obtenido del análisis cluster de las variables mas significativas (abundancia totales de foraminíferos, % materia orgánica, % de carbonato de calcio, % lodos, media del tamaño de grano y % de aglutinados) en las localidades de muestreo. . . . .	63
5.22. Matriz de correlación entre las variables seleccionadas. Las correlaciones resaltadas son significantes a un valor $p < 0.05$ . a) Especies más abundantes presentes en los sedimentos; b) Especies de foraminíferos teñidos . . . . .	64
5.23. Análisis de regresión múltiple. a) Con todas las variables; b) Con las variables mas significativas; c) Con la especie mas abundante como variable dependiente y las variables mas significativas como independientes; d) con las abundancias de los individuos teñidos de <i>M. fusca</i> como variable independiente y las variables mas significativas como independientes . . . . .	66

5.24. Resultados del análisis de componentes principales entre las once especies principales, la profundidad, la temperatura, la salinidad, el % de materia orgánica, el % carbonatos, el % lodos, la media del tamaño de grano, el índice de Shannon y el % de aglutinados. . . . .	68
5.25. Resultados del análisis de componentes principales entre las dos especies que resultaron teñidas, la profundidad, la temperatura, la salinidad, el % de materia orgánica, el % carbonatos, el % lodos, la media del tamaño de grano, el índice de Shannon y el % de aglutinados. . .	69
6.1. Esquema tentativo donde se resume la influencia de factores ecológicos sobre foraminíferos béticos en los manglares del Golfo de Urabá, según los resultados obtenidos en el estudio . . . . .	91

# Índice de cuadros

5.1. Sistemáticas foraminíferos bénticos manglares del Golfo de Urabá y abundancias en el total de las muestras . . . . .	39
5.2. Concentraciones de plaguicidas detectados en aguas superficiales de Antioquia en la época lluviosa de 2009 y la seca de 2010 REDCAM (2010) . . . . .	57
5.3. Coeficiente de similitud (Jaccard, 1942) calculado para la zonificación de los manglares . . . . .	59
5.4. Cuadro descriptivo mostrando la zonificación de los manglares según su morfología y procesos físicos . . . . .	60
5.5. Paralelo de las variables entre los dos grupos obtenidos a partir del análisis cluster . . . . .	61
5.6. Paralelo entre las variables ambientales de los grupos resultantes del análisis cluster de las estaciones con foraminíferos . . . . .	70
5.7. Paralelo entre la zonificación de los manglares de las asociaciones de foraminíferos resultantes del análisis cluster de las estaciones con foraminíferos . . . . .	70
5.8. Paralelo entre las variables de los grupos resultantes en el análisis cluster	71
6.1. Valores de indicadores de calidad de agua (época seca de 2009) en los sitios monitoreados por REDCAM donde se tomaron muestras de foraminíferos . . . . .	82
6.2. Resumen de los resultados obtenidos . . . . .	89

## Resumen

Los foraminíferos bénticos son microorganismos (protozoarios) marinos que poseen concha y habitan en los sedimentos. En estuarios y manglares, se presenta menor número de especies y menor abundancia de éstos que en aguas marinas abiertas, ya que en general éstos son ambientes restringidos para ellos. Sin embargo, en muchos estuarios y manglares del mundo se están estudiando las especies de foraminíferos y se ha encontrado que pueden ser buenos indicadores de variables ambientales, aunque queda mucho por entender sobre los factores que controlan la ocurrencia de las especies en estos ambientes. En el Golfo de Urabá no se encuentran reportes de estudios de foraminíferos en manglares; éste se caracteriza por ser un lugar de condiciones particulares debido a la influencia de uno de los ríos más caudalosos del mundo: el río Atrato, el cual desemboca en el Golfo y realiza grandes aportes de sedimentos continentales y agua dulce en esta parte del Caribe, además se ha encontrado que la pluma de este río tiene gran influencia en los patrones de dispersión de sedimentos y contaminantes adentro del Golfo. Todas estas características favorecen el desarrollo de diferentes tipos de manglares (ribereños, de borde, expuestos al oleaje, de laguna, etc.), haciendo de este lugar una zona de estudio interesante de la que se pueden obtener valiosos aportes. Lo que se pretendió en el presente estudio fue tratar de entender la influencia de factores ecológicos en la distribución superficial de asociaciones de foraminíferos bénticos en diferentes ecosistemas de manglar en el Golfo de Urabá, con el fin de hacer un aporte a los conocimientos que ya existen sobre la dependencia de los foraminíferos bénticos en estos ecosistemas y los cuales son escasos. Los resultados mostraron diez especies aglutinadas y una cálcarea dominantes en estos manglares: *M. fusca* (61%), *H. canariensis* (7%), *A. exiguus* (7%), *T. squamata* (5%), *A. exiliis* (5%), *A. salsum* (3%), *A. americanus* (3%), *A. mexicana* (2%), *A. beccarii* (2%), *T. inflata* (1%) y *H. wilbertii* (1%), siendo las aglutinadas las que dominan el área. Además se observó la ausencia de foraminíferos en zonas de manglar sometidas a alta energía hidráulica (oleaje y corrientes) y las mayores abundancias en ambientes depositacionales. *M. fusca*, resultó abundante en sustratos lodosos, mientras que *H. canariensis* y *T. squamata* resultaron tener preferencia por lugares con abundante materia orgánica. Se encontró que las abundancias más altas se presentaban en las fracciones pequeñas de sedimentos, particularmente la especie *T. squamata* ocurrió más abundante en la fracción 63µm-150µm. Se analizó también la calidad de agua del Golfo y se encontró que podría estar afectando la presencia de los foraminíferos, debido a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto presente en sus aguas y que probablemente estaría propiciando la colonización de los sedimentos por la especie *A. beccarii* típica de ambientes con bajas concentraciones de oxígeno.

Este estudio hizo parte del proyecto Expedición Estuarina Golfo de Urabá-Fase I, el cual pertenece al programa Expedición Antioquia 2013 financiado por la Gobernación de Antioquia.

## Abstract

The benthic foraminifera are shelled marine microorganisms living in sediments. Estuaries and mangroves are marginal environments for them. In these environments, the distribution of benthic foraminifera has not been described clearly. However, this topic has become important because the foraminifera can be good bioindicators of environmental variables, although much remains to be understood about the factors controlling the occurrence of species in these environments. The Gulf of Urabá has different types of mangroves which have an area of 6.993 ha in the coastal zone and we don't have reports of studies of the benthic foraminifera living there. The aim of this study was to determine the benthic foraminifera biodiversity at the mangrove ecosystems of the Uraba gulf related to the environment. We found ten agglutinated and one calcareous species dominating in these mangroves: *M. fusca* (61%), *H. canariensis* (7%), *A. exiguus* (7%), *T. squammata* (5%), *A. exiliis* (5%), *A. salsum* (3%), *A. americanus* (3%), *A. mexicana* (2%), *A. beccarii* (2%), *T. inflata* (1%) and *H. wilbertii* (1%). Also we did not find foraminifera in mangrove zones exposed to waves and currents and the highest abundances in protected mangroves. Mud percentage in sediments was related with the most abundant species, *M. fusca*. Organic matter was related with *H. canariensis* and *T. squamata* occurrence, besides water quality probably is acting on benthic foraminifera. *T. squamata* showed preference for the smaller sediment fraction (63µm-150µm).

# Capítulo 1

## Introducción

Los foraminíferos son protistas unicelulares muy conocidos por la variedad y abundancia de su registro fósil. Constituyen el grupo más diverso de microorganismos con concha en los océanos modernos (Bernal y otros, 2008). La mayoría de los foraminíferos recientes son béticos (aproximadamente 2140 especies)(Murray, 2007), solamente se encuentran entre 40-50 especies de foraminíferos planctónicos. Según la clasificación de Loeblich y Tappan (1987) se encuentran clasificados en el reino Protista, phylum granoreticulosa (tipo de pseudópodos) y clase foraminífera (Sen Gupta, 1999). Cada especie tiene unas condiciones ambientales en las cuales puede existir, controladas por factores bióticos (disponibilidad alimenticia, competitividad, espacio), abióticos (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes, mareas, sustrato) y mixtos (perturbaciones, control sobre la anoxia)(Murray, 2006). Son muy utilizados en paleoceanografía para la reconstrucción de condiciones ambientales en ambientes marinos antiguos y además permiten ser usados como bioindicadores de condiciones ambientales en el presente. Los foraminíferos son microorganismos de origen netamente marino. Los estuarios, manglares y deltas presentan condiciones extremas para éstos, ya que se encuentran en el límite entre condiciones marinas y de agua dulce, haciendo que se vean obligados a acomodarse a unas condiciones estresantes para ellos, donde los recursos que normalmente se encuentran en el medio marino, son escasos. Sin embargo, existen especies adaptadas a estos ambientes que cumplen un papel ecológico dentro de los mismos y que además son potencialmente bioindicadores de sus condiciones ambientales. Esta tesis realiza un estudio de las poblaciones de foraminíferos béticos en los manglares del Golfo de Urabá con el fin de contribuir al entendimiento de la relación entre estos organismos y su entorno, establecer una línea base de conocimiento sobre la biodiversidad en esta región y evaluar el potencial de éstos como bioindicadores ambientales.



## 1.1. Estado del arte

### 1.1.1. Manglares

Los manglares son ecosistemas que se encuentran en la interfase entre el ambiente terrestre y marino. Son intermareales, se encuentran adaptados a altas temperaturas, fluctuaciones de salinidad y a cambios aeróbicos y anaeróbicos de los sustratos. Los manglares de borde, de ribera y de cuenca son representados por 70 especies tropicales y subtropicales, 28 géneros y 19 familias. La cobertura global de este tipo de plantas se ha estimado en 152308 Km<sup>2</sup>. Los bosques de manglar proveen servicios ecológicos y productos naturales. Los servicios incluyen protección a inundaciones, prevención de la erosión de la línea de costa y amortiguador de salinidad (Lewis y otros, 2011). En general, los manglares son el biotipo más variable de todos los relacionados, de una u otra forma, con el mar. Se considera como una regla que la variabilidad de las condiciones de vida disminuye desde la orilla hacia el mar abierto y si en las profundidades abisales el ambiente es el más constante en los manglares será el más variable. Estos ambientes son la forma límite entre la tierra y el océano. Los manglares muestran variados grados de entrada de agua dulce y pérdida mediante evaporación y por lo tanto presentan gradientes de salinidad. Estos gradientes pueden ser verticales u horizontales dependiendo del flujo del río y régimen mareal. Donde las mareas están presentes, hay una zona intermareal; algunas veces esta es bordeada en el lado hacia tierra por un área con vegetación de halofitos (marismas en regiones templadas, manglares en regiones tropicales). Todos estos ecosistemas son sensibles a cambios (por Ej. del nivel del mar, temperatura, escorrentía de agua dulce, salinidad, contaminación). Los sedimentos intermareales con vegetación son llamados pantanos de manglar en climas tropicales. Estos existen por la colonización de especies (angiospermas halofitos tolerantes a la sal) que viven y se mantienen allí. Los manglares están restringidos a zonas tropicales entre 32° N y 38° S; estos crecen a una temperatura mínima mensual del aire de 20°C (Murray, 2006). Los manglares son de gran importancia para los humanos por una variedad de razones, incluyendo acuicultura, agricultura, forestal, protección contra la erosión de la línea de costa, material de construcción y otros usos de subsistencia local. A nivel mundial la pérdida de manglares ha sido significativa en décadas recientes aunque en algunas regiones del mundo se encuentran todavía extensos bosques de manglar. Ellos sufren impactos directos tales como tala y contaminación, también de efectos visibles, tales como los cambios en el manejo del agua dulce y a menudo se consideran como entornos desagradables con poco valor intrínseco (Nagelkerken y otros, 2008).

Los manglares se encuentran asociados con zonas de baja energía, costas pantanosas, particularmente con deltas tropicales, ellos pueden crecer en una amplia variedad de sustratos, incluyendo arena, lava volcánica, o sedimentos carbonatados. Cuando

los sedimentos, tales como los lodos terrígenos son traídos de afuera del ecosistema, se llaman alotóctonos. En áreas carbonatadas donde no es común tener aporte de sedimentos terrígenos los manglares pueden establecerse sobre esqueletos calcáreos o sustratos arrecifales o lodos calcáreos o a menudo sobre una turba orgánica originada en gran medida por las raíces de los mismos mangles. Estos sedimentos producidos en el mismo ecosistema son llamados autóctonos (Alongi y Robertson, 1992). Los sedimentos en los manglares están compuestos principalmente por fracciones finas (arcilla y limo), altas cantidades de materia orgánica y sales solubles, con valores de pH variando entre 5.0 y 7.9. La mineralogía de éstos sedimentos está compuesta por cantidades abundantes de cuarzo y caolinita, pero también se encuentra esmectita, illita, pirita, jarosita, halita, moscovita, feldespato, albita, vermiculita y vermiculita clorita (Progene y otros, 2010).

#### 1.1.1.1. Entornos ambientales

Los manglares en márgenes costeros ocurren en un número diferente de entornos ambientales comprendiendo geoformas particulares y difiriendo en procesos físicos responsables de transporte de sedimento y depositación. Cada entorno comprende 3 características: geofísicas (clima, marea y nivel del mar), geomorfológicas y biológicas. El abastecimiento de sedimento en entornos terrestres o su producción en el caso de entornos de carbonato y el subsecuente transporte y depositación son importantes en la ecología del manglar. A continuación se definirán tres entornos terrestres diferentes según Woodroffe (1992 en (Alongi y Robertson, 1992).

**Dominados por ríos** : Bosques de manglar que se desarrollan en deltas de grandes ríos tropicales. Tales deltas reciben grandes descargas de sedimentos de cabeceiras geológicamente jóvenes y activas y son extremadamente dinámicos. Están divididos en planos deltaicos activos dominados por distribuciones las cuales llevan descargas fluviales y planos deltaicos abandonados, asociados con distribuciones que no son muy activas. Los bosques de manglar son frecuentemente restringidos en los planos deltaicos activos, por el fuerte flujo de agua dulce, a menudo desarrollan una cuña salina en las partes profundas del canal, lo cual no favorece la extensión de los manglares corriente arriba.

**Dominados por olas** : En aquellas costas las cuales son dominadas por la energía del oleaje y sobre las cuales hay un abundante suministro de arena, la costa estará formada por crestas de arena paralelas a la costa, a menudo como islas barrera encerrando una serie de lagos elongados. Sustratos arenosos no son favorables para el establecimiento de manglares, pero los bosques de manglar pueden ocurrir en lagos protegidos.

**Dominados por olas y por ríos** : Donde los ríos proveen grandes volúmenes de sedimento a una costa dominada por olas. Se desarrollan un complejo de geoformas dentro de las cuales pueden desarrollarse extensos bosques de manglar.

#### 1.1.1.2. Clasificación de los manglares

Según Cintron y Novelli (1984, en (Mazda y Wolanski, 2009)) los manglares se clasifican en:

**Bosques ribereños** : En las llanuras de inundación a lo largo de los drenajes del río, los cuales son inundados por mareas altas e inundados durante la época húmeda.

**Bosque de cuenca** : Compuesto por depresiones, las cuales son inundadas por mareas bajas durante la época seca y mareas altas durante época húmeda.

**Bosques de borde** : Líneas costeras con elevaciones, las cuales son inundadas y rebosadas durante todas las mareas altas.

**Bosques de sobre-lavado** : Islas bajas y pequeñas penínsulas, las cuales son completamente sobre lavadas en todas las mareas.

**Bosques enanos** : Pisos topográficos por encima del nivel medio del mar, los cuales son inundados por mareas sólo durante la época húmeda y están secos la mayor parte del año.

#### 1.1.2. Foraminíferos bénticos en ecosistemas de manglar

La característica general de la fauna de foraminíferos de los manglares es la siguiente: es muy pobre en número de especies y muy variable desde el punto de vista de la cantidad de ejemplares encontrados. No existen especies pláncicas. Las bénticas son casi exclusivamente aglutinadas. Esto se explica por el muy pobre contenido de calcio en las aguas, así como por la muy probable disolución pos mortal de los caparazones, debido al pH bajo. Las áreas de las especies están muy separadas, lo que se explica por la variabilidad reinante en las condiciones de vida en los manglares, así como la dependencia de la flora que a su vez cambia muy bruscamente. Hay muy pocas especies que viven simultáneamente en el mar abierto y en los manglares. Este factor por supuesto nos dice que las condiciones de las últimas son muy particulares. Si la distribución de foraminíferos estuviera condicionada solamente por la salinidad y la temperatura, la mayoría de las especies de los manglares podría vivir en el océano, o por lo menos en lugares con una temperatura y salinidad similares. La ausencia de

especies comunes testimonia que algunos factores de otra índole actúan aquí como elementos de gran importancia (Boltovskoy, 1965). Los estuarios contienen usualmente una fauna de foraminíferos muy restringida, sobre todo en la parte superior donde alcanzan salinidades muy bajas. En estos ambientes las especies aglutinadas son las dominantes. Consecuentemente asociaciones de foraminíferos de estuarios tienen un fuerte gradiente latitudinal, con formas aglutinadas dominando las asociaciones observadas en altas latitudes y formas calcáreas dominando las latitudes bajas (Scott, 2007). Los manglares ocupan el 70 % de las costas en el mundo, y muchas especies de foraminíferos conocidos de marismas salados se encuentran en estos pantanos (Sen Gupta, 1999). En este tipo de ambientes es común encontrar determinadas especies y de caparazón aglutinado como *Milliammina fusca*, *Arenoparrella mexicana*, *Amotium salsum*, *Haplophragmoides canariensis* entre otros.

### 1.1.3. Factores ecológicos que influyen sobre foraminíferos bénticos en ambientes marinos

La ecología estudia las causas de los patrones de distribución y abundancia de organismos. Esta se preocupa por la interacción entre individuos de especies iguales o distintas con el medio ambiente físico y químico (Murray, 2006). Las especies fijan un rango de tolerancia a las variaciones ambientales, siendo algunas especies más sensibles a unas variables ambientales que a otras. A continuación se describen las variables ambientales que se ha encontrado influyen en mayor medida a los foraminíferos bénticos. Según Gualancañay (1998) y Murray (2006) los siguientes son los factores que tienen una influencia mayor sobre foraminíferos:

#### 1.1.3.1. Salinidad

La salinidad es un factor ecológico muy importante para el desarrollo de los foraminíferos y sus alteraciones inciden negativamente en el aspecto y tamaño de los caparazones, sin embargo determinadas especies son estrictamente típicas de determinados rangos de salinidades. Puede ser salobre o hiposalino (0-33), euhalino o marino normal (33-37), hipersalino mayores a 37. Los organismos confinados en aguas con salinidad normal son llamados estenohalinos. Los tolerantes a salobres o aguas hipersalinas son eurihalinos. El rango de tolerancia para foraminíferos es desde agua dulce hasta hipersalino.

#### 1.1.3.2. Temperatura

La temperatura es un factor que condiciona la distribución horizontal e influye en la distribución vertical de todas las especies. Se ha observado que durante los cam-

bios estacionales existen cambios en la diversidad de especies. La temperatura puede ser ártica o polar, templada, tropical o caliente. Los organismos que se encuentran confinados en aguas con temperaturas extremas son llamados estenotermes. Estos tolerantes a amplios rangos de temperatura son euritermes. La temperatura límite para organismos marinos es de 45°C.

#### **1.1.3.3. Profundidad**

La profundidad es un factor que tiene influencia con la presión y tiene incidencia en la distribución vertical de los foraminíferos béticos, principalmente para los calcáreos, por ser más sensibles que los aglutinados.

#### **1.1.3.4. Concentración del ión hidrógeno(pH)**

El pH es un factor ecológico importante para la vida de los foraminíferos de conchas calcáreas, ya que con valores muy bajos de pH estas corren el riesgo de disolverse.

#### **1.1.3.5. Oxígeno**

El oxígeno es un factor vital para la distribución cualitativa y cuantitativa de los foraminíferos. La concentración depende de la temperatura y salinidad del agua, en agua de mar el rango es desde 0 hasta 8.5 ml/L. Anóxico cuando es cero, disódico de 0.2-1.0 mL/l y óxico mayor a 1.0mL/l.

#### **1.1.3.6. Turbidez**

La turbidez es un factor que perjudica el desarrollo de los foraminíferos béticos calcáreos y favorece el desarrollo de los aglutinados, debido a la cantidad de material en suspensión que tiene lugar en las zonas costeras y desembocaduras, etc.

#### **1.1.3.7. Alimentación**

La alimentación es un factor que tiene su importancia en la distribución cuantitativa de los foraminíferos e influye en el tamaño y morfología de los caparzones. La alimentación principal de los foraminíferos depende de las algas unicelulares y particularmente de las diatomeas.

#### **1.1.3.8. Sustrato**

El sustrato es un factor importante para el desarrollo de los foraminíferos aglutinados y tiene influencia cualitativa. También puede tener influencia para la distribución

cuantitativa de estos organismos cuando el sedimento es heterogéneo.

#### **1.1.4. Factores ecológicos que influyen sobre foraminíferos bénticos en ambientes de manglar**

##### **1.1.4.1. Disponibilidad de oxígeno**

El rango crítico para foraminíferos bénticos es desde la anoxia hasta la disoxia. En un estudio realizado en el lago Mljet (Mar Adriático, Croacia), (Vanicek y otros, 2000) reportan que la concentración de oxígeno disuelto es el factor limitante para foraminíferos bénticos, asociado con la influencia del mar abierto. En aguas someras donde el efecto del flujo de carbono orgánico es alto, puede ser difícil separar los efectos de la disponibilidad de alimento y el oxígeno sobre la distribución de foraminíferos bénticos, en estas condiciones el consumo de oxígeno es alto y la penetración es poca (Diz y Francés, 2008).

##### **1.1.4.2. Tamaño de grano**

Los efectos del tamaño de grano sobre la densidad y diversidad de foraminíferos son todavía tema de debate. Basándose en observaciones de densidad y diversidad de fauna Diz et al. (2004) en Diz y Francés (2008), sugieren que sustratos muy gruesos proveen unas condiciones de vida muy favorables, mientras que en otros estudios revelan que una alta proporción de partículas finas favorecen los foraminíferos bénticos (Debenay et al., 2001 en (Chatelet y otros, 2009)). En otros estudios se reporta que tamaños de grano gruesos de sedimentos muestran baja densidad y alta diversidad y viceversa (Chatelet y otros, 2009). En un estudio realizado por Debenay y Guiral (2002) en la Guyana Francesa donde el parámetro del tamaño de grano se mantenía constante, encontraron que en ese ecosistema de manglar los principales parámetros que actúan sobre la distribución están relacionados con las variables asociadas a masas de aguas (continentales o marinas), tales como: pH, salinidad y contenido de calcio. El segundo parámetro resultó ser la elevación vertical la cual deja como resultado un decrecimiento progresivo en la densidad de las asociaciones hasta desaparecer completamente. En otros estudios se observa que el tamaño de grano es el parámetro más limitante, mientras más grueso el grano habrá menor densidad y mayor diversidad y viceversa y el segundo parámetro es la cantidad y calidad de la materia orgánica (Chatelet y otros, 2009). Mojtahid y otros (2009) encontraron que la cantidad y calidad de la materia orgánica es el factor más incidente en la abundancia, diversidad y composición de las asociaciones de foraminíferos bénticos. La concentración de oxígeno disuelto también ha sido considerada un factor limitante, mientras más anóxico sea el ambiente menor será la diversidad y abundancia de especies de foraminíferos (Vanicek y otros, 2000;

Diz y Francés, 2008).

Las fracciones pequeñas (63  $\mu\text{m}$  y 150  $\mu\text{m}$ ) pueden contener un gran número de foraminíferos y especies que se encuentran ausentes o no es normal su presencia en fracciones grandes. Esto es común en ambientes ricos en partículas orgánicas donde las especies dominantes pueden estar en la fracción pequeña (Shepherd y otros, 2007).

#### **1.1.4.3. Cantidad, calidad y flujo de la materia orgánica**

Wolfgang (1996), observó que cambios en la productividad superficial, tienen un impacto significativo sobre poblaciones bénticas de aguas profundas y que bajo condiciones eutróficas decrece la diversidad con especies oportunistas, mientras que en condiciones oligotróficas aumenta la diversidad pero con bajas poblaciones. Localmente el flujo de materia orgánica es uno de los parámetros que afecta la distribución y abundancia de foraminíferos Shepherd y otros (2007). Algunos estudios muestran que la materia orgánica puede favorecer la densidad y diversidad de poblaciones de foraminíferos mientras que otros indican un decrecimiento en la densidad y diversidad (Setty, 1976; Schafer et al., 1991, 1995 en (Chatelet y otros, 2009; Nooijer y otros, 2008). Esta complejidad puede explicarse por la disponibilidad y variedad de alimento, la relación con la hipoxia y el tipo de materia orgánica (marina o continental). Un alto flujo orgánico puede dejar aguas profundas hipóxicas en ambientes costeros. En resumen, la presencia de materia orgánica parece favorecer al desarrollo de los foraminíferos hasta que su proporción en el sedimento se incrementa y llega a ser tóxica (Alve, 1991 en (Chatelet y otros, 2009).

#### **1.1.4.4. Exposición aérea y elevación vertical**

El efecto de la elevación vertical se debe a la exposición aérea a la que son sometidos durante el ciclo mareal. En humedales, la salinidad es baja, y en marea baja los organismos son protegidos del sol y el viento por el dosel y la hojarasca de los bosques de manglar, mientras que en áreas secas, las salinidades son altas y los foraminíferos están sometidos a los efectos del sol y el viento durante la exposición aérea (Debenay y Guiral, 2002). Así, el tiempo de exposición del sustrato al aire ejerce una influencia primaria en la distribución de asociaciones de foraminíferos, en conjunto con la salinidad y tipo de sedimento (Semensatto et al., 2009).

#### **1.1.4.5. Influencia de aguas marinas y continentales**

Los foraminíferos son conocidos por ser buenos bioindicadores de intrusión salina en ambientes marginales. En estos la influencia marina se evidencia por la alta biodiversidad de especies y por la combinación de especies típicas de ambientes costeros con

aquellas de ambientes restringidos (Debenay y Thi-Luan, 2006). En estudios realizados en el prodelta del Rhone observaron baja densidad y diversidad cerca de la boca del río, sugiriendo que estas condiciones ambientales son estresantes para foraminíferos béticos (Mojtahid y otros, 2009).

#### 1.1.4.6. Geomorfología

Los manglares se encuentran muy ligados a la vegetación y hábitats geomorfológicamente definidos. La distribución de especies de manglar está influenciada por varios gradientes ambientales, lo cual responde a directa o indirectamente a geoformas particulares y a procesos físicos (Alongi y Robertson, 1992).

#### 1.1.4.7. Composición vegetal

Diferencias entre la composición de la fauna en manglares de diferentes edades, ha sido coincidente con diferencias en la naturaleza del sedimento entre áreas de manglares adultos y jóvenes. En Morrissey y otros (2003) los resultados indicaron que en tales áreas de manglar maduro, el sedimento es inundado menos frecuentemente volviéndose más compacto y por lo tanto la abundancia y diversidad de la infauna decrece. Esto sugiere que en tales áreas de manglar desarrollado, el enfoque de la fauna y los cambios en la diversidad estarían asociados con las misma flora. Este cambio se correlaciona con un incremento en la complejidad estructural del manglar maduro y tal vez un decrecimiento en la calidad del hábitat (como el sedimento se vuelve mas compacto, el agua intersticial es menos oxigenada y más salina).

#### 1.1.4.8. Oleaje y corrientes

Culver (1990) realizó un estudio en un sistema manglar-lagunar en Puerto Rico y encontró que el grado de exposición al oleaje y corrientes resultan ser factores importantes relacionados con la distribución de foraminíferos y sus abundancias. Se ha relacionado el decrecimiento de la abundancia de foraminíferos béticos con el aumento de energía del oleaje, debido a que en zonas de alta energía el sustrato se vuelve más grueso y se dificulta la depositación de materia orgánica. En ambientes energéticos (con fuerte oleaje) las condiciones para el establecimiento de especies varían muy rápidamente impidiéndoles a éstas colonizar nuevos hábitats, mientras que en zonas calmadas el tiempo para establecerse es largo para la mayoría de las especies (Alve, 1999).



### 1.1.5. Aplicaciones de los foraminíferos bénticos en ecosistemas modernos

A pesar de que los foraminíferos bénticos son abundantes en los sedimentos marinos, son ignorados por los biólogos que realizan investigaciones en ecosistemas modernos (Murray, 2006). En esta sección se resaltarán la importancia de los foraminíferos para la evaluación y la respuesta a preguntas en ambientes marinos.

#### 1.1.5.1. Bioindicadores de condiciones ambientales

Los foraminíferos son organismos que por sus requerimientos ambientales específicos son utilizados como bioindicadores de ambientes marinos, debido a que poseen ciclos de vida cortos, alta biodiversidad y requerimientos ecológicos específicos que posee cada especie. Los foraminíferos reaccionan rápidamente a perturbaciones ambientales y pueden ser empleados como bioindicadores de cambios ambientales, tales como aquellos causados por contaminación antropogénica. Las muestras de foraminíferos son de fácil colecta, normalmente son abundantes, proveyendo una base de datos sumamente confiable para el análisis estadístico, siempre y cuando pequeños volúmenes de muestra estén disponibles. Estudios de los efectos de la contaminación en foraminíferos bénticos y su posible uso como indicadores de contaminación fueron iniciados a comienzos de 1960 por Resing (1960) y Watkins (1961) (Mojtahid y otros, 2006). En la última década se ha incrementado el uso de los foraminíferos para monitoreo de contaminación en un amplio rango de ambientes marinos tales como marismas intermareales impactados por derrames de aceite, puertos afectados por contaminación con metales pesados, o eutrofización de bajos continentales (Chatelet y otros, 2004) por citar algunos casos. En las últimas décadas muchos estudios de foraminíferos bénticos han sido llevados a cabo en áreas expuestas a diferentes clases de estrés. Foraminíferos bénticos generalmente responden a condiciones ecológicas adversas principalmente sufriendo (1) extinciones locales, (2) varias modificaciones las cuales incluyen cambios en la abundancia y diversidad, (3) empequeñecimiento, y (4) desarrollo de anomalías evaluables (Frontalini y Coccioni, 2008). De acuerdo con (Boltovskoy, 1965), estas anomalías han sido ligadas a un número de factores ambientales tales como (1) cambios en la salinidad y temperatura, (2) carencia o sobreoferta de alimento, (3) bajo contenido de oxígeno disuelto y (4) contaminación en ambientes marinos. Los foraminíferos sirven también para realizar monitoreos ambientales que puedan (1) resolver problemas de contaminación al relacionarlos con cambios en la población de foraminíferos, (2) comparar las conchas entre épocas naturales y de disturbios antropogénicos, (3) definir la variabilidad natural de poblaciones de foraminíferos bénticos en espacio y tiempo y (4) Enlazar los resultados de los foraminíferos a datos físicos y químicos (Scott, 2007).

### 1.1.5.2. Indicadores paleoceanográficos

Debido a su alto potencial de fosilización los foraminíferos son muy usados en estudios paleoceanográficos. Un ejemplo de esto es la rata de acumulación de foraminíferos bénticos, la cual es usada como un proxy de paleoproductividad (Smart,2008). Además de esto, en los últimos diez años los foraminíferos han llegado a ser el método escogido para evaluar las variaciones del nivel del mar, especialmente en la última parte del Holoceno, donde los cambios han sido menores a 1 m. Recientemente los estudios en los cambios del nivel del mar han sido dirigidos a dos importantes temas de actualidad: Cambios rápidos del nivel del mar inducidos climáticamente y cambios sísmicamente inducidos, donde la superficie de la tierra ha sido movida catastróficamente hacia arriba o abajo por terremotos (Scott, 2007). Los isótopos estables presentes en las conchas de los foraminíferos proporcionan un registro de condiciones ambientales y fisiología celular, por lo cual son utilizados en paleocenografía. Un ejemplo de esto son los isótopos del oxígeno como el O18, relacionado con los volúmenes de hielo y las temperaturas globales (Murray, 2006).

# Capítulo 2

## Problema de investigación

### 2.1. Planteamiento del problema y justificación

Los manglares son los bosques dominantes en ecosistemas tropicales, éstos normalmente se encuentran cerca o en la zona intermareal, caracterizada por tener una variación de factores ambientales alta, tales como: temperatura, sedimentación, nivel de inundación y corrientes mareales. Las raíces aéreas de los árboles de manglar estabilizan este ambiente y proveen un sustrato en el cual viven muchas especies de animales y plantas (Nagelkerken y otros, 2008). Los bosques de manglar son conocidos por ser ecosistemas altamente productivos, con la capacidad suficiente de actuar como trampa del material suspendido en la columna de agua. Hojas de los árboles y el crecimiento de las raíces del subsuelo proveen entradas significantes de carbono orgánico a los sedimentos del manglar, como consecuencia son grandes reservorios de carbono (Kristensen y otros, 2008). Todas estas características mencionadas anteriormente hacen de los ecosistemas de manglar lugares complejos, los cuales deben ser estudiados exhaustivamente para poder lograr entender su funcionamiento.

En estos ambientes marinos marginales, la distribución de los foraminíferos béticos no ha sido claramente descrita. Esta no depende solamente del oxígeno y la disponibilidad de nutrientes, tal como ocurre en el océano profundo, sino que muchos otros factores podrían jugar un papel más importante (Chatelet y otros, 2009). En la literatura se encuentran escasos reportes de cómo los factores ecológicos influyen en la distribución, abundancias y asociaciones de foraminíferos en manglares y los pocos que se encuentran no llegan a resultados concluyentes (Sen Gupta, 1999).

En un estudio realizado por Debenay y Guiral (2002) en la Guyana Francesa donde el parámetro del tamaño de grano se mantenía constante, encontraron que en ese ecosistema de manglar los principales parámetros que actúan sobre la distribución están relacionados con las variables asociadas a masas de aguas (continentales o marinas),

tales como: pH, salinidad y contenido de calcio. El segundo parámetro resultó ser la elevación vertical la cual deja como resultado un decrecimiento progresivo en la densidad de las asociaciones hasta desaparecer completamente. En otros estudios se observa que el tamaño de grano es el parámetro más limitante, mientras mas grueso el grano habrá menor densidad y mayor diversidad y viceversa y el segundo parámetro es la cantidad y calidad de la materia orgánica (Chatelet y otros, 2009) .

Mojtahid y otros (2009) en el prodelta del río Vigo encontraron que la cantidad y calidad de la materia orgánica es el factor más incidente en la abundancia, diversidad y composición de las asociaciones de foraminíferos béticos. La concentración de oxígeno disuelto en ambientes parálisis también ha sido considerada un factor limitante; mientras más anóxico sea el ambiente menor será la diversidad y abundancia de especies de foraminíferos (Vanicek y otros, 2000; Diz y Francés, 2008). En lo discutido anteriormente se puede observar que no se tiene claridad sobre cuáles son los factores que limitan la abundancia, el tamaño y la distribución de los foraminíferos béticos en manglares. El Golfo de Urabá es el estuario más grande de todo el Caribe colombiano (Marín-Zambrana, 2002; Bernal y otros, 2005), ya que recibe el aporte de uno de los ríos más caudalosos del mundo, el río Atrato. Presenta un mosaico de ecosistemas marinos y costeros productivos y diversos como manglares, arrecifes y humedales, además su geología, geomorfología y oceanografía son complejas (Bernal y otros, 2005), prueba de ello son los quince deltas, dos bahías y una ciénaga que alberga el Golfo (Marín-Zambrana, 2002). Allí, los manglares ocupan 6.993 hectáreas en la zona costera. Sus características particulares hacen que en el Golfo se encuentren diferentes ecosistemas de manglar con variaciones ambientales significativas en el mismo sistema estuarino. Por tanto, a partir de los diferentes manglares que se encuentran en el Golfo se puede hacer una contribución significativa al conocimiento que se tiene sobre los factores ecológicos que influyen la distribución de asociaciones de foraminíferos en manglares, especialmente en Colombia, donde se han realizado pocos estudios relacionados con estos microorganismos marinos (Bernal y otros, 2008; Parada y Londoño, 1983; Parada y Pinto, 1986). El Golfo de Urabá es un lugar complejo y biodiverso que debe ser estudiado ya que se tiene un desconocimiento grande de su biota, además la poca que se conoce no se encuentra almacenada y organizada en ningún museo. Es importante que una región sea conciente de su riqueza natural, para que ésta sea conservada y aprovechada sosteniblemente lo que traerá como consecuencia el desarrollo de la región, como lo propone el proyecto Expedición Antioquia 2013, al cual pertenece Expedición Estuarina Golfo de Urabá-Fase I. Una vez identificada la biodiversidad, es importante también saber cuál es su aplicación. Los foraminíferos béticos son usados además de registro fósil como bioindicadores de condiciones ambientales. Los estudios de foraminíferos béticos como bioindicadores se han incrementado en las últimas décadas. El uso de estos organismos se ha expan-

dido a bahías, puertos y márgenes costeros. Estos estudios han demostrado que los foraminíferos béticos se ven afectados por factores de contaminación antropogénica, como enriquecimiento orgánico de los sedimentos, metales pesados e hidrocarburos del petróleo. La respuesta de los foraminíferos a estas condiciones incluye cambios en la abundancia, en la composición de las especies y en la forma de sus conchas. Por lo tanto, si se tiene una idea de cuáles son los factores ecológicos que afectan a estos organismos en su distribución, tamaño y abundancia, luego serían una herramienta útil para la evaluación de las condiciones ambientales de un manglar, en este caso, aprovechándolos como una herramienta eficiente, de bajo costo y que podría ser desarrollada como una técnica para el monitoreo de contaminación.

## **2.2. Objetivos e hipótesis**

### **2.2.1. Objetivo general**

Estudiar la influencia de factores ecológicos en la distribución superficial de asociaciones de foraminíferos béticos en diferentes ecosistemas de manglar.

### **2.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar las asociaciones, abundancias y distribución por tamaño de foraminíferos béticos en diferentes ecosistemas de manglar.
- Caracterizar estos ecosistemas de acuerdo con sus variables ambientales.
- Entender la relación entre la distribución superficial de las asociaciones de foraminíferos y los factores ecológicos en las zonas estudiadas.

### **2.2.3. Hipótesis**

La ocurrencia (abundancia, diversidad y asociaciones) de foraminíferos béticos en los distintos ecosistemas de manglar del Golfo de Urabá, en relación con los factores ecológicos, permitirá hacer una contribución al entendimiento de la dependencia de estos organismos en manglares y su potencial como bioindicadores ambientales.

# Capítulo 3

## Área de estudio

### 3.1. Generalidades

El Golfo de Urabá (figura 3.1) es un cuerpo de agua semicerrado, alargado en dirección general N-S, ubicado en el extremo occidental de la costa Caribe colombiana, cerca del límite con la república de Panamá. Tiene aproximadamente 80 km de largo por 25 km de ancho y profundidades medias de 25 m y máximas de 60 m. Se ubica entre las latitudes 7°90' N y 8°60' N y longitudes 76°70' W y 77°30' W. El principal Río que drena al Golfo es el Atrato, que nace al occidente de los farallones de Citará (Departamento del Chocó) y vierte sus aguas al mar Caribe por 16 bocas diferentes, siendo la principal la denominada El Roto. El delta del Atrato separa el Golfo en dos regiones, conformando un cuerpo semicerrado al sur denominado Bahía Colombia. Los otros ríos que drenan al Golfo de Urabá tienen menores descargas; se destacan el Río León que llega a Bahía Colombia; los ríos Caimán Viejo, Caimán Nuevo, Currulao, Guadalito y Turbo en el flanco oriental del Golfo; y el río Acandí en el flanco occidental. Presenta siete bahías (Yerbasal, El Roto, Candelaria, Cocogrande, Paila, Burrera y Marririo). Está localizado al nor-occidente del departamento de Antioquia, comprende los municipios costeros de Acandí, Ungía, Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá, y Arboletes, en un área de 4291 Km<sup>2</sup>, de los cuales 650 Km<sup>2</sup> corresponden a una zona estuarina bordeada de bosques de manglar. Las condiciones climáticas de la zona se deben a la migración de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), lo que produce una presencia dominante de la lluvia a lo largo de la mayor parte del año. Así, entre los meses de abril a noviembre la precipitación es más alta, con vientos alisios provenientes del suroeste, que penetran por la cuenca del Río Atrato desde la costa chochoana. La época seca ocurre en los meses de enero, febrero y marzo, con una transición en diciembre, y vientos alisios provenientes del noreste, desde el Mar Caribe (Alvarez y Bernal, 2007). Las grandes extensiones de manglar existentes en el

Golfo de Urabá, además de ser parte de los diversos ecosistemas estratégicos que se desarrollan en esta zona costera, se considera que pueden cumplir una gran función en la regulación del comportamiento de los flujos hidrodinámicos que se forman en las costas, acrecentando de esta forma la importancia que presentan para esta zona del Caribe Colombiano (Osorio y otros, 2010).

Las fuentes aluviales en el Golfo de Urabá se caracterizan por tener pequeñas cuencas y alta producción de sedimentos por área. El río Atrato es el que mayor cantidad de sedimentos aporta al Golfo de Urabá, con una descarga 15 veces mayor que el Río León, el segundo en importancia. En los estudios sobre erosión y sedimentación costeras se ha encontrado que la zona sometida a mayores cambios se encuentra en el litoral del Río Turbo, debido al cambio en su cauce, que produjo la formación de un nuevo delta, denominado Punta Yarumal, cuya formación condujo a intensos procesos de erosión en Punta de las vacas, al sur del mismo. El delta del Río Atrato muestra alta variabilidad entre procesos de erosión en algunos de sus brazos, con zonas de acreción menos importantes en los frentes. En contraste, en la zona sur de la bahía Colombia, se determinó el dominio de la estabilidad en el litoral, debido a que la zona está conformada principalmente por manglares y ciénagas (Alvarez y Bernal, 2007). En el estudio realizado por Osorio y otros (2010) del comportamiento del oleaje (figura 3.2) en el Golfo, llegaron a la conclusión que se presentan principalmente dos (2) zonas dominadas por diferentes tipos de oleaje. Una primera zona (1) dominada fuertemente por oleaje de fondo o Swell que vas desde el límite exterior del Golfo, entre Capurganá y Punta Caribaná y se extiende hasta el límite entre los deltas del río Atrato y río Turbo; y una segunda zona (2) dominada fuertemente por oleaje local o Sea y que comprende Bahía Colombia. Para la zona uno (1), la cual está dominada fuertemente por Swell (oleaje de fondo) se identificaron tres (3) características geomorfológicas que influyen en transformación del oleaje del Golfo, la primera es Punta Caribaná, la cual está ubicada en el extremo norte del Golfo y demarca el inicio de la transformación del oleaje que entra al Golfo, principalmente con dirección N, NNE o NE, destacándose los procesos de difracción y refracción asociados con una reducción de las alturas de ola significativa ( $H_s$ ) para condiciones medias de oleaje y vientos, con valores que oscilan entre 1.6 m en Punta Caribaná y 1.0 m en las inmediaciones de los deltas río Turbo y del Río Atrato, siendo este último, el segundo punto característico geomorfológico principal en la transformación del oleaje para esta primera zona y por último encontraron la batimetría con igual grado de importancia que las características anteriores. Mientras que para la zona 2 (Bahía Colombia) es mucho más significativo el oleaje de Sea (oleaje local), debido a que la energía del oleaje de fondo se disipa a medida que se propaga hacia el interior del Golfo de Urabá especialmente al acercarse y atravesar el delta del Río Atrato, con valores que oscilan entre 0.8 m saliendo de la influencia del mismo y 0.4 m en Bahía Colombia.

La marea en el Golfo de Urabá es de tipo mixto con una altura máxima de 0,92 m, y de régimen micromareal. La altura media es generalmente inferior a 0,5 m (García-Valencia, 2007).

Figura 3.1: Manglares en el Golfo de Urabá  
, tomado de (Urrego y otros, 2010)

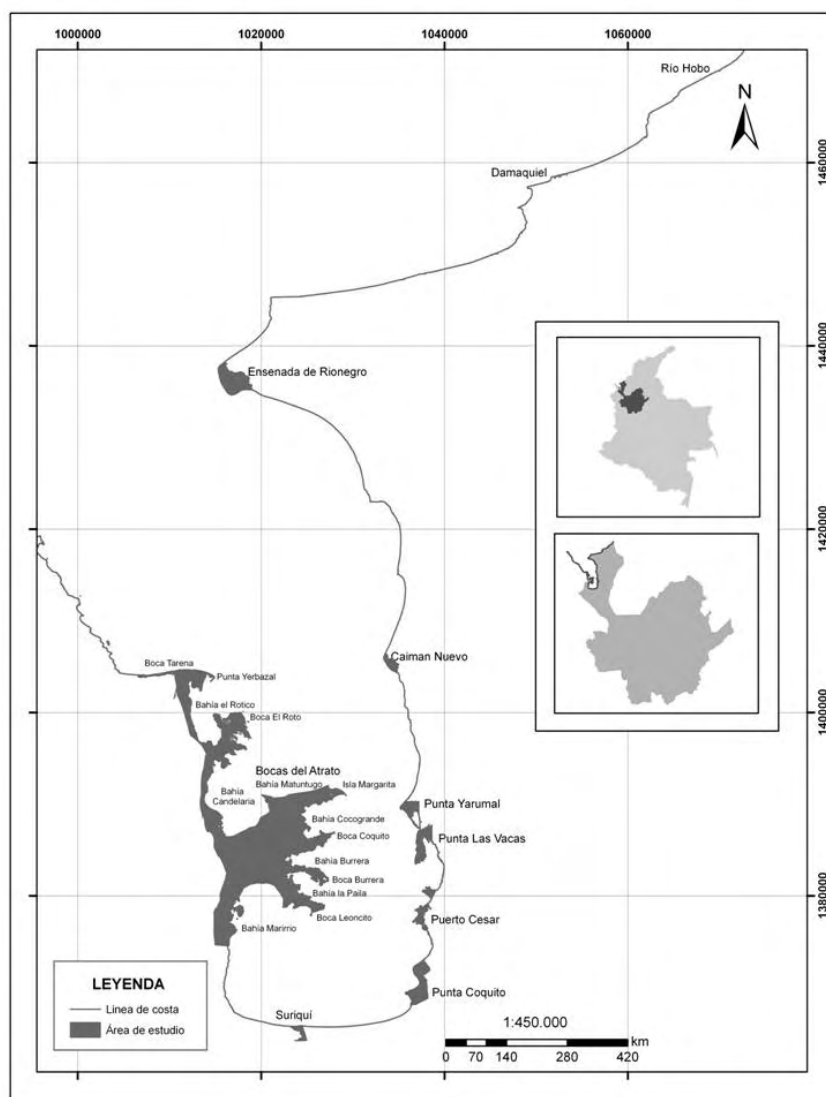
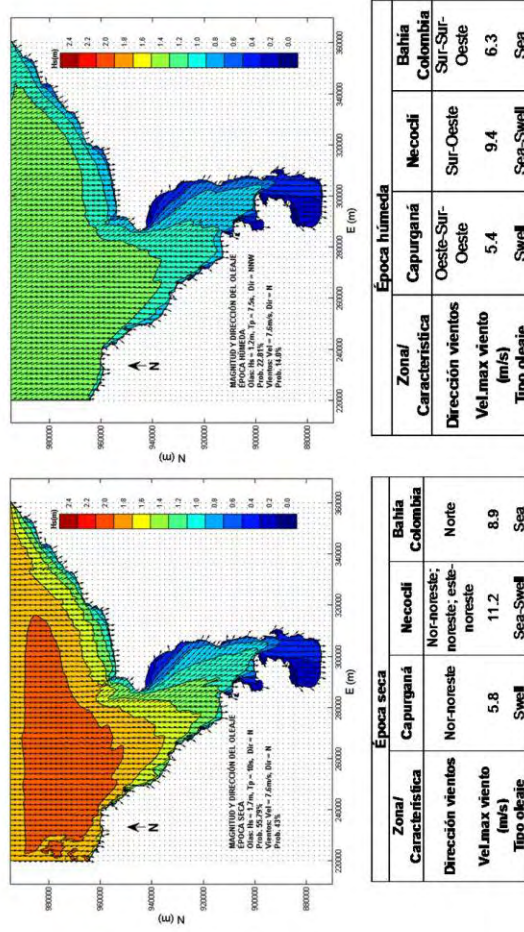




Figura 3.2: Mapas del oleaje modelado y cuadros resumen de las características oceanográficas de cada época



(tomado de Osorio y otros (2010))

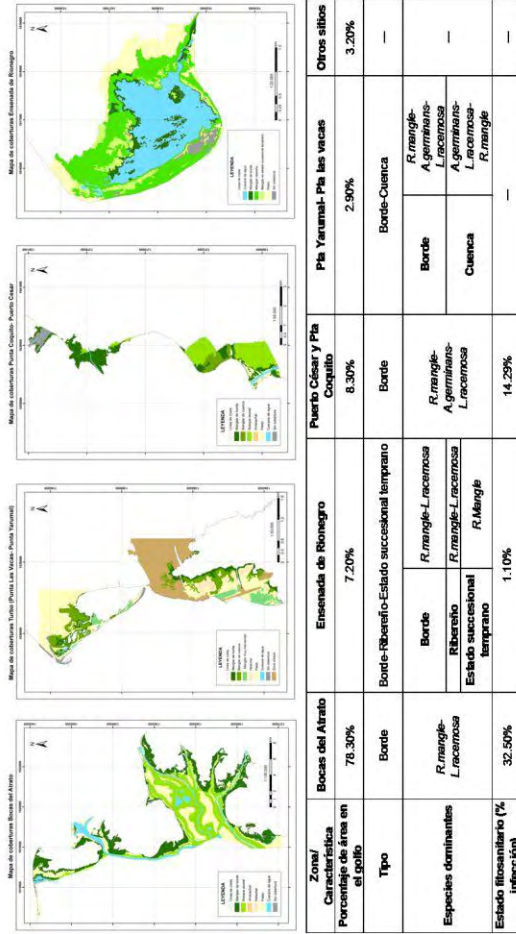
## **3.2. Características de los bosques de manglar**

En el Golfo de Urabá se han realizado estudios previos sobre el estado de los ecosistemas de manglar, figura 3.3). En el marco proyecto de expedición estuarina Golfo de Urabá, fase I, la componente encargada de la parte forestal evaluó el estado de estos ecosistemas durante el año 2009 y 2010. Los resultados mostraron que los bosques de manglar presentes en Bocas del Atrato se encuentran infectados por unas agallas que atacan el tallo de los árboles y termina con la muerte del mismo, estos resultados y otros obtenidos en el estudio se ilustran en la figura 3.4.

Figura 3.3: Fotografía manglares en el Golfo de Urabá



Figura 3.4: Mapas de Coberturas de manglar y cuadro resumiendo características principales



(tomado de Urrego y otros (2010))

# Capítulo 4

## Metodología

### 4.1. Metodología en campo

Las muestras fueron tomadas en los cuerpos de agua asociados a los diferentes manglares a lo largo del Golfo de Urabá: Bocas del Atrato, Bahía Colombia, Bahía Turbo, Bahía el Uno, Ensenada de Rionegro, Río San Juan, Río Damaquiel y Río Hobo (figuras ). Cada muestra fue tomada con un espaciamiento aproximado de 2 km, con el fin de tener un patrón de distribución equitativo (figuras 4.2,4.1,4.3,4.4,4.5,4.6 y 4.7).

En junio, agosto de 2009 y febrero de 2010 se realizaron muestreos superficiales en la zona de estudio georeferenciados con un GPS Garmin Mac 76S®. Las muestras fueron recolectadas en el cuerpo de agua cerca a los manglares , con una caja Ekman (figura 4.8) con capacidad de penetración en los sedimentos de 15 cm. Se tomaron 180 muestras de volumen conocido, con el fin de utilizar 90 para el análisis de foraminíferos y 90 para los análisis de sedimentos. Como se sugiere en (Gooday y otros, 2000), para los análisis se tomó el primer centímetro superficial con el fin de que las características del sedimento representen condiciones actuales e intervalos aproximadamente homogéneos de tiempo. De esta manera los foraminíferos estudiados representarán únicamente las especies con hábitos de vida superficiales, ya que los foraminíferos béticos recientes pueden vivir hasta 15cm de profundidad (Bernal y otros, 2008).

Figura 4.1: Localidades de muestreo de foraminíferos en los manglares del Golfo de Urabá

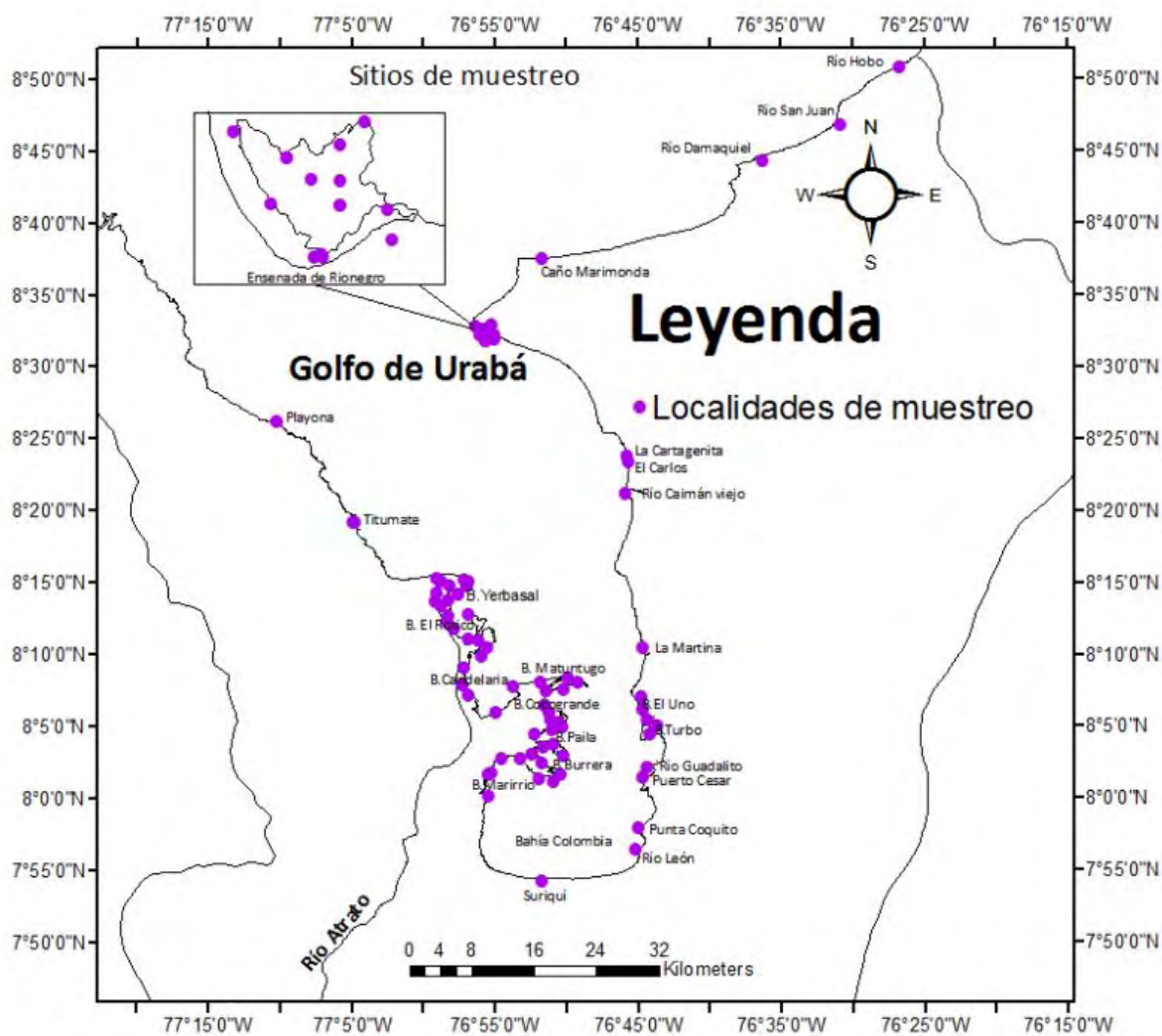


Figura 4.2: Fotografías aéreas del Urabá chocoano donde se tomaron muestras de foraminíferos (propiedad del proyecto expedición estuarina Golfo de Urabá, fase I)

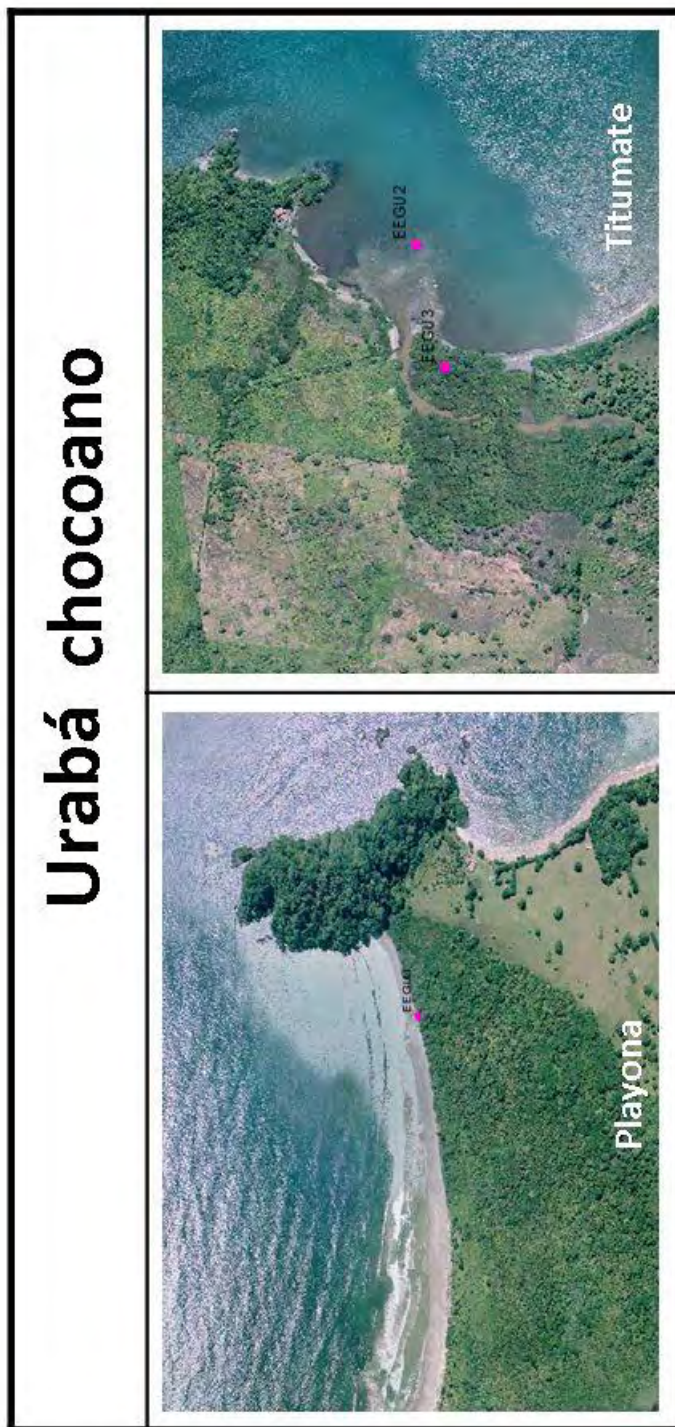


Figura 4.3: Fotografías aéreas de las bahías muestreadas que conforman el delta del río Atrato (propiedad del proyecto expedición estuarina al Golfo de Urabá, fase I)

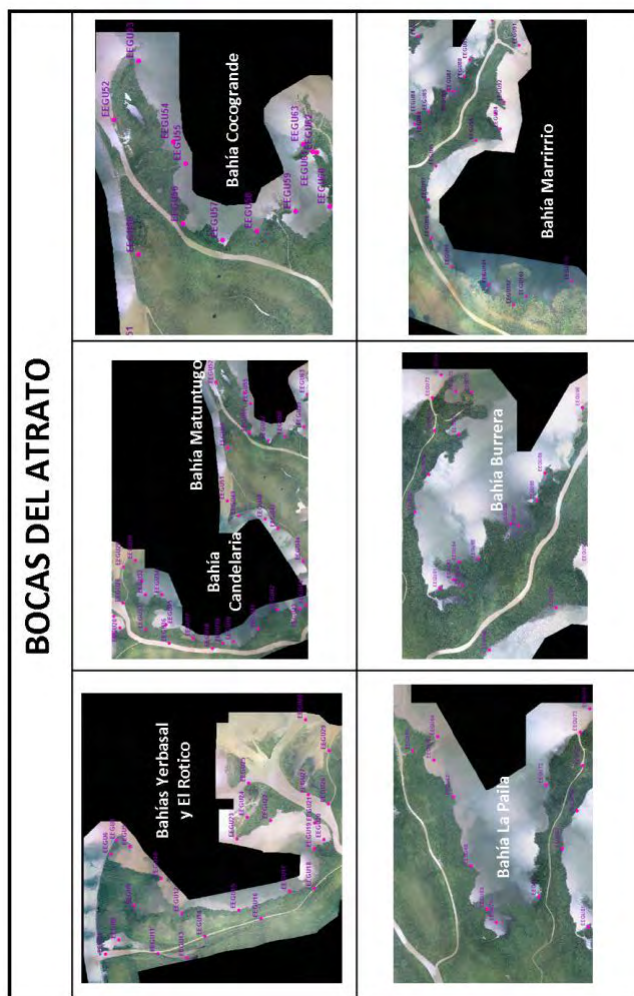




Figura 4.4: Fotografías aéreas de las bahías Colombia, Turbo y El Uno (propiedad del proyecto expedición estuarina al Golfo de Urabá, fase I)

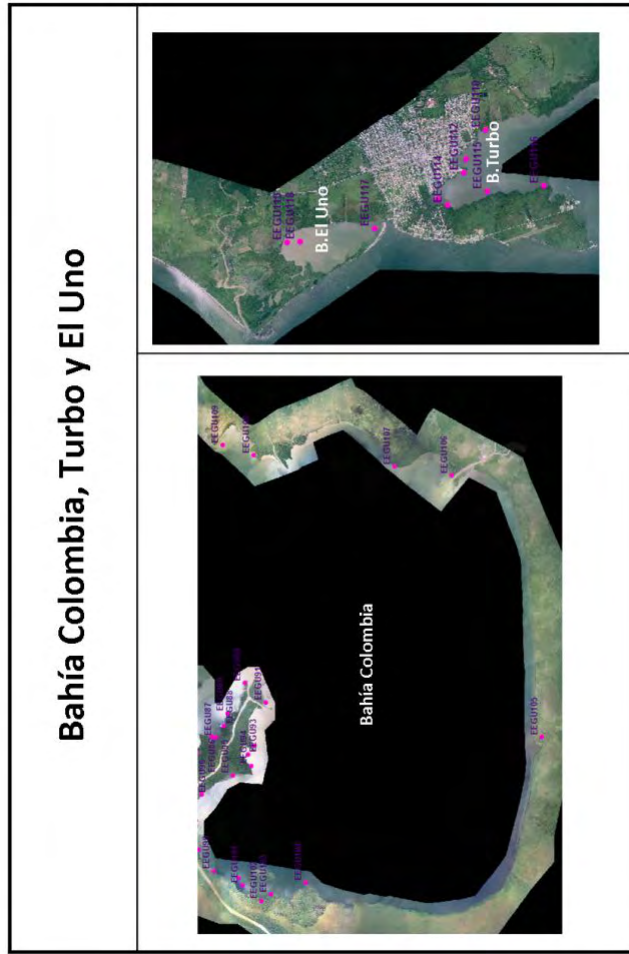


Figura 4.5: Fotografías aéreas de la Martina, río Caimán viejo, El Carlos y La Cartagenita (propiedad del proyecto expedición estuarina al Golfo de Urabá, fase I)

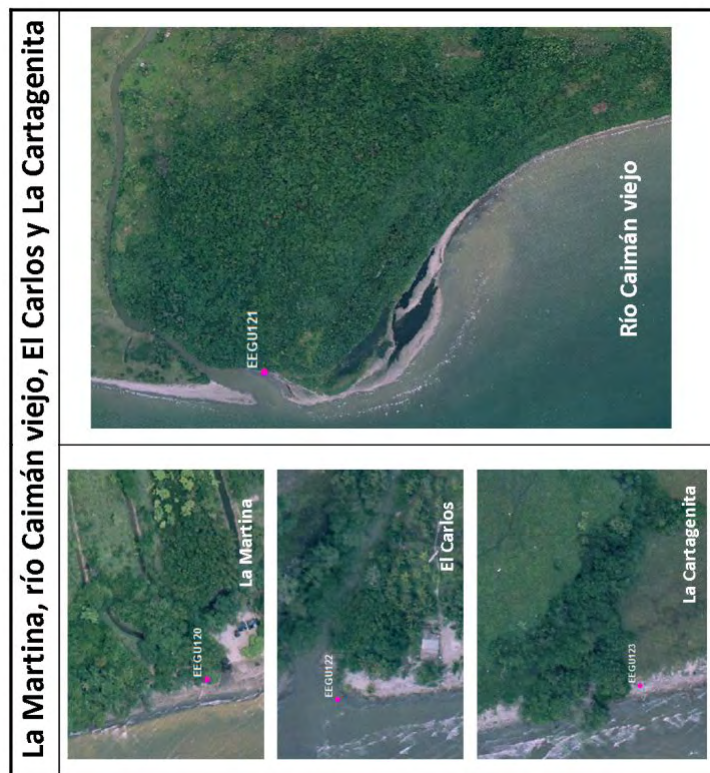


Figura 4.6: Fotografías aéreas de la ensenada de Rionegro (propiedad del proyecto expedición estuarina al Golfo de Urabá, fase I)

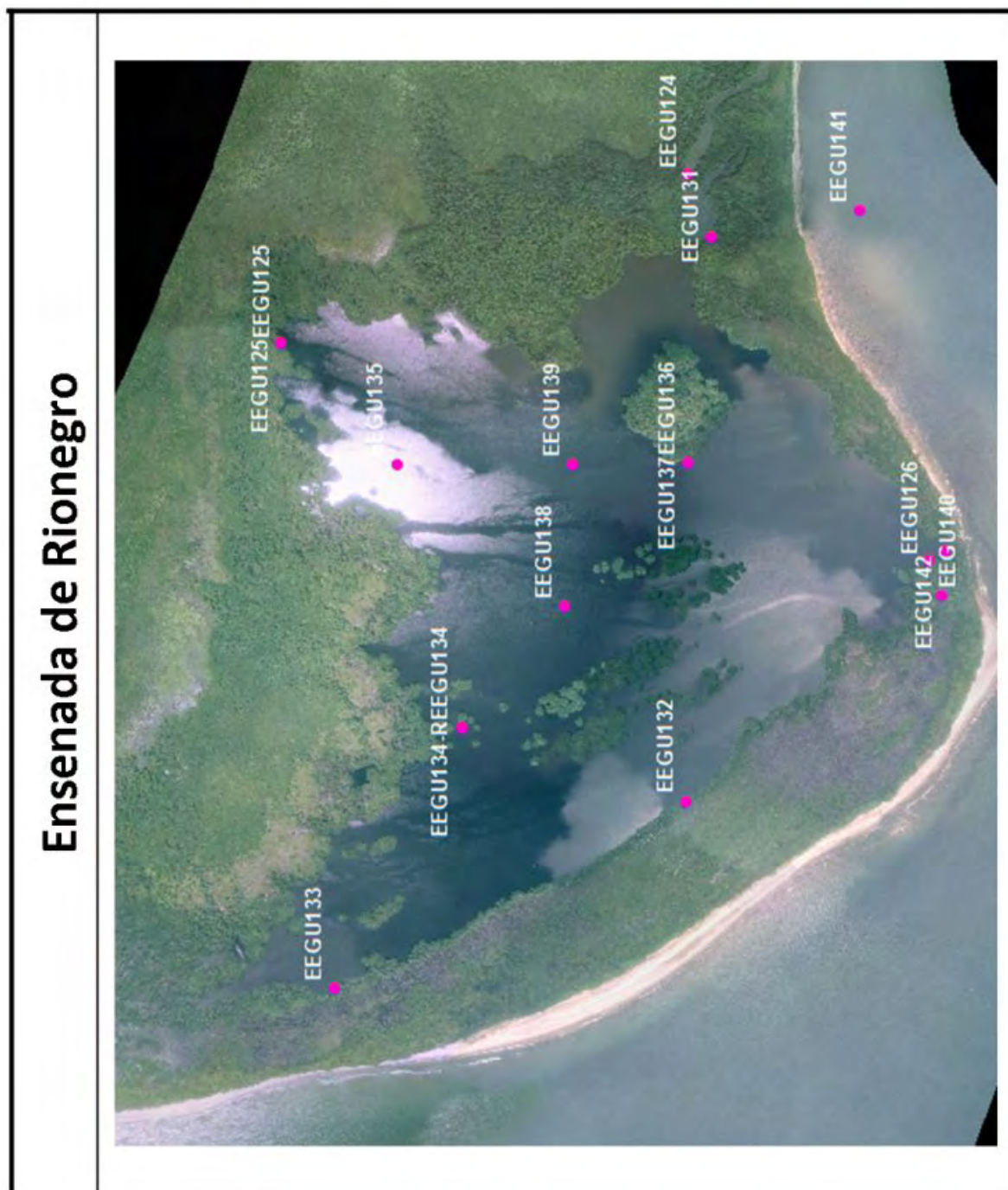
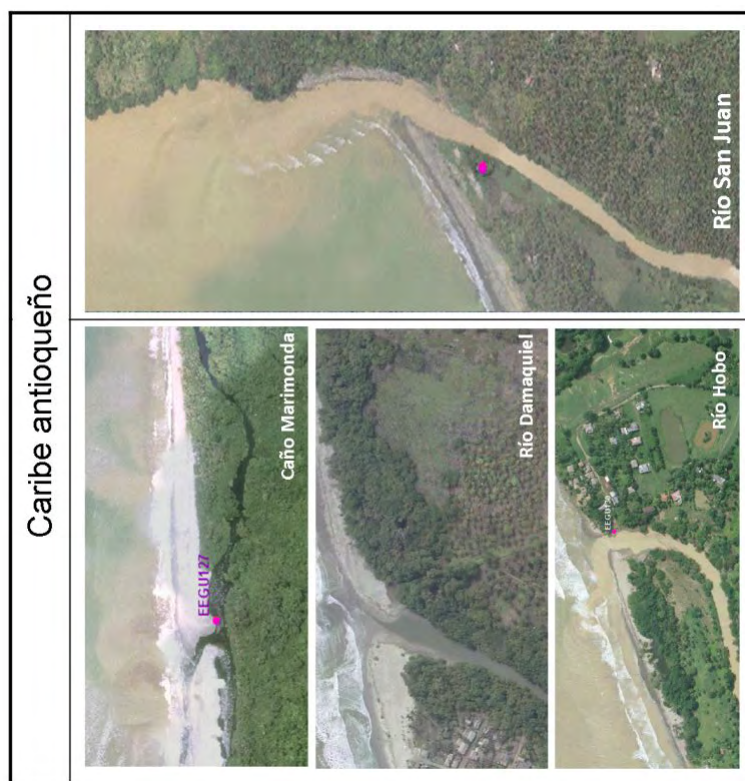


Figura 4.7: Fotografías aéreas del Caribe antioqueño (propiedad del proyecto expedición estuarina al Golfo de Urabá, fase I)



En cada sitio de muestreo se realizó la medición de condiciones ambientales como profundidad, temperatura y salinidad. También se trató de medir oxígeno disuelto pero la sonda multiparamétrica se descalibró en campo. La profundidad se midió con una cuerda metrada teniendo en cuenta lo siguiente: en profundidades someras los parámetros fueron tomados superficialmente; profundidades menores de 1m: muestra de agua superficial; 1-5m: muestra a 20cm y 3m; mayores de 5m: muestra fondo, media agua (3.0m) y superficial (20cm). Los parámetros físico químicos fueron medidos con una sonda multiparamétrica (YSI model 85). Para diferenciar la biocenosis de la tanatocenosis, se preservaron las muestras de foraminíferos colocando el sedimento en una bolsa hermética resellable inmediatamente después de su captura, se sometió a 20 gotas de alcohol etílico al 95 %, para que de esta manera la mayoría de los caparazones con el animal vivo tengan su masa protoplasmática parcialmente afuera, lo que facilita el proceso de tinción (Boltovskoy, 1965) . Luego, transcurridos unos minutos, hasta una hora, se adicionó al sedimento dispuesto en la bolsa, etanol al 70 %, se selló y agitó para mezclar a fondo. Luego las muestras se dispusieron en nevera con hielo (Murray, 2006).

Figura 4.8: Recolección de las muestras de sedimentos



## 4.2. Metodología de laboratorio

Las muestras de foraminíferos se separaron en fracciones para facilitar el trabajo bajo al microscopio (figura 4.8). El lavado se realizó mediante tamices metálicos en fracciones de 355  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$  y 63  $\mu\text{m}$ . También se utilizó el tamiz de 840  $\mu\text{m}$  para separar trozos de madera, conchas y partículas mayores a 840  $\mu\text{m}$ . Esta fracción no fue analizada para muestras de foraminíferos. La fracción lodos se descartó. Se realizó el proceso de tinción con el fin de determinar qué ejemplares estaban vivos en el momento de su captura, mediante la tinción del protoplasma (de los vivos)

con rosa de bengala. El proceso de coloración se realizó como se indica en Murray (2006). Luego, bajo un estereomicroscopio se separaron los caparazones del sedimento y se montaron en portaforaminíferos. Se trataron de separar 300 foraminíferos por cada muestra, pero los conteos estuvieron entre 1 y 300 individuos por muestra, dependiendo de su abundancia. Por último, se realizó una colección de las especies encontradas en todas las muestras. Su identificación se realizó como se describe en Bernal y otros (2008), a través de la comparación con las guías de identificación de Barker (1960), Buzas y otros (1977), McCulloch (1977), Buzas y Severin (1982), Boltovskoy y Hincapié~Martínez (1983), Parada y Pinto (1986), Parada (1991) y Debenay y Guiral (2002). Se consideró la clasificación supragenérica de Sen Gupta (1999).

Las muestras de sedimentos fueron analizadas en el Laboratorio de Sedimentología y Paleontología de la Universidad Nacional de Colombia, con el fin de obtener la granulometría, el % carbonatos, el % de materia orgánica y el % de lodos.

Figura 4.9: Procedimiento en laboratorio para la separación de foraminíferos de los sedimentos



### 4.3. Análisis de resultados

En este estudio se quiso explicar la abundancia, tamaño y asociaciones de foraminíferos béticos en los diferentes manglares a partir de la combinación de factores ecológicos y ambientales, tales como: temperatura, salinidad, profundidad, tamaño de grano, % de carbonatos, % de materia orgánica, % de lodos, geomorfología, oleaje y tipo de manglar, para tal fin se realizaron:

#### 4.3.1. Mapas

Se utilizaron las herramientas del SIG para la elaboración de mapas en el software ArcGis® con el fin de analizar gráficamente las distribuciones y abundancias y biodiversidad de especies de foraminíferos, la sedimentología, el % de materia orgánica,

el % de carbonatos en los manglares el Golfo de Urabá, % de foraminíferos con concha aglutinada, la zonificación de los manglares y grupos resultantes de los análisis *clusters*.

### 4.3.2. Índices

Se calcularon los índices de diversidad Shannon-Weaver y de dominancia Simpson y el índice de similitud de Jackard que permite encontrar diferencias ambientales a través de la composición de especies en las distintas zonas. Las principales diferencias de estos índices tienen que ver con el peso que le da cada índice a los componentes de riqueza y equitatividad (o abundancia), la sensibilidad del índice al tamaño de muestra, las características y conocimientos de la diversidad del área muestreada. El índice de Shannon-Wiener es utilizado para muestreos de comunidades grandes y con una diversidad indefinida. Asume que los individuos fueron muestreados aleatoriamente y que la mayoría de las especies están representadas en la muestra. El índice de dominancia de Simpson es útil para localizar la presencia de especies con valores altos de abundancia dentro de la comunidad, aunque no precisamente la especie dominante, ya que hay otros factores, además de abundancia, que hacen a una especie dominante. El índice de Shannon-Weaver toma valores de 0 en adelante, siendo 0 los lugares de menor riqueza y los  $> 0$  los lugares de mayor riqueza de especies. Por el contrario, el índice de Simpson toma valores entre 0.1-1, siendo los valores cercanos a cero donde no se presenta dominancia de alguna especie y los valores cercanos a 1 los lugares con mayor probabilidad de que dos individuos tomados al azar de la muestra sean de la misma especie (Golicher, 2009). Se tomó el valor cero para los lugares donde no se encontraron foraminíferos para ambos índices. Las ecuaciones de los índices son las siguientes:

$$H = -\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Índice de Shannon Wiener, (Mojtahid y otros, 2009)

$$D = \sum_{i=1}^s p_i^2$$

Índice de Simpson, (Gregorius y Gillet, 2008)

Donde S es el número de especies y  $p_i$  la frecuencia relativa de las especies para ambos índices.

Por su parte, los índices de similitud son usados frecuentemente para estudiar la coexistencia de especies o para observar la similitud entre sitios muestreados. El objetivo principal de este análisis es descubrir patrones de distribución comunes a diferentes especies y grupos de áreas con biota semejante Real (1996). Este índice se calcula basándose en las especies encontradas en un sitio respecto a las de otro lugar y según sea el resultado, estos lugares presentaran o no condiciones ambientales similares, así:

$$S = \left( \frac{C}{A + B - C} \right)$$

Índice de similitud de Jaccard, (Sharma y Rawat, 2009)

Donde C es el número de especies comunes; A es el total de número de especies en la zona A; B el número total de especies en la zona B

### 4.3.3. Análisis estadísticos

Se realizaron análisis estadísticos multivariados con el software Statistica® 8.0 como: agrupación (cluster), regresión lineal múltiple, análisis de componentes principales y matrices de correlación. Para la utilización de cada uno de estos métodos se tuvo en cuenta la estructura de la base de datos final y la pertinencia de cada uno para las preguntas de investigación propuestas.

### 4.3.4. Cálculos sedimentológicos

Después de secadas y tamizadas las muestras se procedió a realizar los cálculos sedimentológicos. Como las distribuciones del tamaño de los sedimentos representan una curva normal, las características granulométricas de la media, la selección y la asimetría, se obtuvo por el método de los momentos (Tucker, 1988). El cálculo de estas características granulométricas se realizó mediante rutinas en el software Matlab® 2009.



### 4.3.5. Análisis de la relación entre foraminíferos béticos y la calidad de aguas

Con los resultados obtenidos y los informes del 2010 de la red de monitoreo ambiental (REDCAM, 2010) de la calidad de aguas en el Golfo de Urabá se realizó el análisis entre la relación de las abundancias de foraminíferos béticos y la calidad de aguas en los sitios de muestreo donde se encontraron datos (figura 4.10).



Figura 4.10: Estaciones de monitoreo de calidad de aguas (INVEMAR)

#### **4.3.6. Modelo conceptual**

Al final de la investigación y con los resultados que se obtuvieron a partir de todos los análisis anteriores se planteó un modelo conceptual que explica la dependencia ambiental de los foraminíferos en los manglares del Golfo de Urabá.

# Capítulo 5

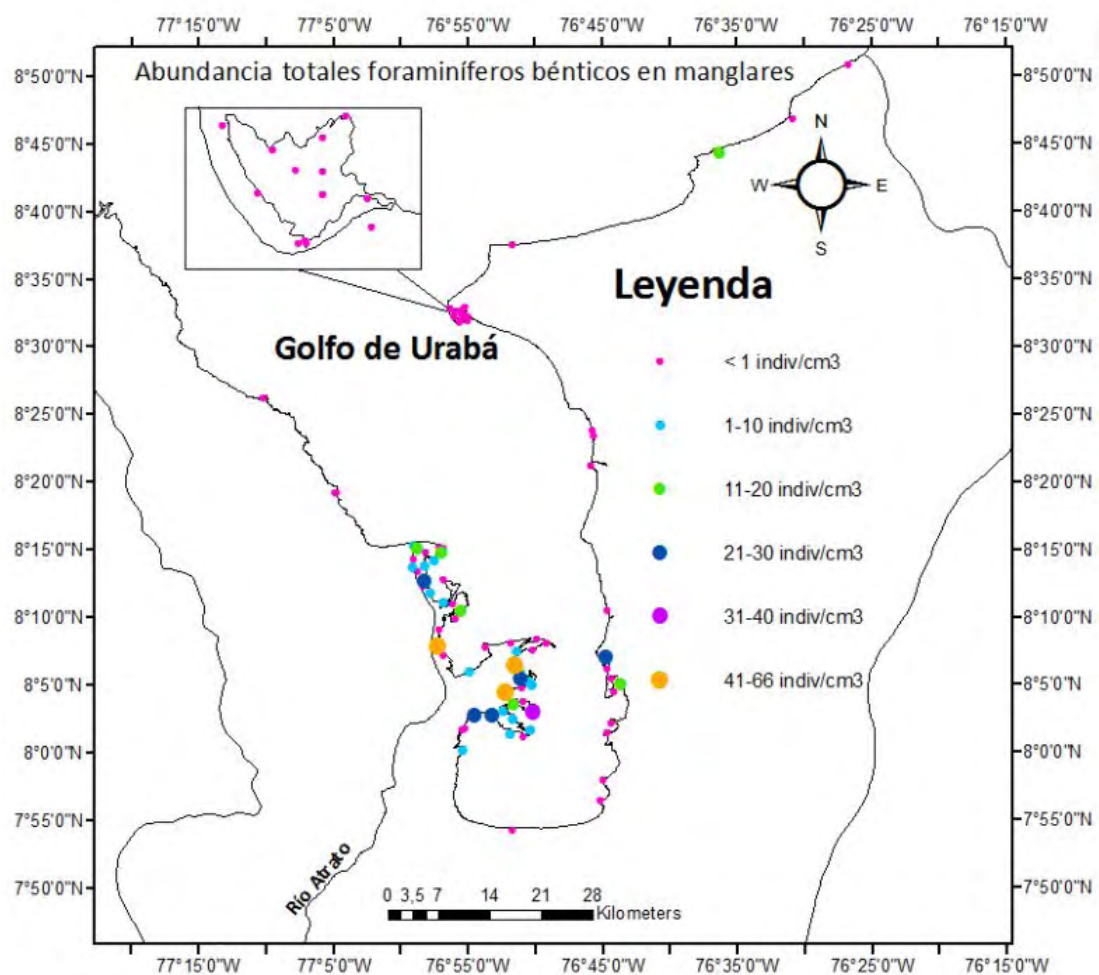
## Resultados

### 5.1. Abundancia de foraminíferos bénticos

En la figura 5.1 se presenta el mapa de las abundancias totales de foraminíferos bénticos en los manglares del Golfo de Urabá. Se encontraron entre 0 y 66 individuos/ $cm^3$  presentes en el primer centímetro superficial de sedimento (teñidos + no teñidos), mientras que las abundancias de los foraminíferos bénticos que resultaron teñidos estuvieron entre 0 y 15 individuos/ $cm^3$ . De las 90 localidades muestreadas sólo en 35 se encontraron foraminíferos bénticos, observándose las mayores abundancias en la zona de bocas del Atrato y en la bahía El Uno. En la costa chocoana (Sapzurro y Titumate), la zona de boca Matuntugo (bocas del Atrato), bahía Colombia (Suriquí, río León, Punta Coquito, Puerto Cesar, Guadalito), la playa La Martina, río Caimán viejo, caño el Carlos, caño Cartagenita, ensenada de Rionegro y las localidades de la costa Caribe antioqueña (Caño Marimonda, río San Juan y río Hobo), exceptuando Damaquiel, predominaron abundancias totales en el sedimento menores a 1 individuo/ $cm^3$ .

La zona de bocas del Atrato está compuesta según su orden de localización de Norte a Sur, por las bahías Yerbasal, El Rotico, Candelaria, Matuntugo, Cocogrande, La Paila, Burrera y Marirrio (ver mapa en área de estudio, figura 4.1). En la bahía Yerbasal se encontraron abundancias totales entre  $< 1$  y 30 individuos/ $cm^3$  y en la bahía el Rotico entre  $< 1$  y 10 individuos/ $cm^3$ . En las bahías Candelaria, Cocogrande y la Paila se observaron las abundancias totales más altas encontradas entre los manglares del Golfo de Urabá, en un rango entre 41 y 66 individuos/ $cm^3$ . En las bahías Burrera y Marirrio, las abundancias oscilaron entre  $< 1$  y 40 individuos/ $cm^3$ .

Figura 5.1: Abundancias totales de foraminíferos



## 5.2. Especies de foraminíferos bénticos

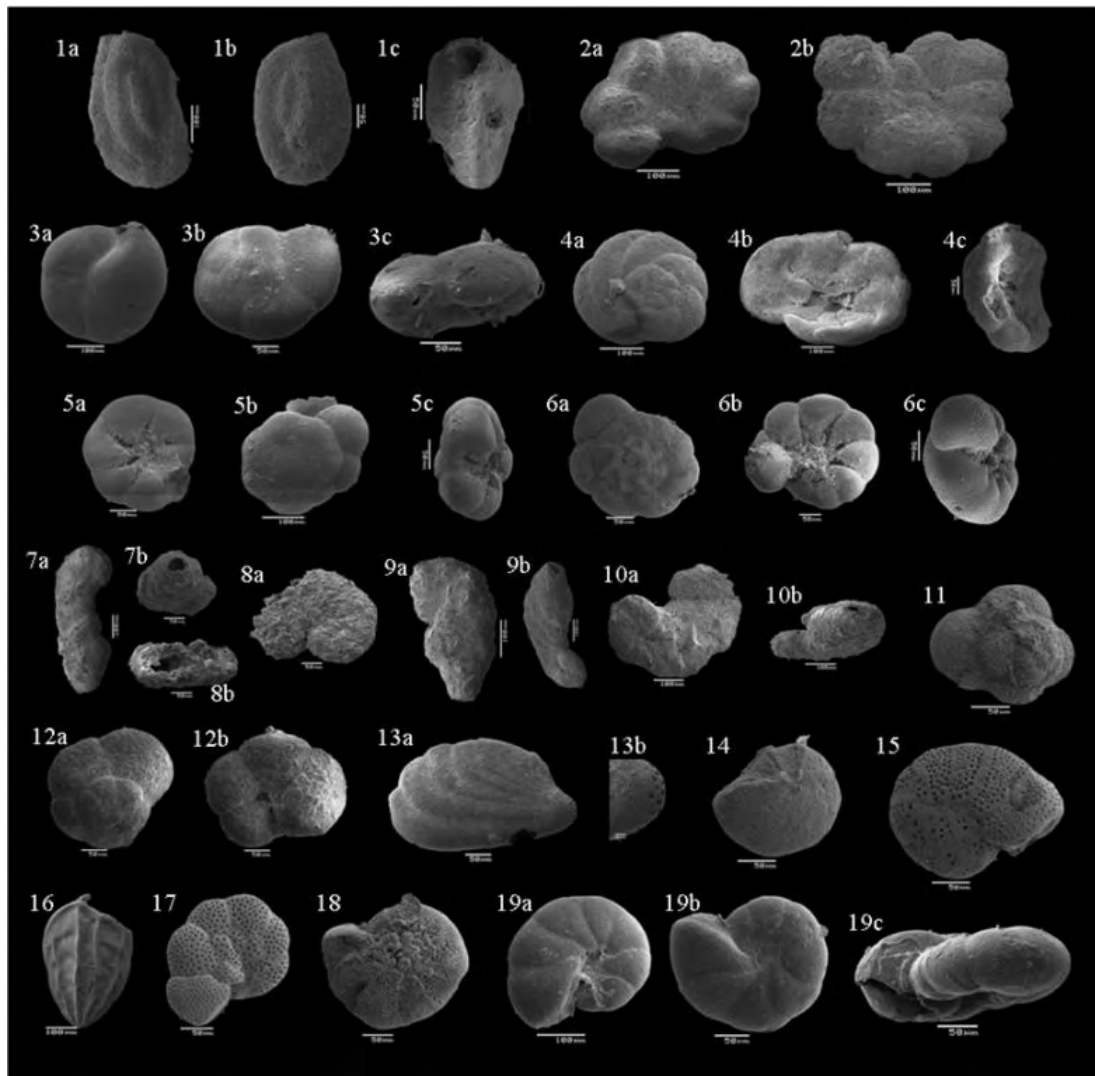
### 5.2.1. Sistemática de foraminíferos bénticos

La identificación se realizó para el total de individuos encontrados en el sedimento (cuadro 5.1). Se identificaron 18 géneros y 26 especies, incluyendo 12 del orden **Rotaliida** (calcáreos) y 14 **Textulariida** (aglutinados) (Fotografías en la figura 5.2). La clasificación (tabla 5.1) se realizó basándose en las guías descritas en la metodología y el perfil taxonómico según la clasificación de Sen Gupta (1999). Las mayores abundancias en el total de las muestras se presentaron en especies del orden **Textulariida** (aglutinadas), siendo *Milliammina fusca* la más abundante, con una abundancia media de 3 indiv/cm<sup>3</sup>. De las especies del orden **Rotaliida** (calcáreas), las abundancias estuvieron en un rango entre < 0-0.1 indiv/cm<sup>3</sup>, siendo *Ammonia beccarii* la más abundante.

Cuadro 5.1: Sistemáticas foraminíferos bénticos manglares del Golfo de Urabá y abundancias en el total de las muestras

Especie	Chse	Orden	Superfamilia	Familia	Género	Abundancia s medias (Indiv/cm <sup>3</sup> )
<i>Milliammina fusca</i>	Textulariida	Textulariida	Rasbakinoidea	Rasbakinidae	Milliammina	3.4
<i>Haplophragmoides canariensis</i>	Textulariida	Textulariida	Lituoloidea	Haplophragmoidea	Haplophragmoides	0.4
<i>Ammonia beccarii</i>	Rotaliida	Rotaliida	Rotalioidea	Rotaliidae	Ammonia	0.1
<i>Ammoniam salsum</i>	Textulariida	Textulariida	Lituoloidea	Lituolidae	Ammoniam	0.2
<i>Haplophragmoides wilbertii</i>	Textulariida	Textulariida	Lituoloidea	Haplophragmoidea	Haplophragmoides	0.1
<i>Trochammina inflata</i>	Textulariida	Textulariida	Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammina	0.1
<i>Trochammina nitida</i>	Textulariida	Textulariida	Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammina	0.0
<i>Arenoparrella mexicana</i>	Textulariida	Textulariida	Trochamminoidea	Trochamminidae	Arenoparrella	0.1
<i>Ammobaculites exiguus</i>	Textulariida	Textulariida	Lituoloidea	Lituolidae	Ammobaculites	0.4
<i>Trochammina squamata</i>	Textulariida	Textulariida	Trochamminoidea	Trochamminidae	Trochammina	0.3
<i>Discorbis granulosa</i>	Rotaliida	Rotaliida	Discorbinoidea	Pegedidae	Discorbis	0.0
<i>Bolivina arenosa</i>	Rotaliida	Rotaliida	Bolivinoidea	Bolivinae	Bolivina	0.0
<i>Ammobaculites exilis</i>	Textulariida	Textulariida	Lituoloidea	Lituolidae	Ammobaculites	0.3
<i>Ammobaculites americanus</i>	Textulariida	Textulariida	Lituoloidea	Lituolidae	Ammobaculites	0.2
<i>Ammonia difformis</i>	Rotaliida	Rotaliida	Rotalioidea	Rotaliidae	Ammonia	0.0
<i>Ortomorphna sp.</i>	Rotaliida	Rotaliida	Rotalioidea	Bolivinitidae	Ortomorphna	0.0
<i>Nodosaria sp.</i>	Rotaliida	Lagenida	Nodosarioidea	Nodosariidae	Nodosaria	0.0
<i>Ammobaculites sp.</i>	Textulariida	Textulariida	Lituoloidea	Lituolidae	Ammobaculites	0.0
<i>Ephidium mexicanum</i>	Rotaliida	Rotaliida	Rotalioidea	Ephididae	Ephidium	0.0
<i>Celamithus sp.</i>	Polyhalmea	Rotaliida	Rotalioidea	Ephididae	Celamithus	0.0
<i>Rosalina globulariformis</i>	Rotaliida	Rotaliida	Discorbinoidea	Rosalinidae	Rosalina	0.0
<i>Reophax bacikaris</i>	Textulariida	Textulariida	Homosporoidea	Homosporidae	Reophax	0.0
<i>Ephidium williamsi</i>	Rotaliida	Rotaliida	Rotalioidea	Ephididae	Ephidium	0.0
<i>Cibicides cf. rubicoma</i>	Rotaliida	Rotaliida	Pleurobulinoidea	Cibicides	Cibicides	0.0
<i>Dyocibicides cf. isrealis</i>	Rotaliida	Rotaliida	Pleurobulinoidea	Cibicides	Dyocibicides	0.0
<i>Anomalinoidea Kurtzi</i>	Rotaliida	Rotaliida	Chitostomelloidea	Heterolepidae	Anomalinoidea	0.0

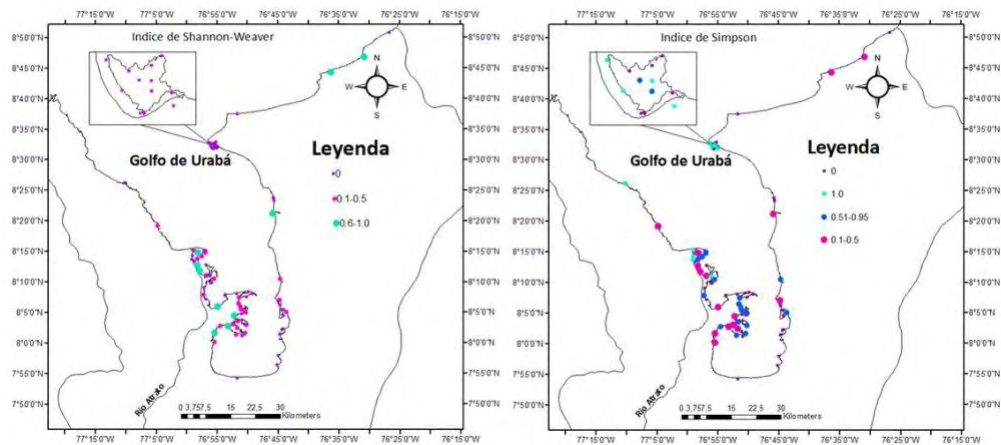
Figura 5.2: Fotografías de foraminíferos béticos tomadas desde un microscopio de barrido electrónico. 1. *Milliammina fusca* (Debenay y Luan). 2. *Haplophragmoides canariensis* (Barker) 3. *Arenoparrella mexicana* (Kornfeld). 4. *Trochammina squamata* (Barker). 5. *Ammonia beccarii* (Linné). 6. *Ammonia differens* (McCulloch). 7. *Ammobaculites exilis* (Cushman y Brönnimann). 8. *Ammobaculites americanus* (Cushman). 9. *Ammotium salsum* (Cushman y Brönnimann). 10. *Ammobaculites exiguus* (Cushman y Brönnimann). 11. *Rosalina cf globulariformis* (McCulloch). 12. *Trochammina inflata* (Montagu). 13. *Amoastuta inepta* (Cushman y McCulloch). 14. *Cellanthus gunteri* (Cole). 15. *Anomalinoides kurtzi* (McCulloch). 16. *Bolivina cf arenosa* (Chapman). 17. *Discorbis granulosa* (Heron-Allen y Earland). 18. *Elphidium mexicanum* (Kornfeld). 19. *Haplophragmoides wilbertii* (Andersen).



### 5.2.2. Diversidad de especies y porcentaje de aglutinados

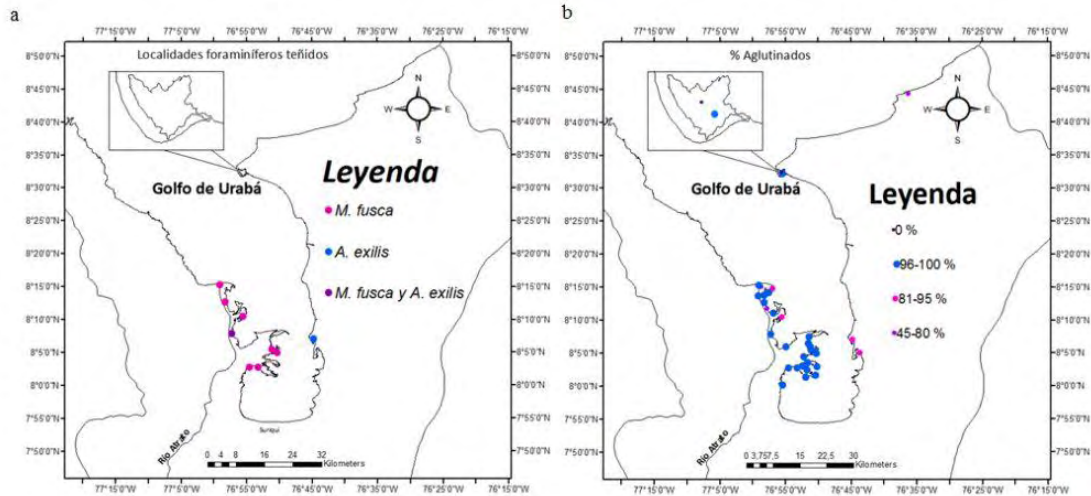
En la Figura 5.3 (izquierda) observamos el mapa con el índice de Shannon- Weaver y a la derecha el de Simpson para cada localidad de muestreo. Los índices fueron calculados teniendo en cuenta el total de individuos presentes en los sedimentos. Los valores más altos del índice de Simpson se dieron en las localidades de bocas del Atrato, bahía el Uno y Damaquiel. De acuerdo con el índice de Shannon-Weaver la diversidad de especies en los manglares del Golfo es baja, pues su valor máximo en las localidades muestreadas es de 1.0.

Figura 5.3: Mapas mostrando los valores de los índices de Simpson (derecha) y Shannon- Weaver (izquierda) para cada localidad muestreada en los manglares del Golfo



En los manglares del Golfo de Urabá la mayor parte de las especies presentes en los sedimentos (entre ellas *M. fusca* y *A. exilis*, las únicas dos especies que resultaron teñidas) son de caparazón aglutinado (figura 5.4). En la zona de Bocas del Atrato dominan el área, con porcentajes entre 80 y 100%. En bahía Turbo y bahía el Uno, disminuye el valor de % de aglutinados (81-95%) debido a la presencia de la especie cálcarea *Ammonia beccarii*, al igual en la ensenada de Rionegro donde el porcentaje de aglutinados es 0% por ser la única especie encontrada en este punto. En el Caribe antioqueño, en Damaquiel, todas las especies encontradas fueron calcáreas.

Figura 5.4: Mapa mostrando a) Ubicación y especies de foraminíferos teñidos; b) distribución de foraminíferos con caparazón aglutinado



### 5.2.3. Especies más abundantes

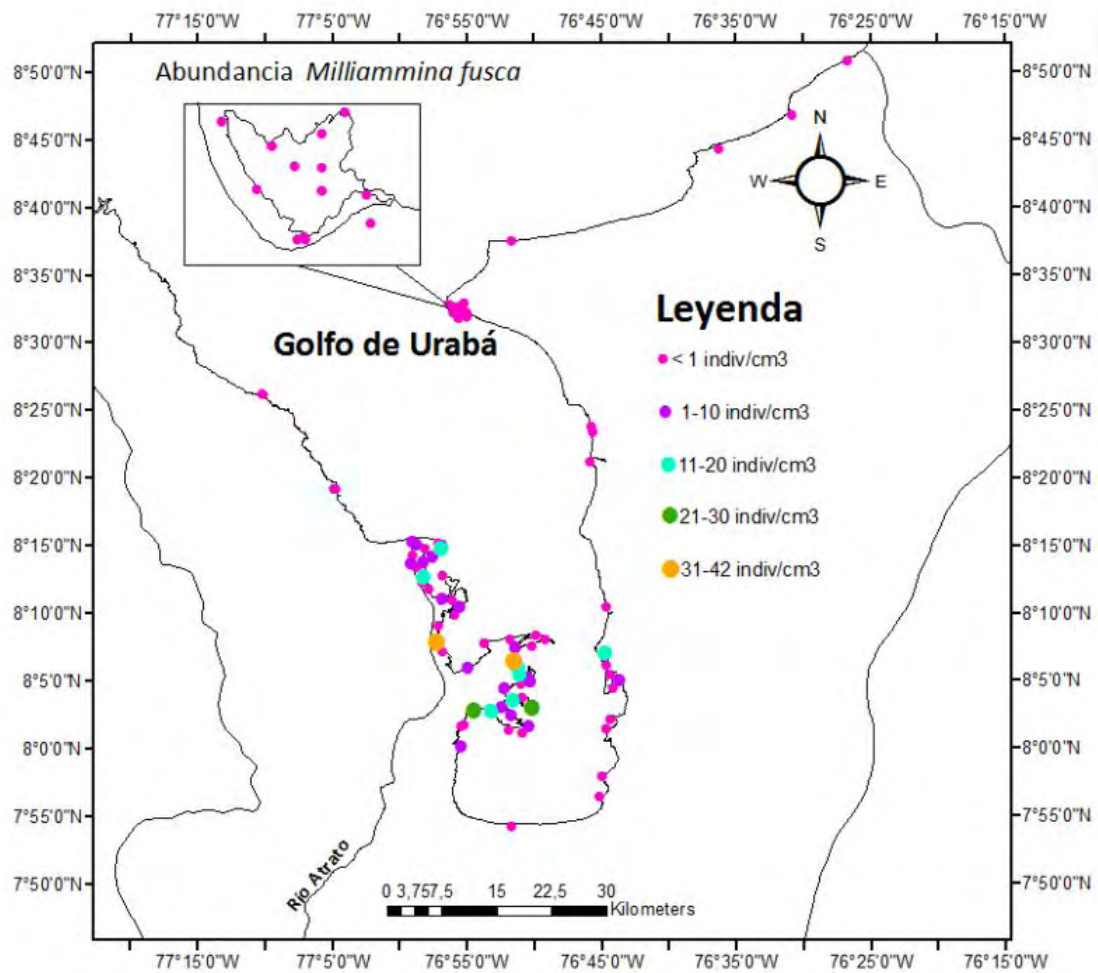
De las once especies de foraminíferos béticos más abundantes en los sedimentos de manglares del Golfo de Urabá, diez fueron aglutinadas, con abundancias mayores a 5 indiv/ $cm^3$ . En orden de abundancia total y con sus porcentajes respecto al total de individuos son: *M. fusca* (61%), *H. canariensis* (7%), *A. exiguus* (7%), *T. squamata* (5%), *A. exilis* (5%), *A. salsum* (3%), *A. americanus* (3%), *A. mexicana* (2%), *A. beccarii* (2%), *T. inflata* (1%) y *H. wilbertii* (1%). La distribución espacial de las siete especies más abundantes (abundancias mayores a 14 indiv/ $cm^3$ ) en los manglares del Golfo puede verse en las figuras 5.5, 5.6 y 5.7.

De las once especies de foraminíferos encontradas como más abundantes, solamente dos especies resultaron teñidas: *M. fusca* y *A. exilis*, encontrándose ambas en localidades puntuales de Bocas del Atrato (figura 5.4 a). La especie más abundante resultó ser *M. fusca* seguida por *A. exilis*. Del conteo de todos los individuos hallados en el primer centímetro superficial (teñidos + no teñidos), *M. fusca* es la especie más abundante. Su ocurrencia coincidió con los sitios de mayor abundancia total de foraminíferos béticos, en bocas del Atrato, bahía El Uno y bahía Turbo, pero no se encontró en Damaquiel ni en bahía Candelaria. La segunda especie más abundante, *H. canariensis* (figura 5.6) se encontró principalmente en Damaquiel y también en un caño en bocas del Atrato y en la ensenada de Rionegro. En otras localidades de bocas del Atrato (bahía Yerbasal, el Rotico, Candelaria, Cocogrande y la Paila) se



presentó en abundancias  $< 1$  individuo/ $cm^3$ . *A. exiguus* (figura 5.6) se encuentra distribuido en bocas del Atrato, con su abundancia más alta en la bahía la Paila, además ocurrió en Damaquiel con una abundancia media (1-4 indiv/ $cm^3$ ).

Figura 5.5: Distribución de las abundancias de *M. fusca* en los manglares del Golfo de Urabá



*T. squammata* (figura 5.7 a) se localizó puntualmente en bocas del Atrato, en las bahías Burrera, La Paila y Marirrio, presentando su abundancia más alta en la segunda. *A. exilis* (figura 5.7 b) y *A. salsum* (figura 5.7c) se encontraron en bahía Yerbasal, Turbo y el Uno y en el caribe antioqueño en Damaquiel. *A. americanus* (figura 5.7

d) se localizó en bocas del Atrato en las bahías Yerbasal, El Rotico, Candelaria y Marirrio.

Figura 5.6: Distribución de abundancias *H. canariensis* (arriba) y *A. exiguus* (abajo).

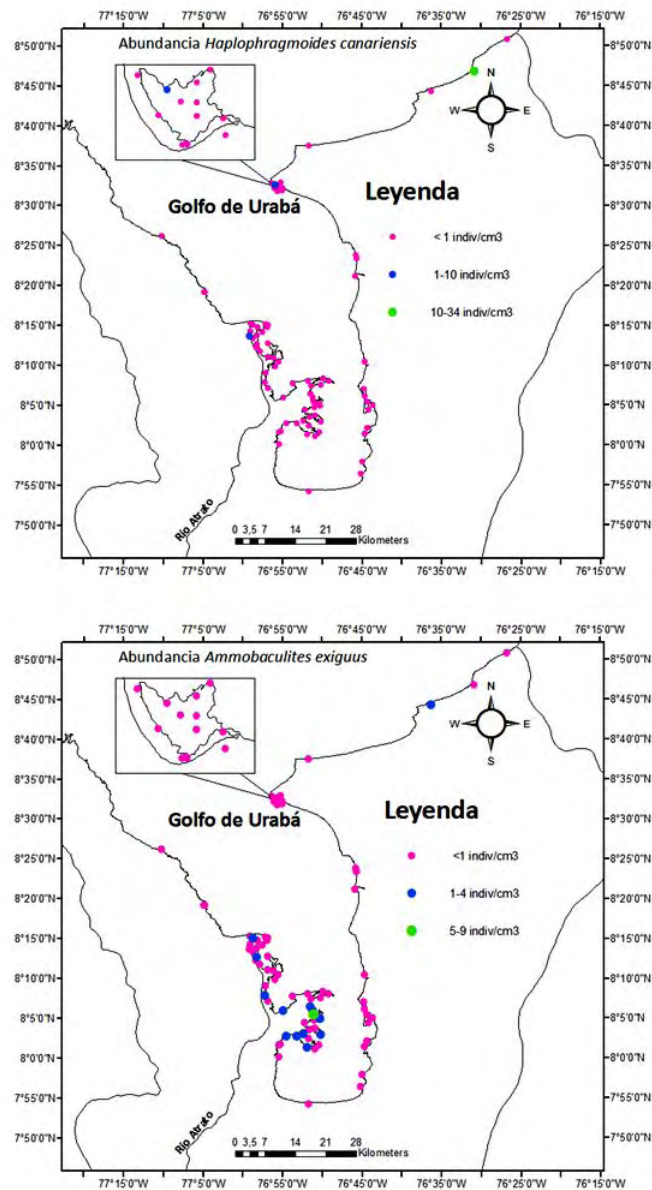
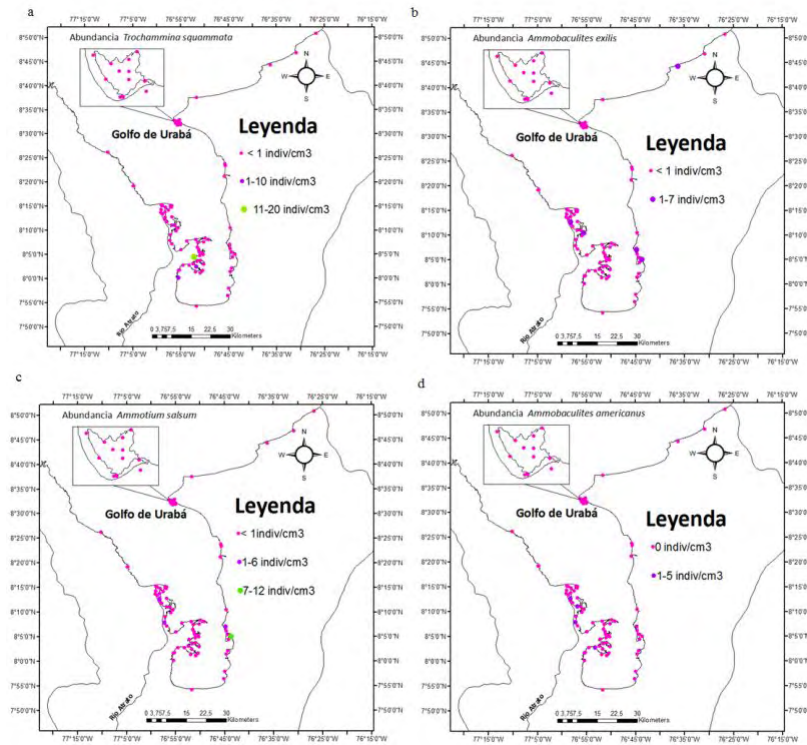


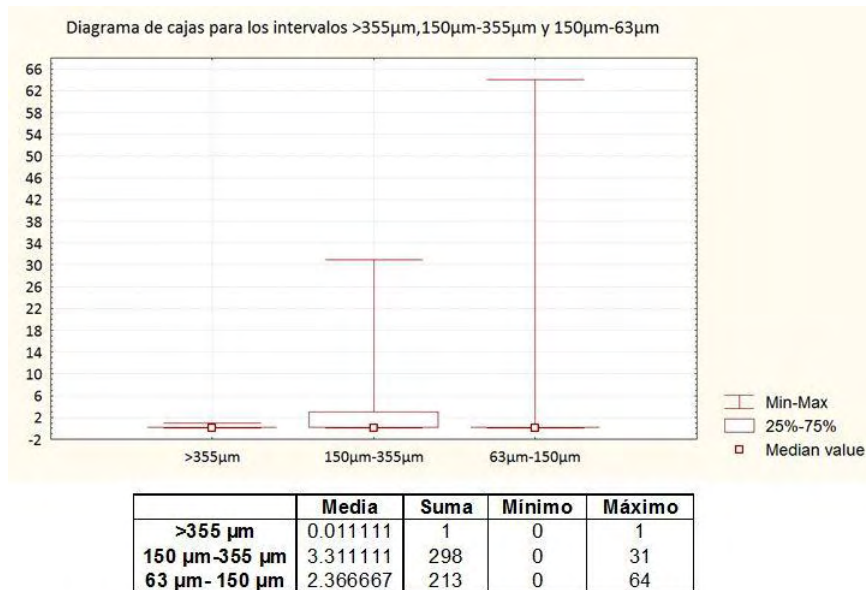
Figura 5.7: Mapas distribución de abundancias a) *T. squammata* , b) *A. exiliis*, c) *A. salsum*,d) *A. americanus*



### 5.3. Distribución de foraminíferos béticos por tamaño de grano

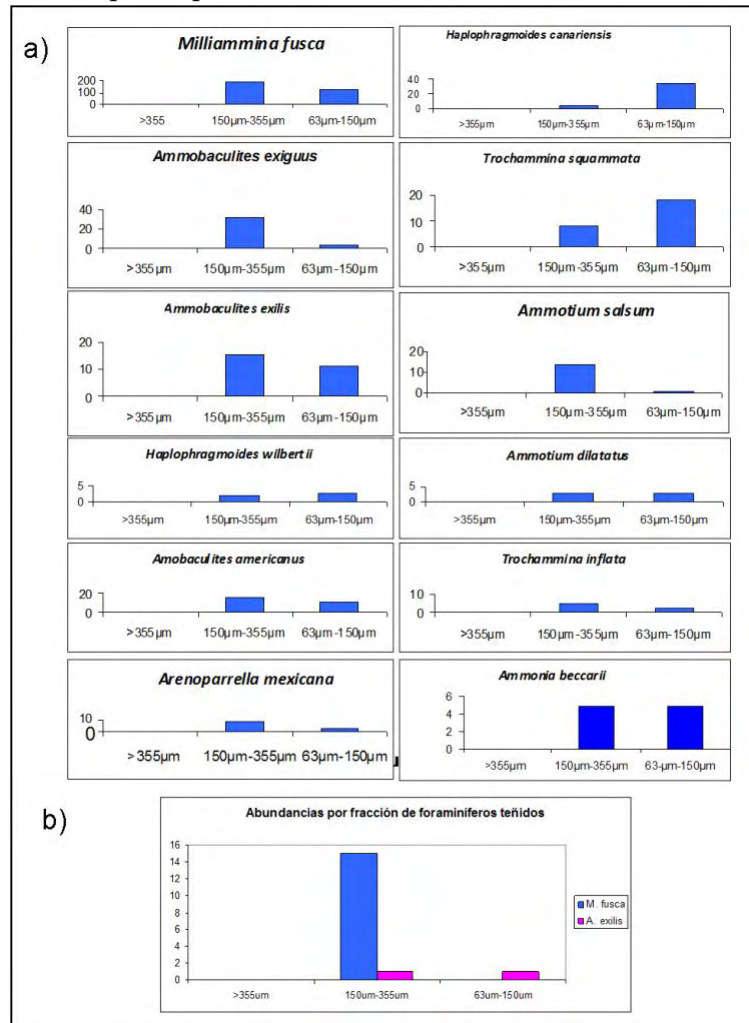
En la figura 5.8 se presenta el diagrama de cajas para los intervalos  $> 355\mu\text{m}$ ,  $150\mu\text{m}-355\mu\text{m}$  y  $150\mu\text{m}-63\mu\text{m}$ , realizado para el total de individuos encontrados en los sedimentos. Observamos que las distribuciones para los tres intervalos son distintas, teniendo una mayor dispersión el intervalo más pequeño ( $63\mu\text{m}-155\mu\text{m}$ ). Del valor de las medias se observa que en su mayoría los foraminíferos béticos en manglares, se encuentran en la fracción  $150\mu\text{m} - 355\mu\text{m}$  seguido por la fracción de  $63\mu\text{m} - 150\mu\text{m}$ .

Figura 5.8: Diagrama de cajas mostrando la distribución por intervalos de tamaños de grano de las abundancias totales de foraminíferos béticos



Las distribuciones por tamaño de las especies se encuentran en la figura 5.9 a, donde se muestra en un gráfico de bloques las abundancias por fracción ( $\text{indiv}/\text{cm}^3$ ) de cada especie. *H. canariensis* y *T. squammata* tienen preferencia por el intervalo más pequeño, mientras que *A. exiguus*, *A. exilis*, *A. salsum*, *T. inflata* y *A. mexicana* prefieren el intervalo entre  $150\mu\text{m}-355\mu\text{m}$ . *H. wilbertii*, *A. dilatatus*, *A. americanus* y *A. beccarii* se encuentran en similares proporciones en los intervalos mencionados anteriormente y ninguna de las especies tienen preferencia por sustratos gruesos ( $> 355\mu\text{m}$ ). La distribución por tamaño de las especies que resultaron teñidas se observa en la figura 5.9 b. *M. fusca* ocurrió en la fracción  $150\mu\text{m}-355\mu\text{m}$ , mientras que *A. exilis* estuvo presente en dicha fracción y en la de  $63\mu\text{m}-150\mu\text{m}$  en la misma proporción.

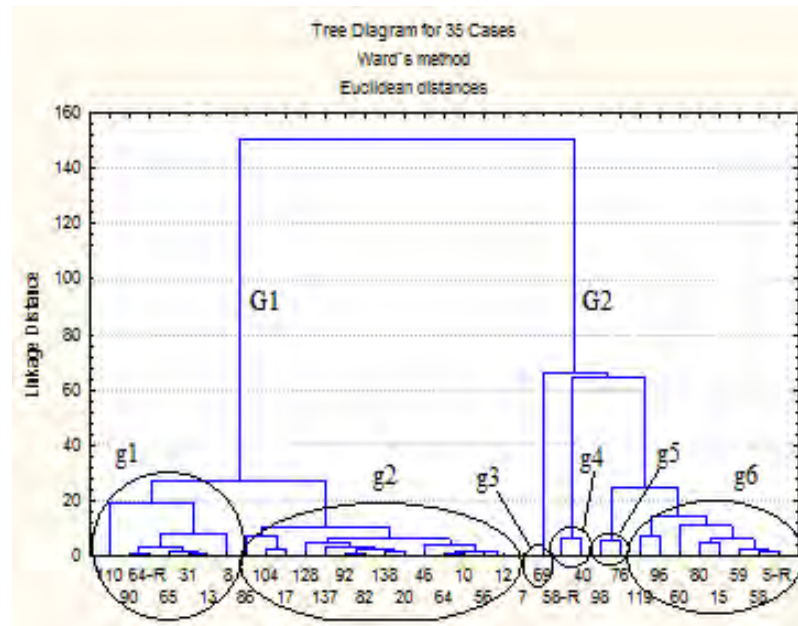
Figura 5.9: Gráficos de bloques mostrando la distribución de abundancias por intervalos de tamaño de grano según la especie; a) Para el total de individuos por especie; b) individuos teñidos por especie



## 5.4. Asociaciones de foraminíferos béticos

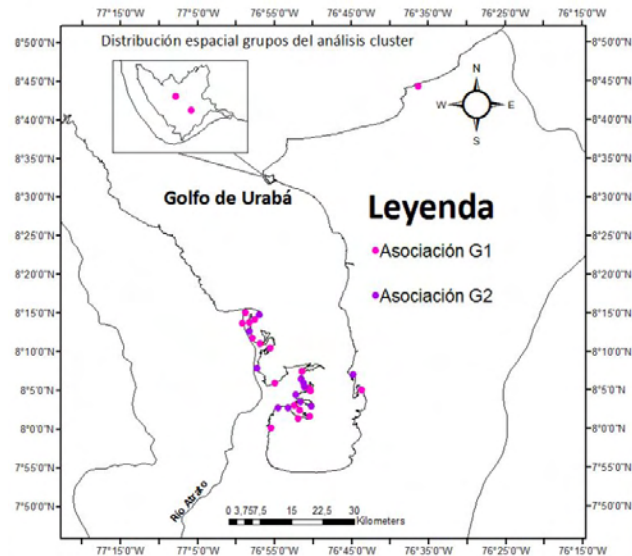
Se realizó el análisis cluster para las 35 estaciones donde se hallaron foraminíferos, usando los datos obtenidos de las once especies más abundantes (teñidas y no teñidas) en los sedimentos superficiales de los manglares del Golfo. El dendrograma resultante (figura 5.10) revela la existencia de dos grupos, cada uno mostrando diferente composición de asociaciones de foraminíferos. Las estaciones de muestreo que componen el primer grupo se caracterizan por tener abundancias más altas de las especies *T. squammata*, *A. salsum*, *A. mexicana* y *A. beccarii*, mientras que en el segundo grupo las especies *M. fusca*, *H. canariensis*, *A. exiguus*, *A. exilis*, *A. americanus* y *H. wilbertii* se encuentran en mayor abundancia.

Figura 5.10: Dendrograma obtenido del análisis cluster de las abundancias de las once especies más abundantes en el Golfo de Urabá



En la figura 5.11 se muestra el mapa de la distribución de las asociaciones de foraminíferos resultantes del análisis cluster. Se observa que no hay un patrón espacial definido para ninguna de las dos asociaciones.

Figura 5.11: Distribución espacial de las asociaciones resultantes de los grupos del análisis cluster



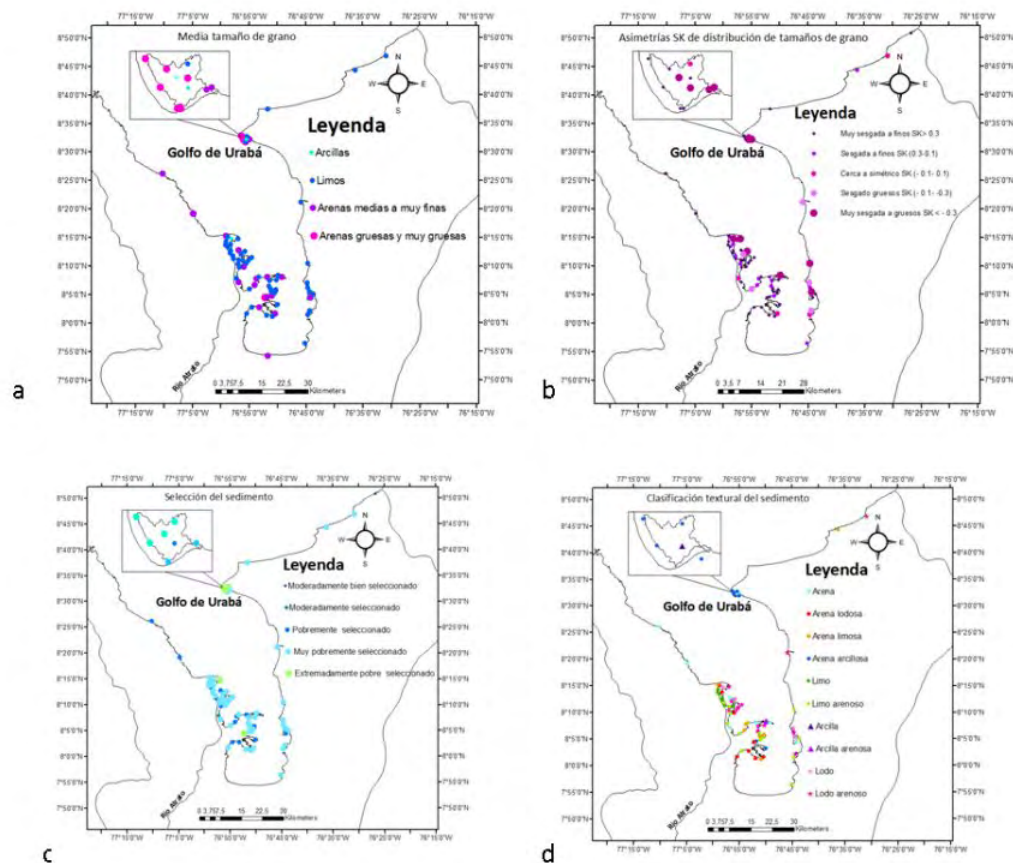
## 5.5. Caracterización de los ecosistemas de acuerdo con sus variables ambientales

### 5.5.1. Granulometría de los sedimentos

La distribución espacial de la media del tamaño de grano (figura 5.12 a) indica que los sedimentos en los cuerpos de agua asociados con los manglares del Golfo de Urabá tienden a ser arenas gruesas a muy finas en la zona del Urabá chocoano. En el área de bocas del Atrato predominan los limos, con zonas puntuales en donde se presentan arenas medianas a muy finas en las bahías Candelaria, Matuntugo y La Paila. La zona comprendida entre río León y el río Caimán viejo presenta limos, exceptuando un punto en bahía Turbo, donde hay arenas medias a muy finas. Hacia las márgenes de la ensenada de Rionegro predominan las arenas gruesas y muy gruesas, pero en el medio de ésta se presentan limos. En los manglares de la costa Caribe antioqueña predominan los sedimentos limosos. En la figura 5.12 b se observan las asimetrías de distribución de tamaño de grano en los sitios de muestreo. En general en la zona de bocas del Atrato la tendencia es sesgada a finos, llegando a ser muy sesgada a gruesos en las puntas de las bahías Yerbasa, El Rotico y Matuntugo. En

el área comprendida entre río León y la ensenada de Rionegro tienden a ser sesgados a gruesos y muy sesgado a gruesos, exceptuando río León donde los sedimentos se encuentran sesgados a finos. En el Caribe antioqueño la asimetría de los sedimentos va desde muy sesgada a finos en el caño Marimonda, hasta cerca a simétrico en el río San Juan. En general para todos los manglares del Golfo los sedimentos son mal seleccionados (figura 5.12 c), excluyendo en el Caribe antioqueño el manglar del río Hobo, donde el sedimento es moderadamente bien seleccionado.

Figura 5.12: Variación espacial del tamaño medio de grano (a), de la asimetría (b), la selección (c) y la clasificación textural de los sedimentos (d) (en unidades phi) en los manglares del Golfo de Urabá. La clasificación de los sedimentos se hizo según Folk (1954)

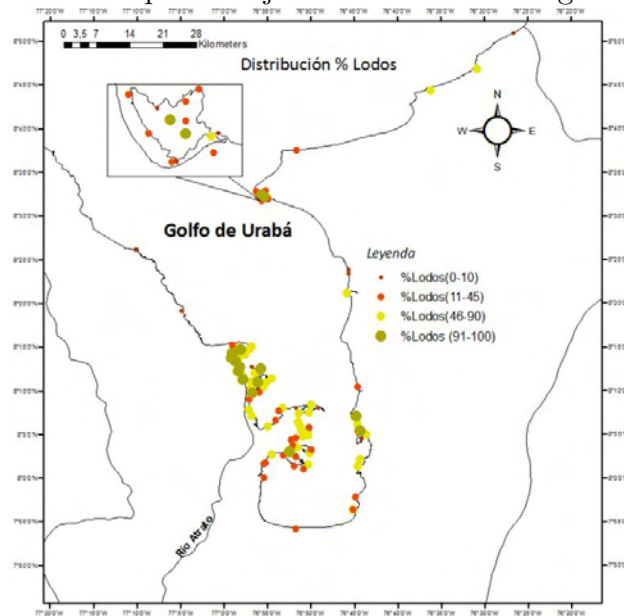


En cuanto a las tendencias texturales (figura 5.12 d) en los manglares de la costa



chocoana se encuentran arenas. En las bahías que conforman las bocas del Atrato se presentan diferentes tendencias texturales. En la bahía Yerbasal y el Rotico predominan los limos, exceptuando en la punta de la bahía el Rotico en donde el sustrato tiende a ser arena o lodo arenoso. En la bahía Candelaria encontramos lodo arenoso, arena lodosa, limo arenoso, arena y arena limosa. Las arenas predominan en la bahía Matuntugo. En la bahía Cocogrande prevalecen los lodos arenosos en media bahía y las arenas limosas en la otra mitad de la bahía. Los sustratos areno lodosos se localizan en la bahía Marirrio. En río León y Punta Coquito los sedimentos son limos arenosos. En el área entre bahía Turbo y el río Caimán viejo predominan los lodos y lodos arenosos. En la ensenada de Rionegro se encuentran arenas arcillosas y arcillas. Las arenas limosas se localizan en Damaquiel y en el río San Juan los lodos arenosos. El porcentaje de lodos (figura 5.13) resalta las diferencias entre muestras netamente lodosas (% 91-100) y netamente arenosas (% 0-10). Los cuerpos de agua asociados con los manglares ubicados en la zona de bocas del Atrato presentan los porcentajes de lodos más altos.

Figura 5.13: Distribución del porcentaje de lodos en los manglares del Golfo de Urabá

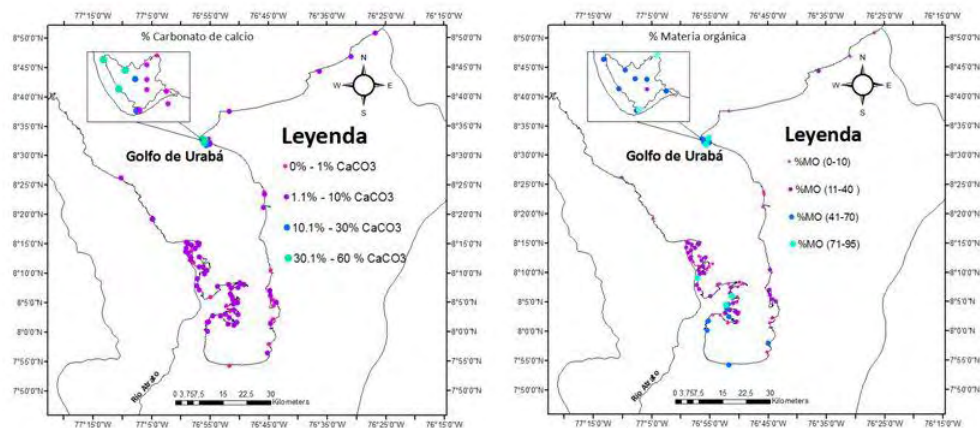


### 5.5.2. Contenido de carbonato de calcio y materia orgánica

Los contenidos de materia orgánica en las muestras fueron variables (de 0 a 95 %). Valores por encima del 40 % se presentaron en el delta del Atrato, bahía Colombia y la

ensenada de Rionegro. En esta última y en tres localidades del delta del Atrato (caño el Rotico, y zonas puntuales de las bahías Cocogrande y Burrera) se presentaron los mayores porcentajes de materia orgánica. En general el contenido de carbonatos en los manglares del Golfo no superó el 10 %, sin embargo en la ensenada de Rionegro se presentaron los mayores contenidos de carbonatos (entre 5 % y 60 %).

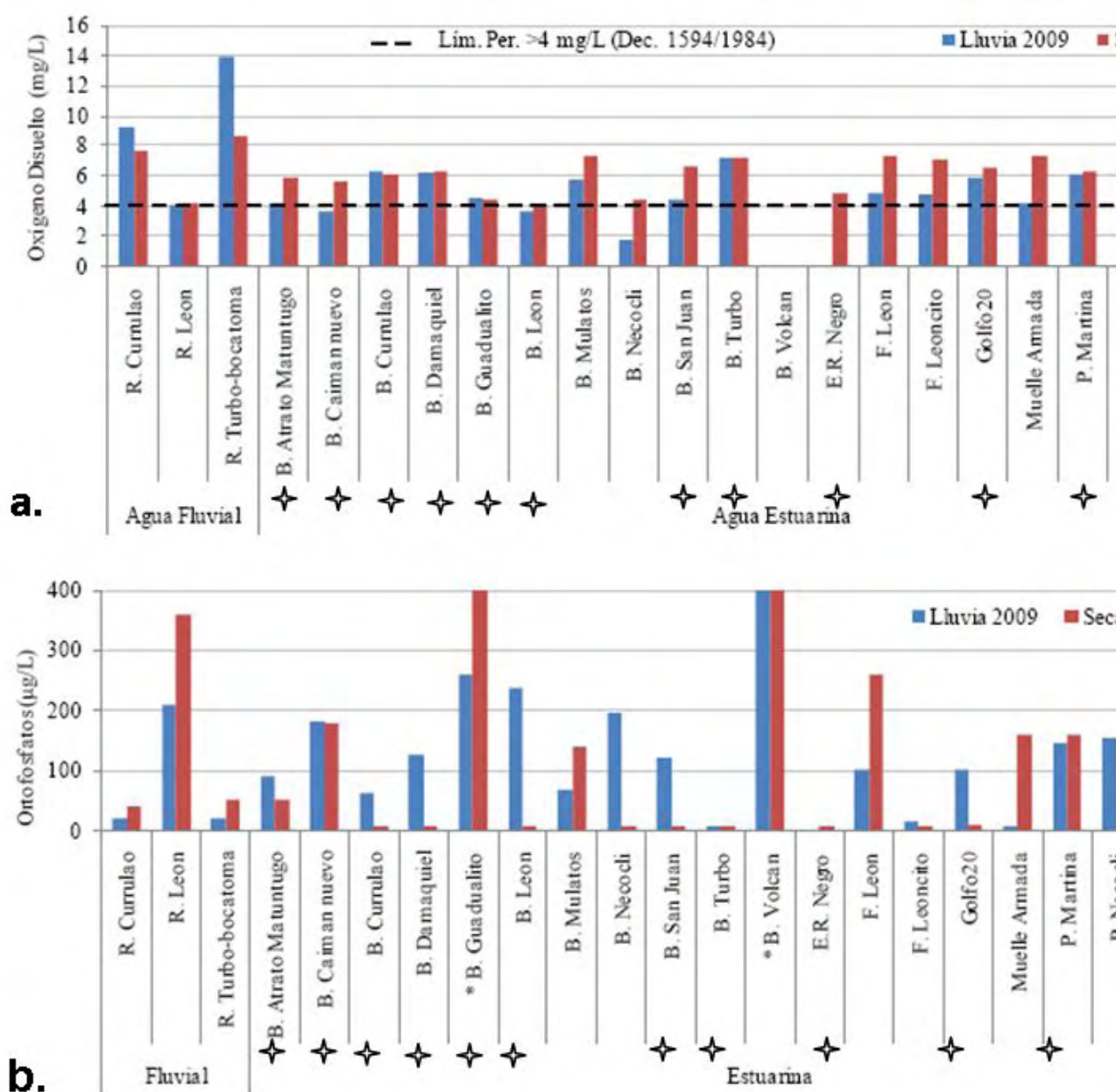
Figura 5.14: Mapas mostrando la distribución de % de carbonato de calcio (izquierda) y % de Materia orgánica (derecha)



### 5.5.3. Calidad del agua superficial en el Golfo de Urabá

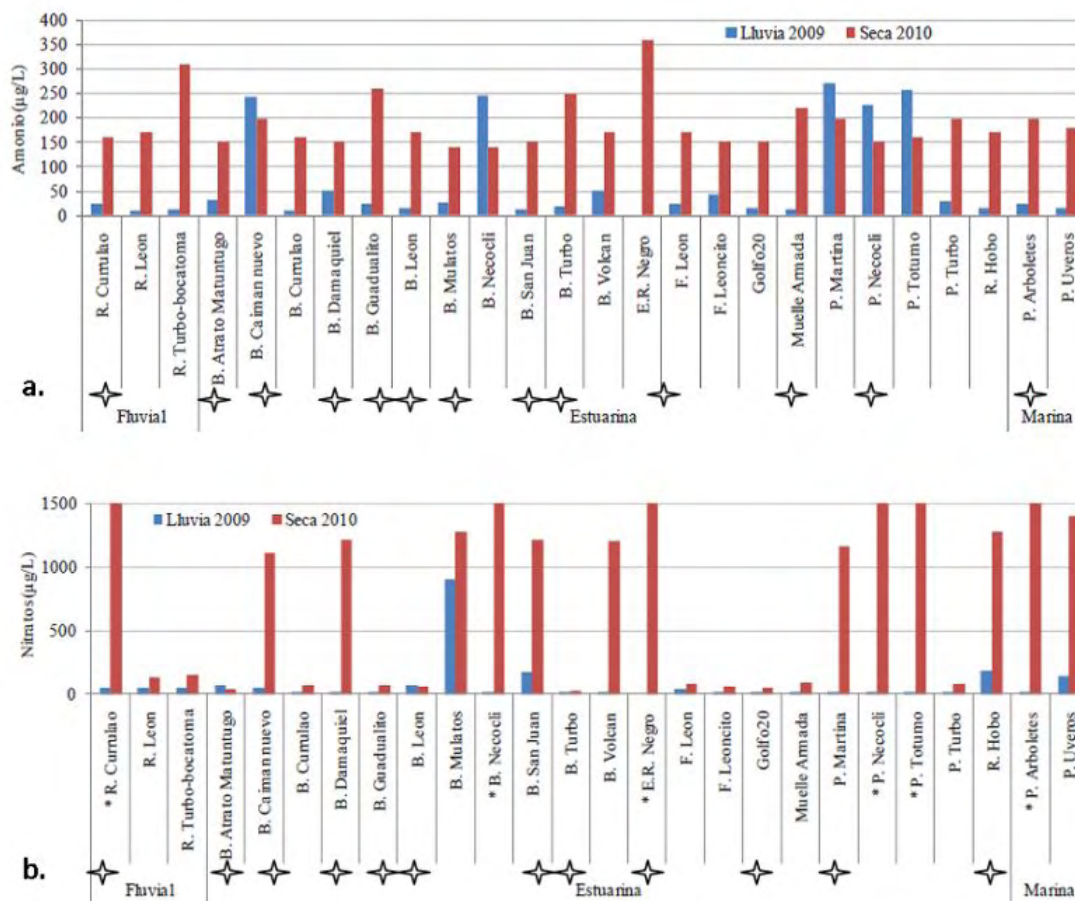
Para el análisis de la calidad de agua y su relación con los foraminíferos bénticos en el Golfo, se tuvieron en cuenta las gráficas del informe realizado en el 2010 por la Red de Monitoreo Ambiental (REDCAM) de INVEMAR. Los resultados del informe de la red de Monitoreo Ambiental (REDCAM) de INVEMAR (2010) mostraron condiciones de anoxia en la época de lluvias principalmente en las desembocaduras de los ríos Caimán Nuevo y León (figura 5.15 a). En la época seca mejoraron los valores de oxígeno disuelto en la mayoría de los sitios, sin embargo en el río Hobo persistieron los niveles de anoxia. En la mayor parte de localidades donde se realizó el muestreo de foraminíferos que coinciden con las estaciones de monitoreo de REDCAM, se evidenció que los niveles de oxígeno disuelto son relativamente cercanos (de hasta 7mg/L) que lo establecido por la norma colombiana para la preservación de la vida acuática (figura 5.15 a). Los niveles de oxígeno más altos se presentaron en la época seca en la boca del río Turbo y en un punto en bahía Matuntugo en las Bocas del Atrato. Los valores de concentraciones de oxígeno disuelto estuvieron entre 4 y 7 mg/L en época seca y entre 3.5 y 7 mg/L en época húmeda.

Figura 5.15: Variables químicas indicadoras de calidad de agua. Las estaciones con estrella coinciden con las localidades de muestreo de foraminíferos. a) Comportamiento del oxígeno disuelto (OD) en diferentes localidades del Golfo de Urabá. La línea negra indica el valor de referencia mínimo de 4mg/L, según la legislación colombiana; b) Concentraciones de fosfatos (P-PO<sub>4</sub>) medidas en aguas superficiales de Antioquia. Estaciones con \* sobrepasaron los 400 ug/L de P-PO<sub>4</sub> (gráficas tomadas de REDCAM (2010))



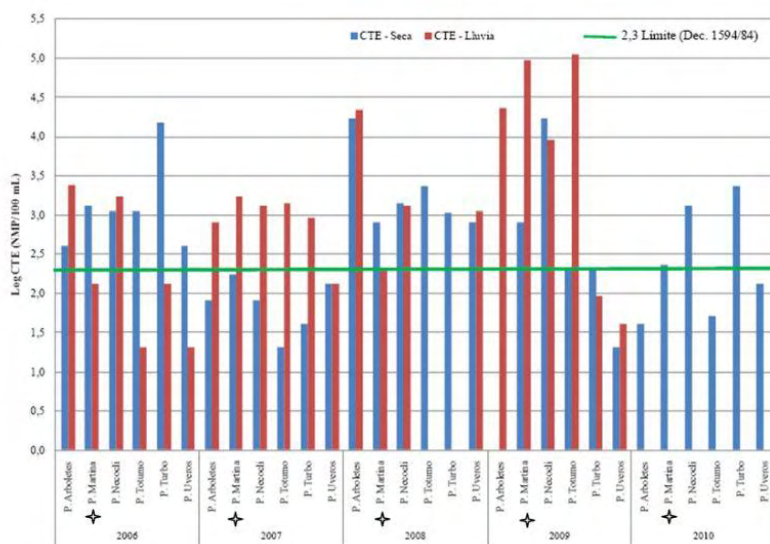
Las concentraciones de fosfatos (Figura 5.15 b) más altas se observaron durante la época seca. Los ríos León, Guadalito y Hobo, presentaron los valores más altos (hasta de 400ug/L) en época seca y húmeda. En general la mayoría de las estaciones estuvieron por debajo de 200ug/L en las dos épocas del año. Los resultados de nitrógeno (figura 5.16 a y b) mostraron diferentes comportamientos en la época seca y en la lluviosa. Los valores más altos de amonio (figura 5.16 a) en la época seca se presentaron en la ensenada de Rionegro y en la boca del río Guadualito. En la época lluviosa los valores de amonio se redujeron notablemente en la mayoría de las localidades, presentando incrementos en la boca del río Caimán Nuevo y en la playa la Martina. Las concentraciones de nitratos (figura 5.16 b) durante la época seca resultaron tener valores muy altos en algunas estaciones (hasta de 1500ug/L) y muy bajos en otras (hasta de 50ug/L). En la época lluviosa se presentaron los valores de concentraciones mínimas, incluso en algunas estaciones el valor llegó a ser cero. La boca del río San Juan fue la única estación de monitoreo que mostró valores más altos en la época lluviosa.

Figura 5.16: Gráficos de concentraciones de nutrientes. a) Concentraciones amonio N-NH<sub>4</sub>; b) Concentraciones medidas de nitratos N-NO<sub>3</sub>. Las estaciones con \* sobrepasan los 1500 µg/L de N-NO<sub>3</sub> (REDCAM, 2010)



Los valores en la época seca de coliformes fecales (figura 5.17) estuvieron por encima de la norma colombiana en las playas donde se recolectaron foraminíferos. Los valores más altos que se presentaron durante esta época se dieron en la playa la Martina en el año 2009. Durante la época lluviosa los valores tienden a disminuir exceptuando la playa de Turbo que siempre toma valores mayores durante esta época.

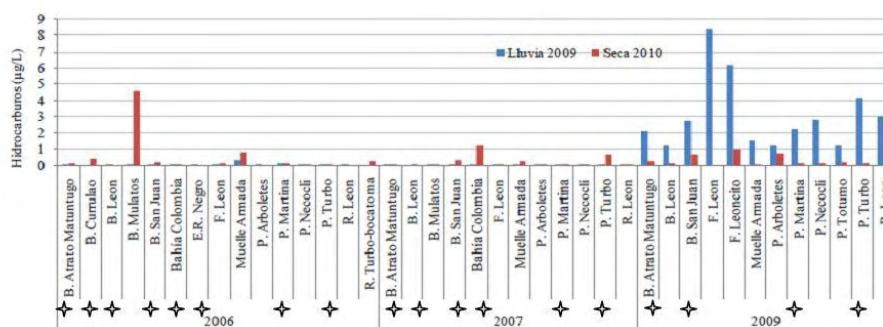
Figura 5.17: Concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) medidos en playas de Antioquia. La línea verde en 2.3 es el logaritmo de 200 NMP/100mL que indica el límite permisible para el contacto primario según el decreto 1594 (Minsalud, 1984) (REDCAM, 2010)



Respecto a los metales pesados, en el informe de REDCAM (2010) muestran como resultado que durante la época de lluvias de 2009 y la época seca de 2010, se registró la mayor concentración de cadmio en una estación de monitoreo ubicada en bocas del Atrato (0.94 ug/L) y en la desembocadura del río Guadualito (0.69 ug/L Cd), tanto para cadmio y para plomo (13.4 ug/L Pb), sin embargo estos niveles no exceden los valores referenciados como de riesgo en la normatividad internacional.

Los valores de hidrocarburos (figura 5.18) mostraron tener un incremento durante el año 2009 respecto a los años anteriores en boca Matuntugo, boca del río León, en la playa La Martina y en Turbo, presentando los mayores valores durante la época húmeda de 2009.

Figura 5.18: Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) en aguas superficiales (REDCAM, 2010)



En el cuadro 5.2 se muestran los valores de las concentraciones de plaguicidas detectados en aguas superficiales del Golfo. REDCAM reporta que la medición de compuestos organofosforados, en época de lluvias de 2009 detectó Clorotalonil y Clorpirifos en las 9 moléculas analizadas (Diuron, Diazinon, Clorotalonil, Metil Paration, Bromacil, Clorpirifos, fenaminfios, Cis y Trans-Permetrina); mientras que en la época seca de 2010 de detectó Clorpirifos en concentraciones que pueden representar riesgo para los organismos

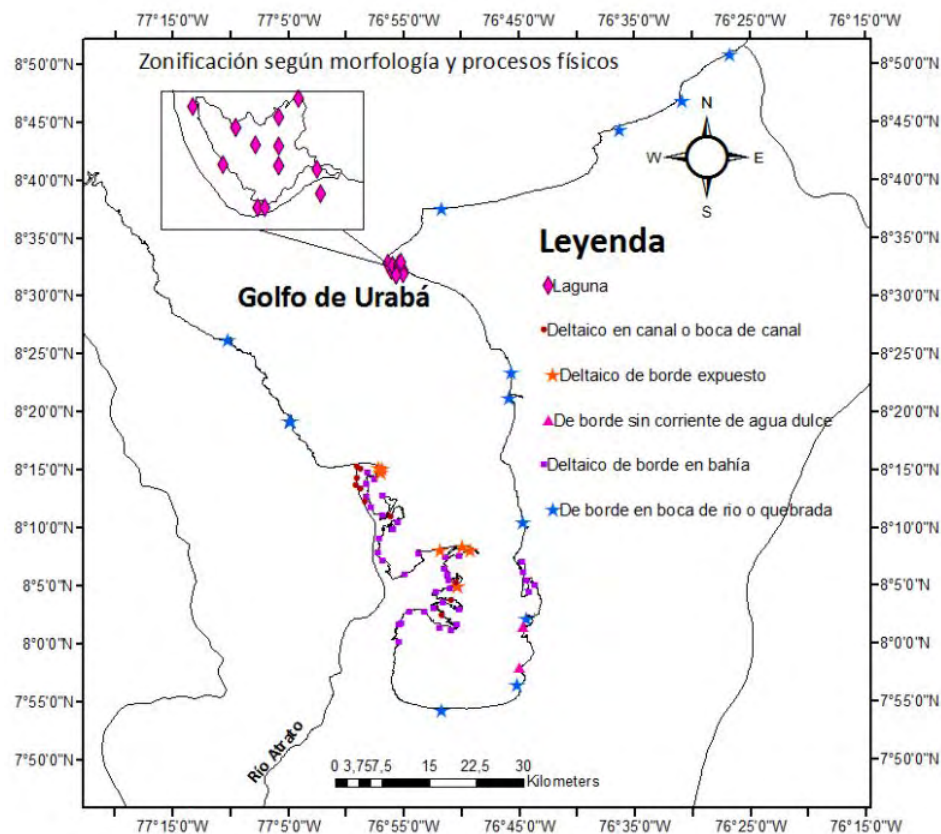
Cuadro 5.2: Concentraciones de plaguicidas detectados en aguas superficiales de Antioquia en la época lluviosa de 2009 y la seca de 2010 REDCAM (2010)

Época/año	Estación De Muestreo	Clorotalonil	Clorpirifos	ΣDdt'S	Endosulfan
Lluvia 2009	Desembocadura río León	23,9	80,0	-	-
	Desembocadura río Currulao	-	55,0	5,6	-
	Desembocadura río Guadualito	-	99,0	5,8	-
Seca 2010	Desembocadura río León	-	64,5	-	-
	Desembocadura río Currulao	-	38,1	-	-
	Desembocadura río Guadualito	-	21,2	-	16,3
Nivel de referencia para efectos crónicos (EPA, 2008)		-	5,6	0,5	4,35

#### 5.5.4. Zonificación según morfología y procesos físicos

Los sitios de muestreo se agruparon según el tipo de manglar, su localización dentro de éste, la estabilidad de la línea de costa, la exposición al oleaje y el grado de intervención humana. Las categorías se muestran en la figura 5.19, las cuales se definen en el cuadro 5.4. El principal objetivo de esta zonificación fue analizar la influencia de la morfodinámica de los manglares según su ubicación dentro del Golfo sobre foraminíferos bénticos.

Figura 5.19: Zonificación realizada en los manglares del Golfo de Urabá según su ubicación y procesos físicos



Para un total de 90 localidades, 9 quedaron agrupadas en manglares deltaicos de borde expuestos, 38 en deltaicos de borde en bahía, 10 en deltaicos en canal o boca de canal, 15 en borde en boca de río o quebrada 2 en de borde sin corriente de agua



dulce y 16 de laguna costera.

De la zonificación realizada para los diferentes manglares en el Golfo de Urabá y su relación con los foraminíferos se obtuvieron los siguientes resultados: El mayor porcentaje de muestras en las que se presentaron foraminíferos se ubicaron en las zona de los manglares deltaicos en borde de bahía con un 64% en un rango de abundancias entre 0-66 indiv/cm<sup>3</sup>. En orden decreciente de porcentaje le siguen los manglares deltaicos en canal o boca de canal, encontrando allí foraminíferos en la mitad de las muestras (50%) en un rango de abundancias entre 0-11 indiv/cm<sup>3</sup>. En los manglares deltaicos de borde expuestos se encontraron foraminíferos en el 33% de las muestras en un rango de abundancias entre 0-18 indiv/cm<sup>3</sup>. En pocas muestras se encontraron foraminíferos en los manglares ubicados en borde de boca de río o quebrada, solamente en el 13% de las muestras con un rango de abundancias entre 7-26 indiv/cm<sup>3</sup>. En la laguna costera de la ensenada de Rionegro solamente se encontraron foraminíferos en el 11% de las muestras, con abundancias entre 0-1 indiv/cm<sup>3</sup>. Por último en los manglares de borde sin corriente de agua dulce no se encontraron foraminíferos en ninguna de las muestras.

Se calculó el índice de similitud entre las zonas de manglares estudiadas, a partir del número de especies encontradas en cada tipo de localidad. Se encontró que las similitudes cualitativas entre los foraminíferos béticos en las seis zonas de manglares fluctuaron desde 0.068 hasta 0.23 (cuadro 5.3). El índice de similitud más alto ocurrió entre S3 y S5 (0.23), indicando que existe alguna similitud ambiental entre ambos sitios. El índice de similitud más bajo fue observado entre S1 y S3 (0.068), indicando diferencias en las condiciones ambientales entre estos sitios. La zona S1 mostró una similitud mínima con las demás zonas.

Cuadro 5.3: Coeficiente de similitud (Jaccard, 1942) calculado para la zonificación de los manglares

	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>
<b>S1</b>	1	0	0	0	0	0
<b>S2</b>	0	1	0	0	0	0
<b>S3</b>	0.0682	0	1	0	0	0
<b>S4</b>	0.0769	0	0.182	1	0	0
<b>S5</b>	0.087	0	0.233	0.133	1	0
<b>S6</b>	0	0	0.2	0.133	0.077	1

Cuadro 5.4: Cuadro descriptivo mostrando la zonificación de los manglares según su morfología y procesos físicos

SITIO	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	TEMPERATURA	SALINIDAD	SEDIMENTOS	MATERIA ORGÁNICA	CARBONATOS	FORAMINIFEROS
S1	De borde en boca de río o quebrada (15 muestras)	En zonas protegidas o expuestas al oleaje del Canal y el Golfo. Ubicadas en bordes de grandes ríos o pequeñas quebradas	Entre 3 cm y 1,40 m	De 27 a 30° C	Menos de 10 en las bahías del río Atrato, más de 10 (hasta 21) en bahía Colombia, bahía de Turbo y bahía El Uno	Arenas, arenas lodosas y lodos arenosos	Entre 1 y 65%	De 0,7 a 9%	3 localidades en el margen este del golfo con abundancias entre 7-26 indiv/cm3. Índice de Shannon entre 0-0,9. Mayor abundancia en Cacha con abundancias de hasta 20/cm3 y hasta 22 especies
S2	De borde sin corriente de agua dulce (2 muestras)	Protegidas del oleaje, ubicadas en bahía Colombia, sometidas a corrientes intermitentes de agua dulce	Entre 3 cm y 1,40 m	De 27 a 30° C	Entre 1 y 12	Arenas lodosas y lodos arenosos	Entre 0,2 y 65%	De 0,7 a 9%	Sin foraminíferos
S3	Deltacos de borde en bahía (30 muestras)	Zonas protegidas de oleaje ubicadas en bordes de bahías asociadas a un delta, incluy en bahías de los deltas del Atrato y Turbo.	Entre 10 cm y 2,6 m	De 27 a 31° C	Menos de 12 en las bahías del río Atrato, más de 10 (hasta 21) en bahía Colombia, bahía de Turbo y bahía El Uno	Principalmente lodos arenosos y arenas localmente hay lodos y arenas	Entre 4 y 82%	De 0 a 6,5%	23 localidades con foraminíferos. Abundancia y composición variables. Mayor abundancia en localidades por cm3. Índice de Shannon Desde 0 hasta 0,66
S4	Deltacos en canal o boca de canal (10 muestras)	Protegidas del oleaje, ubicadas en los canales formados por los Ecos del Atrato	Entre 10 cm y 3,20 m	De 23 a 29° C	Menos de 9	Arenas lodosas y lodos arenosos	Entre 4 y 58%	De 1 a 6 %	5 localidades con foraminíferos. Desde 0 a 11 individuos por cm3. Índice de Shannon entre 0,5
S5	Deltacos de borde expuestos (9 muestras)	Expuestos al oleaje del Golfo, ubicados en las puntas salientes del delta del Atrato	Entre 15 cm y 1,20 m	De 27 a 30° C	Menos de 10	Arenas y lodos arenosos	Entre 2 y 22%	De 2 a 6%	3 localidades con foraminíferos. Desde 0 hasta 18 indiv/cm3. Índice de Shannon entre 0,7 y 0,42
S6	De laguna costera (18 muestras)	Protegidas del oleaje por barreras físicas que limitan su acceso	Entre 10 cm y 5 m	De 27 a 29° C	Entre 1 y 18	Turba	Hasta 95%	De 1 a 57%	Dos localidades en la Enseñada con foraminíferos

### 5.5.5. Análisis cluster de las estaciones

El análisis cluster de las estaciones (figura 5.21) fue realizado con las variables que se presentan en el cuadro 5.5, excluyendo la zonificación. Entre los valores de % de materia orgánica, % de carbonato de calcio, % de lodos, media e índice de Shannon de los dos grupos, se observa que en ambos grupos se encuentran en rangos muy semejantes. En el grupo uno la abundancia de foraminíferos y el % aglutinados es mucho mayor que en el segundo grupo, mostrando esto que en el segundo cluster resultaron agrupadas las estaciones donde no se encontraron foraminíferos. En cuanto a la zonificación (ver paralelo cuadro 5.5) se encontró que la presencia de foraminíferos se ve favorecida por las zonas deltaicas en borde de bahía y las de borde en boca de río o quebrada. Por el contrario, las zonas de borde sin corriente de agua dulce, deltaicas de borde expuesto y las zonas de laguna costera no tienen condiciones ambientales propicias para el crecimiento de estos organismos.

Cuadro 5.5: Paralelo de las variables entre los dos grupos obtenidos a partir del análisis cluster

	<b>G1</b>	<b>G2</b>
<b>Abundancia foraminíferos</b>	Entre 1-16	Entre 0-1
<b>MO</b>	4-81%	5-94%
<b>CaCO3</b>	0.7-42%	0.22-57%
<b>Lodos</b>	13-99.9%	0-99.4%
<b>media</b>	Entre 1.19 y -7.16	Entre -3.0 y 9.2
<b>Índice de Shannon</b>	Entre 0 y 0.92	Entre 0 y 0.82
<b>Aglutinados</b>	46.2-100%	0%
<b>Zonificación</b>	2 borde en boca de río o quebrada, 23 deltaico en borde de bahía, 5 deltaico en canal o boca de canal, 3 deltaico de borde expuesto, 1 Laguna costera	13 borde en boca de río o quebrada, 13 deltaico en borde de bahía, 5 deltaico en canal o boca de canal, 6 deltaico de borde expuesto, 17 laguna costera, 2 de borde sin corriente de agua dulce

Figura 5.20: distribución de los dos grupos obtenidos del análisis cluster

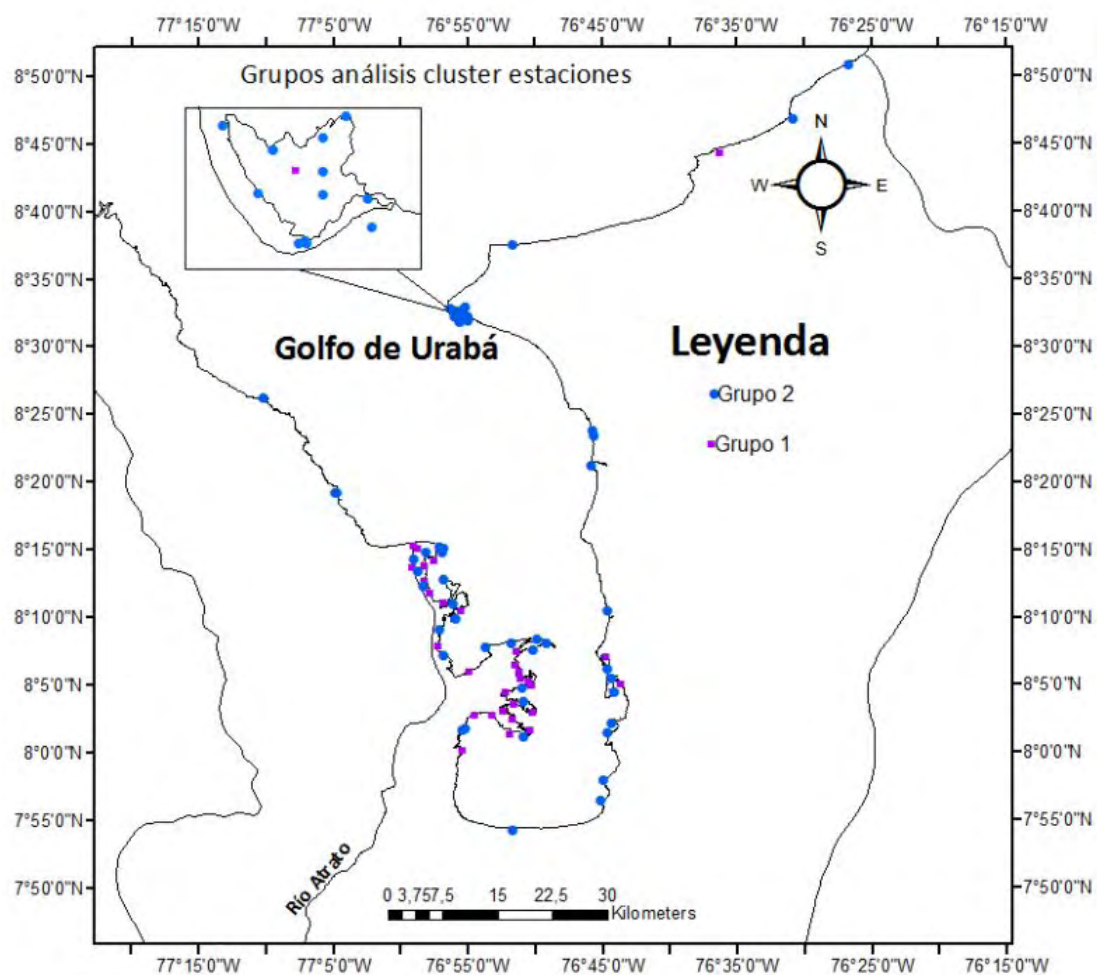
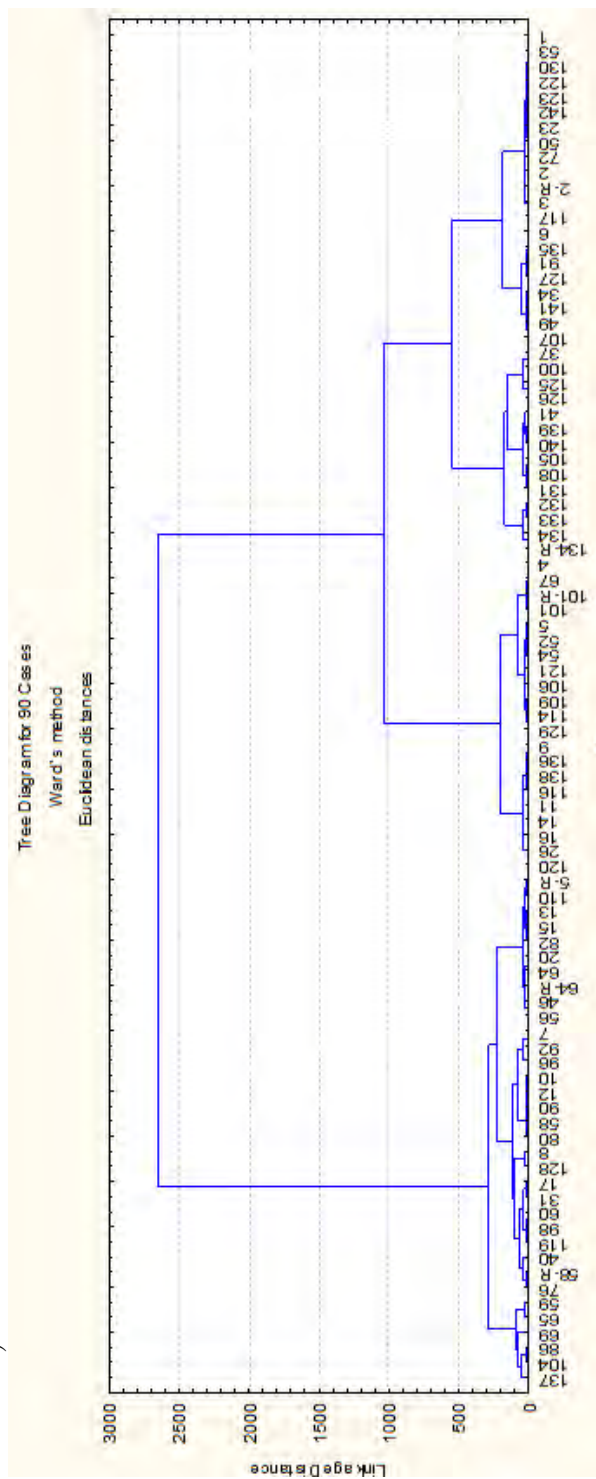


Figura 5.21: Dendrograma obtenido del análisis cluster de las variables mas significativas (abundancia totales de foraminíferos, % materia orgánica, % de carbonato de calcio, % lodos, media del tamaño de grano y % de aglutinados) en las localidades de muestreo.



## 5.6. Relación entre foraminíferos y variables físicas

### 5.6.1. Análisis estadísticos

En la matriz de correlación realizada entre las variables (abundancias totales, abundancias de las 11 especies principales, materia orgánica, carbonatos, lodos y tamaño medio de grano), no se muestran los resultados obtenidos para la profundidad, salinidad y temperatura, ya que se analizaron las correlaciones significativas al 95 % (figura 5.22 a) y ninguna de estas variables mostró correlaciones significativas con las especies de foraminíferos. La abundancia total de foraminíferos se correlacionó con la abundancia de *M. fusca*, *H. canariensis*, *A. exiguus*, *T. squammata*, *A. exilis*, *A. americanus*, *A. mexicana* y *H. wilbertii* presentándose las mayores correlaciones de las abundancias totales con *M. fusca*, *H. canariensis*, *T. squammata* y *H. wilbertii*. *M. fusca* resultó asociada con *A. exilis*, *A. exiguus* y *A. americanus*. De la misma manera *H. canariensis* se asoció con *T. squammata*, *A. mexicana* y *H. wilbertii* y se encontró una relación significativa entre el porcentaje de materia orgánica y esta asociación. *A. salsum* se encontró asociada con *H. wilbertii*, *A. beccarii* con *A. exilis* y por último *A. americanus* con *T. inflata*. En la segunda matriz se correlacionaron las especies de foraminíferos teñidos con las variables ambientales (figura 5.22 b). En éste análisis no resultaron coeficientes significativos entre los foraminíferos y las variables ambientales.

Figura 5.22: Matriz de correlación entre las variables seleccionadas. Las correlaciones resaltadas son significantes a un valor  $p < 0.05$ . a) Especies más abundantes presentes en los sedimentos; b) Especies de foraminíferos teñidos

a)

	Ab.Total	M.fusca	Hcanari	Aexiguus	Tsquam	Aexilis	Asalsum	Aamerica	Americ	A.beccarii	Tinflata	Hwilbertii	MO	CaCO3	Lodos	media
Ab.Total	1.00	0.83	0.55	0.45	0.53	0.49	0.19	0.31	0.22	0.12	0.16	0.57	0.13	-0.14	0.14	0.02
M.fusca	0.83	1.00	0.55	0.45	0.53	0.45	0.07	0.25	-0.01	0.04	0.15	0.11	0.02	-0.12	0.21	0.10
Hcanari	0.55	0.55	1.00	-0.03	0.56	-0.02	-0.02	0.35	0.00	-0.02	0.90	0.26	-0.05	-0.10	-0.15	
Aexiguus	0.45	0.48	-0.03	1.00	-0.05	0.23	-0.01	0.20	-0.07	0.08	0.00	-0.05	-0.05	-0.09	0.17	0.05
Tsquam	0.53	0.05	0.96	-0.05	1.00	-0.03	-0.02	-0.03	0.42	-0.03	-0.03	0.86	0.31	-0.07	-0.11	-0.18
Aexilis	0.49	0.45	-0.02	0.23	-0.03	1.00	0.15	0.58	-0.05	0.31	0.05	-0.01	-0.13	-0.08	0.08	0.11
Asalsum	0.19	0.07	-0.02	-0.01	-0.02	0.15	1.00	0.03	-0.03	0.00	0.04	0.28	-0.09	-0.05	0.16	0.08
Aamerica	0.31	0.25	-0.03	0.20	-0.03	0.58	0.03	1.00	-0.05	-0.04	0.33	-0.04	-0.05	0.12	0.00	-0.05
Americ	0.22	-0.01	0.35	-0.07	0.42	-0.05	-0.03	-0.05	1.00	-0.04	0.11	0.30	0.26	-0.10	-0.08	-0.15
A.beccarii	0.12	0.04	0.00	0.08	-0.03	0.31	0.00	-0.04	-0.04	1.00	-0.04	-0.03	-0.07	-0.05	0.12	0.16
Tinflata	0.16	0.15	-0.02	0.00	-0.03	0.05	0.04	0.33	0.11	-0.04	1.00	0.05	-0.05	-0.03	0.22	0.16
Hwilbertii	0.57	0.11	0.90	-0.05	0.86	-0.01	0.28	-0.04	0.30	-0.03	0.05	1.00	0.20	-0.07	-0.01	-0.08
MO	0.13	0.02	0.26	-0.05	0.31	-0.13	-0.09	-0.05	0.26	-0.07	-0.05	0.20	1.00	0.20	-0.19	-0.48
CaCO3	-0.14	-0.12	-0.06	-0.09	-0.07	-0.08	-0.05	0.12	-0.10	-0.05	-0.03	-0.07	0.26	1.00	-0.22	-0.49
Lodos	0.14	0.21	-0.10	0.17	-0.11	0.06	0.16	0.00	-0.08	0.12	0.22	-0.01	-0.19	-0.22	1.00	0.72
media	0.02	0.10	-0.15	0.06	-0.18	0.11	0.08	-0.05	-0.15	0.18	0.16	-0.08	-0.48	-0.49	0.72	1.00
Ind Shannon	0.43	0.24	0.20	0.32	0.22	0.38	0.14	0.29	0.28	0.27	0.30	0.20	-0.03	-0.19	0.33	0.23
Aquitinados	0.82	0.58	0.15	0.42	0.19	0.28	0.16	0.29	0.27	0.07	0.26	0.21	0.08	-0.15	0.31	0.12

b)

	Ab_total	M.fusca	A.exilis	S	MO	CaCO3	Lodos	media
Ab_total	1.00	0.98	0.54	-0.03	-0.17	-0.08	0.14	0.05
M.fusca	0.98	1.00	0.34	-0.03	-0.18	-0.08	0.13	0.04
A.exilis	0.54	0.34	1.00	0.01	-0.06	-0.04	0.11	0.07
P	0.04	0.00	0.17	0.15	0.11	0.42	0.17	0.01
T	0.10	0.07	0.15	0.26	0.02	0.01	0.03	0.05
S	-0.03	-0.03	0.01	1.00	0.19	0.29	-0.23	-0.30
MO	-0.17	-0.18	-0.06	0.19	1.00	0.27	-0.24	-0.49
CaCO3	-0.08	-0.08	-0.04	0.29	0.27	1.00	-0.21	-0.49
Lodos	0.14	0.13	0.11	-0.23	-0.24	-0.21	1.00	0.71
media	0.05	0.04	0.07	-0.30	-0.49	-0.49	0.71	1.00

Se realizaron varias regresiones múltiples con el fin de relacionar las variables medidas con las abundancias de foraminíferos. A partir de la matriz de correlación, se escogieron las variables que resultaron ser más significativas para realizar la primera regresión lineal y a partir de los resultados obtenidos se fueron excluyendo variables, con el fin de mejorar el valor de los coeficientes de regresión. En las regresiones lineales múltiples realizadas, no se encontró un coeficiente de correlación alto (R mayor o igual a 0.5). En la figura 5.23 se ilustran cuatro de las regresiones realizadas, en la primera se tuvieron en cuenta todas las variables medidas en el estudio, en la segunda no se incluyeron la temperatura, salinidad y profundidad, ya que en la matriz de correlación no se encontraron correlaciones significativas de estas variables con los foraminíferos, en la tercera se tomaron las abundancias de *M. fusca* como variable dependiente y en la cuarta las abundancias de los individuos teñidos. En ninguno de los cuatro casos el coeficiente de correlación fue significativo.

Figura 5.23: Análisis de regresión múltiple. a) Con todas las variables; b) Con las variables mas significativas; c) Con la especie mas abundante como variable dependiente y las variables mas significativas como independientes; d) con las abundancias de los individuos teñidos de *M. fusca* como variable independiente y las variables mas significativas como independientes

a.	<p><b>Multiple Regression Results</b></p> <p>Dependent: Ab_Total(ind/cm3) Multiple R = ,29100207 F = 1,044117  R<sup>2</sup>= ,08468221 df = 7,79</p> <p>No. of cases: 87 adjusted R<sup>2</sup>= ,00357810 p = ,407572  Standard error of estimate:11,927550499</p> <p>Intercept: 14,414834826 Std.Error: 29,64298 t( 79) = ,48628 p = ,6281</p> <p>P beta=,055 T beta=-,03 S beta=-,02  MO beta=,127 CaCO3 beta=-,25 Lodos beta=,271 media beta=-,26</p>
b.	<p><b>Multiple Regression Results</b></p> <p>Dependent: Ab_Total(ind/cm3) Multiple R = ,29667993 F = 2,050924  R<sup>2</sup>= ,08801898 df = 4,85</p> <p>No. of cases: 90 adjusted R<sup>2</sup>= ,04510223 p = ,094460  Standard error of estimate:11,524743965</p> <p>Intercept: 4,833219947 Std.Error: 3,694966 t( 85) = 1,3081 p = ,1944</p> <p>MO beta=,135 CaCO3 beta=-,23 Lodos beta=,298 media beta=-,25</p>
	<p><b>Multiple Regression Results</b></p> <p>Dependent: Mfusca Multiple R = ,25332834 F = 1,457243  R<sup>2</sup>= ,06417525 df = 4,85</p> <p>No. of cases: 90 adjusted R<sup>2</sup>= ,02013644 p = ,222423  Standard error of estimate: 7,707840414</p> <p>Intercept: 2,309537903 Std.Error: 2,471222 t( 85) = ,93457 p = ,3527</p> <p>MO beta=,041 CaCO3 beta=-,15 Lodos beta=,306 media beta=-,17</p>
c.	<p><b>Multiple Regression Results</b></p> <p>Dependent: M. fusca Multiple R = ,40527463 F = 1,916134  R<sup>2</sup>= ,16424753 df = 8,78</p> <p>No. of cases: 87 adjusted R<sup>2</sup>= ,07852932 p = ,069186  Standard error of estimate: ,570856339</p> <p>Intercept: -,671049194 Std.Error: 1,418890 t( 78) = -,4729 p = ,6376</p> <p>P beta=,031 T beta=,074 S beta=,014  MO beta=-,25 CaCO3 beta=-,08 Lodos beta=,142 media beta=-,28</p>



Se realizaron tres análisis de componentes principales ACP (se muestran dos). En el primer análisis se incluyeron las once especies más abundantes, la profundidad, la temperatura, la salinidad, el % de materia orgánica, el % carbonatos, el % lodos, la media del tamaño de grano, el índice de Shannon y el % de aglutinados (figura 5.24). En el segundo análisis se tuvo en cuenta las especies que resultaron teñidas, más las otras variables que se incluyeron en el primer análisis y en el tercer análisis se realizó un sub-muestreo con las muestras ubicadas en Bocas del Atrato teniendo en cuenta las mismas variables del primer análisis. El objetivo de los tres ACP era buscar el menor número de factores posibles, que explicaran al menos un 70 % de la varianza. En el primer ACP, las siete componentes principales explican el 70 % de la varianza total. Se observa que la primera componente principal (Factor 1), tiene las mayores correlaciones negativas con *M. fusca*, *H. canariensis*, *T. squamata*, *H. wilbertii*, el índice de Shannon y con el % de aglutinados, mientras que tiene correlaciones menores con las demás variables. La segunda componente presenta correlaciones mayores a 0.5 con las abundancias de *T. squamata* y *H. wilbertii*, el % de materia orgánica y negativas con el % de lodos y la media de tamaño de grano. La varianza de la tercera componente se encuentra explicada principalmente por el % de carbonatos y la abundancia de la especie *A. americanus* y tiene una correlación negativa con la media del tamaño de grano. La profundidad y la temperatura presentan una correlación negativa significativa con la cuarta componente. En la quinta componente las abundancias y de las especies *A. salsum* y *T. inflata* son las que presentan mayor correlación, siendo la correlación con *T. inflata* negativa. Las correlaciones de las variables con la sexta componente son menores a 0.5. La séptima componente presenta sus correlaciones más altas con las abundancias de *A. salsum* y *A. beccarii*, siendo la correlación con esta última negativa. En el segundo ACP (figura 5.25), cinco componentes principales explican el 75 % de la varianza en los datos. En la primera componente principal el % carbonatos, % lodos, media del tamaño de grano y % aglutinados son las variables que realizan el mayor aporte a la varianza de esta componente. La profundidad y temperatura resultan importantes en la varianza de la tercera componente, mientras que en la cuarta componente se resalta el aporte de la materia orgánica. La temperatura es la que presenta la correlación más alta con la quinta componente. Por último en el ACP realizado para las muestras ubicadas en Bocas del Atrato, seis componentes explican el 71 % de la varianza.

Figura 5.24: Resultados del análisis de componentes principales entre las once especies principales, la profundidad, la temperatura, la salinidad, el % de materia orgánica, el % carbonatos, el % lodos, la media del tamaño de grano, el índice de Shannon y el % de aglutinados.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7
Ab_Total(indi)	-0.925099	0.027630	0.167265	0.144912	-0.146805	-0.077365	-0.064166
Mfusca	-0.642196	-0.311320	0.297614	0.310759	-0.065016	-0.166309	-0.186500
Hcanari	-0.611302	0.668780	-0.258434	-0.071191	-0.088339	-0.048782	0.091131
Aexiguus	-0.418507	-0.345646	0.246648	0.322803	0.000024	-0.253280	-0.025274
Tsquam	-0.608066	0.689002	-0.243372	-0.074964	-0.035107	-0.046154	0.088886
Aexilis	-0.462886	-0.376999	0.436987	-0.024957	-0.296262	0.166250	0.349769
Asalsum	-0.206928	-0.078940	-0.012714	-0.187900	-0.519235	0.336288	-0.491926
Aamerica	-0.349206	-0.260971	0.541810	-0.047016	0.142776	0.369860	0.084979
Amexic	-0.352936	0.376814	-0.117724	-0.182099	0.411360	0.102059	0.147248
A.beccarii	-0.158222	-0.227205	-0.001315	-0.229429	-0.287738	-0.315365	0.599821
Tinflata	-0.272719	-0.243806	0.024217	-0.278206	0.543291	0.362652	-0.193182
Hwilbertii	-0.633489	0.590507	-0.271680	-0.139084	-0.226589	0.085693	-0.133833
P	0.036802	0.026335	0.329025	-0.565258	0.048523	-0.556628	-0.144411
T	0.030801	-0.057050	0.215368	-0.542539	0.048684	0.252565	0.213085
S	0.168796	0.294408	0.455471	-0.296488	-0.405237	0.173576	-0.136436
MO	-0.098720	0.564424	0.298650	0.008917	0.256776	-0.201042	-0.055826
CaCO3	0.239032	0.298011	0.618959	-0.211980	0.079884	-0.273345	-0.216824
Lodos	-0.248843	-0.561420	-0.362714	-0.380011	0.027297	-0.274192	-0.311019
media	-0.119142	-0.643300	-0.553823	-0.281838	-0.103452	-0.085001	-0.040741
Ind_Shannon	-0.649844	-0.267298	-0.027582	-0.262214	0.166145	0.060060	0.199004
Agglutinados	-0.724209	-0.244330	0.087752	0.153565	0.234096	-0.086055	-0.185601

	Eigenvalue	% Total	Cumulative	Cumulative
1	4.311684	20.53183	4.31168	20.5318
2	3.315541	15.78829	7.62723	36.3201
3	2.157479	10.27371	9.78470	46.5938
4	1.516105	7.21955	11.30081	53.8134
5	1.346204	6.41050	12.64701	60.2239
6	1.240867	5.90889	13.88786	66.1328
7	1.171440	5.57329	15.05932	71.7111
8	1.055548	5.02642	16.11487	76.7375
9	0.972797	4.63237	17.08767	81.3698
10	0.697364	3.32078	17.78503	84.6906
11	0.681126	3.24346	18.46616	87.9341
12	0.566964	2.69983	19.03312	90.6339
13	0.489769	2.33223	19.52289	92.9661
14	0.390363	1.85887	19.91325	94.8250
15	0.328198	1.56285	20.24145	96.3879
16	0.309779	1.47514	20.55123	97.8630
17	0.183222	0.87249	20.73445	98.7355
18	0.166907	0.79480	20.90136	99.5303
19	0.072250	0.34405	20.97361	99.8743
20	0.025262	0.12029	20.99887	99.9946
21	0.001129	0.00538	21.00000	100.0000

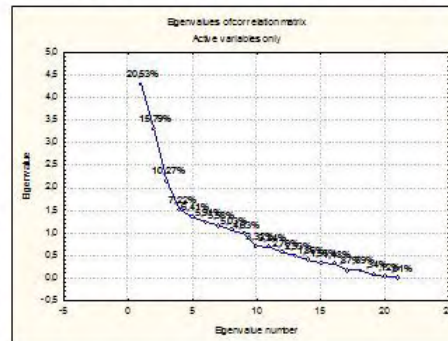
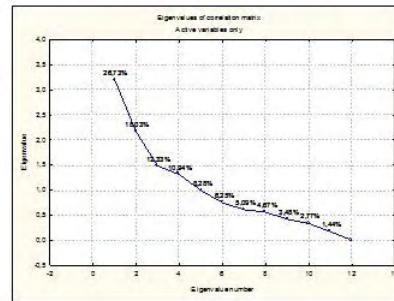


Figura 5.25: Resultados del análisis de componentes principales entre las dos especies que resultaron teñidas, la profundidad, la temperatura, la salinidad, el % de materia orgánica, el % carbonatos, el % lodos, la media del tamaño de grano, el índice de Shannon y el % de aglutinados.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7
Ab_total	0.710556	0.608384	-0.141480	0.247351	0.123656	-0.073173	0.006574
M.fusca	0.675655	0.560579	-0.197938	0.240669	0.123591	-0.243489	0.059631
A.exilis	0.454567	0.459912	0.159646	0.136669	0.055400	0.639301	-0.206390
P	-0.050868	0.333389	0.687043	-0.325736	0.363564	0.048501	0.088710
T	0.043396	0.251837	0.520320	0.256831	-0.635820	0.059720	0.367376
S	-0.370854	0.448187	0.294877	0.180625	-0.328642	-0.359057	-0.522808
MO	-0.420297	0.354741	-0.148516	-0.527356	-0.256800	0.245158	-0.181915
CaCO3	-0.465046	0.521094	0.244692	-0.272899	0.342004	-0.204484	0.187691
Lodos	0.614504	-0.341999	0.459562	-0.259573	0.084898	-0.117830	-0.191223
media	0.597933	-0.587731	0.405272	0.086128	0.032149	-0.021848	-0.133947
Ind_Shannon	0.574708	0.017277	-0.017248	-0.484947	-0.404416	-0.099129	0.158715
Agglutinados	0.598822	0.159007	-0.300626	-0.539501	-0.100534	-0.095177	-0.065541

	Eigenvalue	% Total	Cumulative	Cumulative
1	3.126968	26.05807	3.12697	26.0581
2	2.156692	17.97244	5.28366	44.0305
3	1.462443	12.18703	6.74610	56.2175
4	1.296084	10.80070	8.04219	67.0182
5	1.042900	8.69083	9.08509	75.7091
6	0.743351	6.19459	9.82844	81.9037
7	0.614674	5.12228	10.44311	87.0259
8	0.586577	4.88814	11.02969	91.9141
9	0.418569	3.48807	11.44826	95.4022
10	0.378224	3.15187	11.82648	98.5540
11	0.173518	1.44598	12.00000	100.0000



## 5.7. Relación entre la distribución superficial de las asociaciones de foraminíferos y los factores ecológicos

En el cuadro 5.6 se muestra el paralelo entre las variables ambientales de las dos asociaciones de foraminíferos resultantes del análisis cluster en la sección 5.4. Se observó en el paralelo que el grupo 1 tolera salinidades más altas (lo que está de acuerdo con una mayor abundancia de calcáreos), y los sedimentos son más ricos en carbonatos, posiblemente los foraminíferos son una contribución a los mismos. Sin embargo, todas las demás variables ambientales son similares en los lugares donde ocurren las dos asociaciones, indicando que las diferencias entre los grupos sólo tienen que ver probablemente con la salinidad y el % de calcáreos. De las asociaciones de foraminíferos resultantes, no se observaron diferencias significativas entre los tipos de manglares y las asociaciones, excepto porque en los deltaicos de boca de canal y los de laguna costera ocurrió el grupo 1 y no el 2 (cuadro 5.7).

Cuadro 5.6: Paralelo entre las variables ambientales de los grupos resultantes del análisis cluster de las estaciones con foraminíferos

	<b>G1</b>	<b>G2</b>
<b>P (cm)</b>	5-500	15 - 260
<b>T (°C)</b>	23.4 - 31	27-30
<b>S</b>	0.03 - 20.6	0.018-12
<b>MO (%)</b>	6.28 - 65.2	4.23-81.78
<b>CaCO3 (%)</b>	0 - 42	0-6.3
<b>Lodos (%)</b>	14 - 99	16-98
<b>Media (phi)</b>	-1.3 - 9.2	0.2 - 7.2
<b>Indice Shannon</b>	0 - 0.92	0.11 - 0.66
<b>Aglutinados (%)</b>	0 - 100	92 - 100

Cuadro 5.7: Paralelo entre la zonificación de los manglares de las asociaciones de foraminíferos resultantes del análisis cluster de las estaciones con foraminíferos

<b>Categoría</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>
<b>Borde en boca de río o quebrada</b>	1	1
<b>Borde sin corriente de agua dulce</b>	0	0
<b>Deltaico de borde en bahía</b>	12	12
<b>Deltaico en canal o boca de canal</b>	4	0
<b>Deltaico de borde expuesto</b>	2	1
<b>Laguna</b>	2	0

Se realizó el análisis de los 6 grupos formados en el *cluster* (ver figura 5.4), haciendo el corte en un nivel inferior al anterior, con el fin de lograr mayor detalle en el análisis. En el cuadro 5.8 se observa el paralelo entre algunas variables analizadas. En el primer cluster (g1) se observó que las localidades de muestreo que se encuentran agrupadas allí, se caracterizan por tener %MO < 15 %, % lodos > 70 %, mientras que en g2 estos porcentajes son variables. El %CaCO3 se encuentra en un rango mayor en g2, pues va hasta 42 %. También se observó que el rango de abundancias para el segundo grupo (g2) fue menor que en el primero. El cluster G2, resultó dividido en 4 clusters, los cuales se caracterizaron por tener rangos de abundancias en orden decreciente (ver cuadro 5.8) y además porque el tamaño de grano disminuye desde g3 hasta g6, desde arenas muy gruesas en g3, pasando a arenas finas en g4 y g5 y finalmente limos en g6. Entre todos los grupos clusters analizados se observó que el tamaño de grano

mas grueso se encuentra en g2, siendo este el cluster el que tiene menor rango de abundancias.

La estación de muestreo EEGU7 no resultó agrupada en ninguno de los clusters.

Cuadro 5.8: Paralelo entre las variables de los grupos resultantes en el análisis cluster

	<b>Abundancias</b>	<b>%MO</b>	<b>%CaCO3</b>	<b>%Lodos</b>	<b>Media</b>	<b>Riqueza</b>
<b>G1</b>	6-20	6-15	0.7-4.6	>70	3.79-6.52	1-9
<b>G2</b>	1-13	10-65	1-41	13-97	-1.29 - 5.91	1-14
<b>G3</b>	66	77	0	18	0.2	7
<b>G4</b>	43-53	19-32	3-6	52-82	2.8-4-1	6-10
<b>G5</b>	24-31	19-31	3-6	52-82	3-4.14	6-10
<b>G6</b>	11-26	4-82	0.34-6.3	16-98	4-7.2	4-10

# Capítulo 6

## Discusión

### 6.1. Abundancia y diversidad de foraminíferos bénticos

Las abundancias de foraminíferos bénticos en ambientes de manglar se ha caracterizado por ser menor que en ambientes de mar abierto (Boltovskoy, 1965). Estas abundancias han sido reportadas en estudios realizados en ambientes estuarinos del mundo, como por ejemplo en los pantanos de manglar de la Guyana Francesa (Debenay y Guiral, 2002) con abundancias entre 0 y 40 ind/ $cm^3$ ; en el delta del Mekong (Vietnam) (Debenay y Thi-Luan, 2006) con rangos desde 0.2 hasta 300 ind/ $cm^3$ ; o en el Ría de Vigo en España (Diz y Francés, 2008) con abundancias desde 20 ind/ $cm^3$  hasta 80 ind/ $cm^3$ . Los manglares del Golfo de Urabá no son la excepción, observando abundancias entre 0 y 66 ind/ $cm^3$ . Esto se debe a que los foraminíferos son microorganismos marinos y las condiciones ambientales óptimas (salinidad, pH, carbonato de calcio, entre otras) cambian en ambientes estuarinos, dando como resultado una disminución en el número de individuos y especies marinas (Mojtahid y otros, 2009). En (Vargas, 2011) se realizó un estudio de foraminíferos bénticos en el Golfo de Urabá y se encontraron abundancias hasta de 92 indiv/ $cm^3$  por localizarse este estudio el cuerpo principal de agua del Golfo de Urabá. En cuanto a la riqueza de especies, Mojtahid y otros (2009) reportan en sus estudios un total de 42 especies en el prodelta del río Rhone, Debenay y Guiral (2002) 44 especies en los pantanos de la Guyana Francesa, Debenay y Thi-Luan (2006) 103 especies en el delta del Mekong (Vietnam), Semensatto y otros (2009) 22 especies en un manglar de la isla Cardoso (Brasil), Debenay et al (2006) 60 especies en el estuario Vié (Francia) y Bernal y otros (2008) 82 especies en el sistema lagunar de Cispatá y la interacción río Sinú y mar Caribe colombiano. En los manglares del Golfo se encontraron un total de 26 especies, mostrando congruencia con los resultados obtenidos por otros autores en ambientes estuarinos. Este

número es inferior al encontrado para el cuerpo principal del Golfo, que fue de 60 especies (Vargas, 2011). Es importante resaltar la diferencia en la riqueza de especies entre ambientes estuarinos y de mar abierto, donde las abundancias pueden ser muy altas. Por ejemplo, Szarek y otros (2005) en el sur del mar de China, encontraron un total de 584 especies en 45 sitios muestreados en la fracción  $> 150 \mu\text{m}$ , Osterman (2003) 138 especies en el Golfo de México en la fracción  $> 125 \mu\text{m}$  y Bernal y otros (2005) 68 especies en la fracción  $> 150 \mu\text{m}$ , en los Bancos de Salmedina (Caribe Colombiano).

El índice de Shannon mostró una diversidad baja en los manglares del Golfo, pues el máximo obtenido fue de 1. En el estudio realizado en el prodelta del río Rhone por Debenay y Guiral (2002) este índice fue de 3 en los lugares más alejados a la descarga del río y de 1.0 en la boca del río. Los foraminíferos de caparazón aglutinados fueron los que dominaron en los sedimentos del Golfo (con porcentajes entre 45 y 100 %). Ya que este tipo de taxa ha sido identificada como típica en ambientes estuarinos (Murray, 2006). En los lugares de menor % de aglutinados dominó la especie calcárea de *Ammonia beccari*, presente en la ensenada de Rionegro y en las bahías Turbo y el Uno.

## 6.2. Especies de foraminíferos bénticos más abundantes

Se identificaron once especies como las más abundantes en los manglares del Golfo. La especie más abundante y una de las que su protoplasma resultó teñida con rosa de bengala fue *M. fusca* típica de ambientes con muy baja salinidad (Murray, 2006; Debenay y Guiral, 2002), con % de lodos en los sedimentos menores que 66 % (Murray, 2006), es común encontrarla en sedimentos con abundantes arcillas (Chatelet y otros, 2009), se presenta en ambientes de estrés ambiental (Semensatto y otros, 2009) y se ha encontrado que su desarrollo parece no estar favorecido con la presencia de cobertura vegetal sobre los sedimentos (Chatelet y otros, 2009). Esta especie se encuentra ampliamente distribuida en ambientes estuarinos (Debenay y Guiral, 2002; Debenay y Thi-Luan, 2006; Scott, 2007; Chatelet y Debenay, 2010; Kemp y otros, 2009; Leorri y otros, 2010). *M. fusca* ocurrió principalmente en las bahías de las bocas del Atrato, lo cual era de esperarse por las bajas salinidades y altos % de lodos observados en el lugar debido a la influencia del río Atrato. No ocurrió en Damaquiel, probablemente por presentar este lugar sedimentos de tipo arenoso y en la ensenada de Rionegro debido a que los sedimentos tenían cobertura vegetal y como se había mencionado anteriormente esto parece no favorecer el desarrollo de esta especie.

Horton y otros (2003) en un ecosistema de manglar australiano (zona intermareal de Cocoa Creek), observó la dominancia de *M. fusca*, *A. mexicana* y *H. canariensis*, las mismas especies encontradas en el Golfo de Urabá. *T. squamata*, la cuarta especie más abundante en los manglares del Golfo se ha caracterizado por encontrarse en sustratos finos (Murray, 2006), esta especie ocurrió en dos puntos de Bocas del Atrato, donde el sustrato resultó ser areno lodoso. *T. inflata* se ha encontrado relacionada con el contenido de carbono orgánico (Chatelet y otros, 2009).

En ambientes estuarinos someros donde la salinidad no excede el 20 % se ha reportado la presencia de *A. exiguus* (Scott, 2007), esta especie parece estar fuertemente asociada con sedimentos lodosos y puede llegar a ser tolerante a la exposición aérea (Semensatto y otros, 2009). En los manglares del Golfo *A. exiguus* mostró preferencia por los sustratos areno lodosos presentes en algunos puntos de bocas del Atrato. *A. exilis* y *A. salsum* se han encontrado en estuarios con salinidades altas (hasta de 34) (Buzas y Severin, 1982; Ellison y Murray, 1987, en (Murray, 2006)).

La única especie cálcarea abundante encontrada en los manglares del Golfo resultó ser *A. beccarii*. Es una especie común de los mares y océanos, pero se ha encontrado que tiene la capacidad de colonizar ambientes estuarinos Diz y Francés (2008); Mojtahid y otros (2009). Según Murray (2006), es eurihalina y euritérmica y prefiere los fondos fangosos o de arenas. Se asocia con altos contenidos de carbono orgánico y bajas concentraciones de oxígeno en los sedimentos (Diz y Francés, 2008). *A. beccarii* se localizó en la ensenada de Rionegro, en las bahías Turbo y el Uno, lugares en los cuales los porcentajes de carbonatos son altos y los valores de materia orgánica se encuentran en un rango entre 10 % - 30 % . Finalmente, *H. wilberti* la última de las once especies más abundantes, ha sido encontrada dominante en estuarios (Debenay y Guiral, 2002; Debenay y Thi-Luan, 2006) y en ambientes de salinidades bajas (Kemp y otros, 2009)

Cómo se pudo observar las especies mas abundantes presentes en los manglares del Golfo de Urabá son las que normalmente dominan en los sedimentos de los ecosistemas estuarinos con características similares a la de los sedimentos asociados a los cuerpos de agua frente a los manglares del Golfo de Urabá. *Millimmina fusca* resultó ser la especie dominante en los sedimentos superficiales, representando mas de la mitad de los individuos contados en todas los sitios de muestreo con un 61 %.

### 6.3. Distribución de foraminíferos bénticos por tamaño de grano

Se ha observado que las fracciones pequeñas (fracción 63 um- 150 um) pueden contener un gran número de individuos y especies de foraminíferos que raramente se obser-



van en las fracciones grandes, especialmente en ambientes ricos en materia orgánica, donde las especies dominantes pueden encontrarse más abundantes en fracciones pequeñas (Shepherd y otros, 2007). Para los manglares del Golfo de Urabá, se realizó el análisis de las abundancias de foraminíferos para tres fracciones:  $>355\mu\text{m}$ ,  $150\mu\text{m}-355\mu\text{m}$  y  $63\mu\text{m}-150\mu\text{m}$ . A partir del diagrama de cajas se observó que los foraminíferos en los manglares del Golfo se encuentran más abundantes en la fracción  $150\mu\text{m}-355\mu\text{m}$ . Estudios anteriores han mostrado que los foraminíferos pueden desarrollarse en las fracciones grandes o pequeñas, dependiendo de las condiciones ambientales donde se encuentren. Se esperaría entonces que en condiciones poco apropiadas para su desarrollo fueran más abundantes en las fracciones pequeñas y que al encontrar especies presentes en dos fracciones se asuma que los individuos presentes en la fracción más grande sean "adultos", mientras que los que se encuentren en la fracción más pequeña sean "juveniles" (Shepherd y otros, 2007).

Particularmente en los manglares del Golfo de Urabá no ocurrieron un gran número de individuos en la fracción  $> 355 \mu\text{m}$ . En las fracciones de  $150\mu\text{m}-355\mu\text{m}$  y  $63\mu\text{m}-150\mu\text{m}$  los foraminíferos resultaron ser más abundantes, debido probablemente a que los manglares son considerados ambientes restringidos para ellos, ya que las condiciones ambientales no favorecen su desarrollo, por lo tanto es común encontrar individuos de tamaños más pequeños en ecosistemas de manglar comparado con individuos de otros ambientes como los de mar abierto.

*H. canariensis* y *T. squamata* mostraron ser dominantes en la fracción de  $63\mu\text{m}-150\mu\text{m}$ , siendo la diferencia en abundancias con la fracción de  $150\mu\text{m}-355\mu\text{m}$  mayor para *T. squamata*, presentando un 67% del total de individuos en la fracción de  $63\mu\text{m}-150\mu\text{m}$  y un 23% en la de  $150\mu\text{m}-355\mu\text{m}$ . Lo anterior podría indicar que la presencia de *T. squamata* en la fracción más pequeña no se trata de individuos juveniles de esta especie, sino que en dicha fracción esta especie podría ser dominante. Con los resultados presentados en esta sección se resalta la importancia de analizar las fracciones pequeñas en ambientes de manglar. Como se observó, se pueden presentar mayores abundancias de una o más especies o incluso solamente encontrar foraminíferos en la fracción más pequeña. Es importante que en ambientes de manglar las fracciones más pequeñas no sean descartadas en la metodología, suponiendo que en estas solo se encuentran individuos juveniles, ya que podría generarse pérdida de información en cuanto a abundancias totales y a riqueza de especies se refiere. Se debe tener presente que en este tipo de ambientes las condiciones no favorecen el desarrollo de foraminíferos y por eso es común encontrarlos en tamaños pequeños.

## 6.4. Distribución espacial de las asociaciones de foraminíferos béticos

Del análisis cluster realizado para las estaciones en las que se hallaron foraminíferos resultaron dos asociaciones. Para estas asociaciones no se encontró ningún patrón espacial de distribución característico como se observa en la figura 5.11. La diferencia principal observada para estas dos asociaciones es que resultaron agrupadas según el tipo de concha de los individuos que conforman dichas asociaciones, pues el rango de porcentaje de aglutinados para la segunda asociación (G2) resultó ser más estrecho y casi exclusivamente compuesto por individuos con concha aglutinada (ver cuadro 5.6).

## 6.5. Relación entre foraminíferos y variables físicas

El total de las asociaciones (individuos vivos y muertos), han mostrado ser buenos indicadores de condiciones ambientales, ya que éstos han permitido llegar a resultados concluyentes. Los individuos vivos se tienen en cuenta para confirmar el origen autóctono de las especies (Chatelet y otros, 2004). Por esta razón para la discusión fueron usados los resultados de los análisis estadísticos de los individuos vivos y muertos.

### 6.5.1. Tamaño de grano

Se ha considerado que el tamaño de grano del sedimento tiene una gran influencia sobre los foraminíferos béticos (Murray, 2006), pero hay algunas ocasiones donde es difícil discriminar la influencia de este parámetro y de otras variables ambientales (Debenay y Guiral, 2002). Nuestra área de estudio se caracterizó por tener desde sedimentos tipo arena, pasando por limos, hasta arcillas. El tipo de sedimento estuvo muy relacionado con la ubicación y morfología del lugar donde se encontraba la muestra.

El tamaño de grano puede tomarse como indicador de las condiciones energéticas de un lugar. Lugares con sedimentos gruesos son típicos de ambientes con un fuerte oleaje, mientras que sedimentos finos lo serán de ambientes depositacionales. Se ha demostrado que las especies aglutinadas tienen la capacidad de construir sus conchas y que según la composición del sedimento escogen los granos de mineral preferidos inclusive si estos resultan escasos (Debenay et al., 1996 en (Chatelet y otros, 2009)). El control físico de la construcción de las conchas resulta ser principalmente de tipo

hidrodinámico y en consecuencia de la dinámica del sedimento (Chatelet y otros, 2009). Por lo tanto, se ha determinado que la energía hidráulica es un factor abiótico importante para los foraminíferos bénticos (Schonfeld, 2002).

En las zonas expuestas al oleaje del mar Caribe como el área del Urabá chocoano, Punta Yerbasal, Boca Matuntugo y la costa caribe antioqueña dominaron las arenas, lodos arenosos, arcillas arenosas y las arenas limosas. Sin embargo, en la ensenada de Rionegro a pesar de no estar expuesta al oleaje predominaron las arenas. En estos sitios se evidenció la ausencia de foraminíferos, exceptuando dos localidades en la ensenada de Rionegro donde el sedimento era tamaño arcilla y en Damaquiel que presentaba una barra de arena al frente del manglar la cual lo protegía del oleaje. La ausencia de foraminíferos en estos lugares se ve explicada en que estos microorganismos prefieren zonas de baja energía donde se facilita la depositación de materia orgánica (alimento); además en ambientes energéticos (con fuerte oleaje) las condiciones varían tan rápidamente que no permiten el establecimiento de especies (Alve, 1999). La ausencia de foraminíferos en la mayoría de las muestras de la ensenada de Rionegro, puede deberse a la presencia de corrientes que se observaron en el lugar durante la recolección de las muestras. Se ha encontrado que las fuerzas de las corrientes tienen impactos negativos sobre foraminíferos bénticos, en cuanto a riqueza de especies y abundancias se refiere (Schonfeld, 2002). En el área de Bocas del Atrato, donde se localizaron las mayores abundancias de foraminíferos se presentaron altos porcentajes de lodos y fue donde dominó la especie más abundante, *M. fusca*, caracterizada por encontrarse en sedimentos finos (Chatelet y otros, 2009). Por su parte, *T. inflata* mostró estar correlacionada con el % de lodos.

En el análisis *cluster* (Ver Figura 5.10) se observó que el segundo grupo (G2) las abundancias presentaban variaciones con el tamaño de grano del sedimento, mientras mas pequeño el tamaño de grano, las abundancias eran mas grandes.

En el análisis de componentes principales el tamaño de grano aportó a la varianza de la segunda componente principal, mostrando una correlación negativa (lodos y media).

La ubicación y morfología de los sitios muestreados nos permitió estudiar la relación de la hidrodinámica con el tamaño de grano y a su vez con las abundancias de foraminíferos. En general en los manglares del Golfo de Urabá se observó que los lugares expuestos al oleaje y a corrientes presentaron mayor tamaño de grano y menores abundancias de foraminíferos, mientras que en ambientes resguardados y depositacionales era común encontrar altos porcentajes de lodos y mayores abundancias de foraminíferos.

### 6.5.2. Materia orgánica

Los efectos de la materia orgánica sobre los foraminíferos béticos son complejos, ya que algunos estudios muestran aumento o decrecimiento en abundancias de foraminíferos con el aumento o disminución de % de materia orgánica (%MO) en los sedimentos, mientras que otros revelan no tener influencia sobre estos microorganismos (Chatelet y otros, 2009). En los manglares del Golfo de Urabá en el área del Urabá Chocoano, se presentaron %MO bajos en los sedimentos (entre 5-8%) y no se encontraron foraminíferos en estos lugares. En el área de Bocas del Atrato se encontraron las mayores abundancias en %MO entre 15-30% exceptuando un solo lugar donde se observó una abundancia de 66 individuos/ $cm^3$  y un %MO en los sedimentos de 70%. En la ensenada de Rionegro los %MO resultaron ser mayores a 40% en la mayoría de las muestras y sólo se presentaron foraminíferos en dos de éstas. Los valores de porcentaje %MO en el Caribe antioqueño oscilaron entre 2-11% y solamente en el río Hobo el valor de este parámetro fue mayor a 40%.

En Damaquiel el lugar más biodiverso del Golfo, presentó un %MO de 8%. En la matriz de correlación *H. canariensis* y *T. squamata* resultaron tener preferencia por lugares con abundante MO.

En general en los manglares del Golfo de Urabá se observó que valores con %MO bajos no se encontraron foraminíferos, que el rango en el que las abundancias fueron mayores fue entre 15-30% y que con valores mayores a 40% no ocurrieron foraminíferos en la mayoría de las muestras, además que el sitio que presentó mayor diversidad, el contenido de MO en los sedimentos fue menor a 8%. Por lo tanto, los resultados anteriores apoyan la hipótesis planteada por (Alve, 1999), la cual dice que la MO parece favorecer el desarrollo de los foraminíferos, hasta que ésta llega a ser tóxica cuando su proporción en los sedimentos se incrementa. En cuanto a la riqueza de especies podría decirse que en los manglares del Golfo cuando se incrementa el % de MO la riqueza disminuye.

### 6.5.3. Carbonato de calcio

En ambientes de manglar se ha observado que la formación de carbonato de calcio se ve afectada por los bajos pH (ácidos) que se presentan comúnmente en estas zonas (Murray, 2006). En los manglares del Golfo, en su mayoría dominaron los % de carbonatos menores a 6%, solamente se presentaron altos porcentajes en la ensenada de Rionegro (50%), donde fue común encontrar en los sedimentos restos de conchas de almejas u ostras. En este bosque de manglar dominó la especie cálcarea *A. beccarii*.

#### 6.5.4. Salinidad, temperatura y profundidad

La salinidad medida en la columna de agua al frente de los manglares mostró algunas variaciones. De las 90 muestras analizadas 58 de ellas estuvieron por debajo de un valor de 10, 27 muestras entre 10 y 20 y solamente 5 muestras estuvieron por encima de 20. El coeficiente de correlación no mostró tener correlación significativa (con un valor de -0.062) entre las abundancias totales y de las especies más abundantes con este parámetro. Esto se ve explicado en que la variación en las abundancias de foraminíferos con el cambio en la salinidad no fue significativa. La salinidad no resultó ser un factor dominante en los manglares del Golfo.

La profundidad y temperatura tampoco parecen afectar a los foraminíferos en la zona estudiada. La temperatura tuvo un promedio de 28° C y un coeficiente de correlación con las abundancias de 0.032. El valor de temperaturas medidas no mostró variaciones significativas, es decir, resultó ser homogénea en los manglares del Golfo, esto explica su baja correlación con las abundancias de foraminíferos. El coeficiente de correlación entre la profundidad y las abundancias tampoco fue significativo (-0.0052). En el análisis de componentes principales se observó que la profundidad y la temperatura explicaron la variación de los datos en la cuarta componente, la cual aporta solamente un 7 % a la varianza total, mientras que la salinidad no parece ser un factor importante en este análisis.

En las regresiones lineales realizadas no se obtuvieron coeficientes de regresión significativos. Esto puede deberse a la homogeneidad presentada por las variables físico-químicas medidas en los diferentes sitios de muestreo (°T, S y P) cómo se mencionó en el párrafo anterior.

El coeficiente de regresión lineal más alto ( $R = 0.41$ ) se presentó en la regresión donde *M. fusca*, la especie dominante en el Golfo y una de las teñidas, se tomó como variable independiente. Los coeficientes que tuvieron los valores más altos y que más aportaban a la explicación de la variabilidad en las abundancias de *M. fusca* resultaron ser la materia orgánica ( $\beta = -0,25$ ) y el tamaño de grano ( $\beta = -0,28$ ), variables que han sido estudiadas porque se ha observado que pueden afectar positiva o negativamente la distribución y abundancias de algunas especies de foraminíferos béticos en manglares. En particular *M. fusca* se ha caracterizado por encontrarse en lugares lodosos y sin mucha cobertura vegetal en los sedimentos (Chatelet y otros, 2009).

En ninguno de los tres análisis de componentes principales realizados se obtuvo menos de cinco componentes que explicaran al menos el 70 % de la varianza. Uno de los objetivos básicos del ACP es reducir la dimensionalidad de los datos. Se pretendía escoger el menor número de componentes principales que hubieran aportado lo suficiente para explicar la varianza de los datos en alguno de los tres análisis realizados. En nuestro caso la explicación de al menos el 70 % de la varianza se encuentra dividida entre las

5 -7 componentes principales, lo que no nos permite reducir la dimensionalidad de los datos y observar cuáles son las variables que tienen mayor peso en la explicación de la varianza de los mismos. Esto sucede debido a que entre las variables medidas en el estudio, ninguna está mostrando tener mayor peso en la variabilidad de los datos comparado con las abundancias de las especies principales, las abundancias totales por sitio muestreado, en general variables relacionadas con las abundancias de los foraminíferos.

Las bajas relaciones encontradas entre las variables ambientales medidas en este estudio y los foraminíferos podría verse explicada en la existencia de otras variables que están afectando las abundancias y distribución de foraminíferos que no fueron medidas en aquí, como por ejemplo la concentración oxígeno disuelto, que es un parámetro importante en el desarrollo de la vida acuática. Además también debe tenerse en cuenta la alteración e introducción de otras variables relacionadas con la calidad del agua como en el caso de los químicos provenientes de los pesticidas, aumento de la materia orgánica por fertilizantes, entre otras, variables que son generadas por actividades antrópicas y serán discutidas en la siguiente sección.

## 6.6. Relación entre las asociaciones de foraminíferos y los factores ecológicos

Los resultados de los análisis de los 6 grupos resultantes en el análisis *cluster*, mostraron que los dos clusters que conforman G1 tienen menores abundancias que los clusters que conforman a G2, además que el rango de tamaño de grano en el cluster que presenta las abundancias más bajas de foraminíferos bénticos (g2) resultó ser el de mayor tamaño de grano (arenas muy gruesas) comparado con los demás clusters. Así mismo, en los clusters que conforman el segundo grupo G2, se observó coincidencia entre la variación del tamaño de grano y las abundancias. Los rangos de abundancias se encuentran en orden decreciente (desde g4 hasta g6), mientras que el tamaño de grano disminuye entre g4 y g6, desde tamaño arenas gruesas hasta limos. El carbonato de calcio mostró tener sus mayores porcentajes en el cluster g2, el cual pertenece al grupo G1, donde se encuentra en mayor abundancia la especie *A. beccarii*, caracterizada por ser la única especie cálcarea abundante en el Golfo.

Por lo tanto, de lo anterior se observa que el tamaño de grano es el factor ambiental que parece estar afectando en mayor medida las abundancias de las asociaciones de foraminíferos bénticos, además el porcentaje de carbonato de calcio parece estar condicionando la presencia de *A. beccarii* en el Golfo.

## 6.7. Calidad del agua en el Golfo de Urabá y su relación con los foraminíferos béticos

El uso de foraminíferos béticos como bioindicadores se ha incrementado especialmente en ambientes contaminados donde su sensibilidad a los contaminantes puede ser expresada por la modificación en las asociaciones. Muchos estudios de foraminíferos béticos como bioindicadores de contaminación costera han sido llevados a cabo recientemente. La mayoría de las publicaciones de estos estudios están enfocadas a los efectos de la contaminación crónica en la distribución y morfología de foraminíferos, tratamiento de residuos domésticos, de agricultura y de metales traza en los sedimentos. La contaminación crónica originada de las actividades diarias tiene un mayor impacto en los puertos y estuarios. Existen contaminaciones de distintas clases en los estuarios y puertos estudiados, pero cada uno representan un sistema con sus características propias en el impacto que tiene sobre los foraminíferos (Chatelet y Debenay, 2010).

El Golfo de Urabá en particular, presenta circulación de tipo estuarina debido a los aportes de los ríos Atrato y León principalmente. Su forma semicerrada y los altos caudales que aportan estos dos ríos, incrementan la problemática ambiental de este lugar, debido que los patrones de dispersión del Golfo se encuentran influenciados por las plumas de los ríos. En la pluma del río Atrato en particular, se ha observado una alta concentración de sedimentos en las capas superficiales y una baja concentración de éstos en las aguas oceánicas, para profundidades superiores a 2 m en la zona de influencia de la pluma, además se ha evidenciado que la pluma del río Atrato cumple un papel fundamental para el transporte de agua dulce, de sedimentos y de microorganismos patógenos al interior del Golfo (Montoya, 2010). Adicionalmente la calidad química de las aguas costeras se ven afectadas por la descarga de aguas continentales que arrastran nutrientes, sólidos en suspensión y materia orgánica. Esta situación se ha evidenciado por el comportamiento de algunas variables que permiten evaluar la calidad del agua, como por ejemplo el oxígeno disuelto que ha presentado valores en sus concentraciones por debajo del valor de referencia para preservar la vida acuática (REDCAM, 2010). En este estudio se discutirán el estado de algunas variables como el oxígeno disuelto, los fertilizantes, metales traza, metales pesados, hidrocarburos y los pesticidas sobre foraminíferos béticos en el Golfo de Urabá.

Cuadro 6.1: Valores de indicadores de calidad de agua (época seca de 2009) en los sitios monitoreados por REDCAM donde se tomaron muestras de foraminíferos

Estación REDCAM	Equivalente muestras foras	Abundancia foraminíferos (Indiv/cm <sup>3</sup> )	Oxígeno disuelto (ml/L)	Fertilizantes			Metales traza	Metales pesados	Hidrocarburos (ug/L)	Pesticidas
				N-NH <sub>4</sub> (Amonio) (ug/L)	N-NO <sub>3</sub> (nitratos) (ug/L)	P-PO <sub>4</sub> (ortofosfatos) (ug/L)	Cadmio (ug/L)	Plomo (ug/L)	Totales	DDT (ng/L)
			x 10 <sup>-6</sup>							
Matuntugo	EEGU50	0	6.27	90	0.7	15	0.05	0.86	2.06	30
Golfo20	EEGU53	0	8.44	15	0.7	5	0.05	0.78	NM	30
B. León	EEGU106	0	6.43	90	44.5	30	0.05	0.93	1.26	30
B. Currulao	EEGU108	0	8.76	14	3.1	5	0.05	0.34	NM	30
B. Guadualito	EEGU109	0	4.46	70	7.7	2290	0.19	0.28	NM	NM
Muelle Armada	EEGU116	0	7.04	15	0.7	600	0.05	0.27	1.52	30
P. Martina	EEGU120	0	7.26	15	0.7	5	0.05	1.07	2.2	30
E. Rionegro	EEGU137	3	4.91	6630	0.7	5	0.13	1.7	NM	NM
B. Mulatos	EEGU127	0	7.31	1280	3	140	0.05	2.66	NM	NM
B. Damaquiel	EEGU128	0	8.66	15	0.7	5	0.05	0.05	NM	30
B. San Juan	EEGU129	0	6.13	15	0.7	5	0.28	0.21	2.7	30
R. Hobo	EEGU130	0	5.59	15	0.7	5	0.05	0.05	NM	30

### 6.7.1. Oxígeno disuelto

En algunos lugares del Golfo de Urabá como ríos Guadualito, León, Currulao y San Juan, ensenada de Rionegro, playa La Martina y río Hobo no se hallaron foraminíferos. Estos lugares se caracterizaron por presentar valores de oxígeno disueltos menores a 0.000006 ml/L (equivalente a 6mg/L en las gráficas de REDCAM con densidad del agua igual 1Kg/L por ser agua estuarina), valores que se encuentran muy cercanos a el rango crítico de oxígeno disuelto para la vida de los foraminíferos que va desde la anoxia (cero oxígeno disuelto) hasta la disoxia (0.2- 1 ml/L) (Murray, 2006). Lo anterior podría explicar la ausencia de foraminíferos en dichas localidades. La mayoría de las situaciones antropogénicas que afectan a las asociaciones de foraminíferos bénticos pueden estar relacionadas directamente en la reducción de las concentraciones de oxígeno disuelto en aguas del fondo e intermedias. La disminución en los niveles de oxígeno se ve marcada por el decrecimiento en el número de especies calcáreas y la dominancia de la taxa aglutinada Scott (2007). Concentraciones extremas de materia orgánica causan disminución del oxígeno, eutrofización y la muerte de los foraminíferos (Sen Gupta, 1999), como podría ser el caso que se presenta en el río Hobo, donde el % de MO resultado ser 56 % y no se encontraron foraminíferos, además se caracterizó por ser un ambiente anóxico en las dos épocas del año en el informe presentado por REDCAM (2010). En general las concentraciones de materia orgánica en los manglares del Golfo de Urabá fueron altas (mayores a 30 %) y en algunas localidades llegaron hasta 95 %, lo cual podría explicar las bajas concentraciones de oxígeno presentes en esta área y la ausencia de foraminíferos en la mayoría de las muestras.

Datos de otras investigaciones sugieren que especies de foraminíferos infauna pueden ser mas tolerantes a concentraciones reducidas de oxígeno que las especies epifauna, lo que explicaría el por qué son las colonizadoras más exitosas de ambientes del



fondo marino. Por el contrario algunas especies epifauna como *Ammonia beccarii* ha mostrado ser capaz de sobrevivir sin oxígeno al menos 24 horas, sugiriendo esto una capacidad para un metabolismo facultativo anaeróbico (Scott, 2007), especie que se encontró presente en cuatro localidades de los manglares del Golfo (en bocas del Atrato, bahía el Uno, caño Marimonda y en la ensenada de Rionegro), de las cuales en la ensenada de Rionegro presenta concentraciones bajas de oxígeno en los valores registrados por REDCAM (cuadro 6.1).

### 6.7.2. Fertilizantes (N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub> y P-PO<sub>4</sub>)

La materia orgánica derivada de actividades antropogénicas generalmente consiste en residuos domésticos, componentes orgánicos de la agricultura (fertilizantes) y del acuacultivo (heces de peces) (Scott, 2007). Estos contaminantes pueden afectar a los ecosistemas marinos químicamente (la reducción de oxígeno a través de la oxidación y descomposición bacteriana), biológicamente (por la introducción de organismos que causan enfermedades, tales como virus, bacterias y gusanos parásitos), físicamente (calentamiento debido a la fermentación y la reducción de niveles fóticos debido a la turbidez). El material orgánico disuelto, así como otros componentes de fósforo, silicio y nitrógeno, son usualmente abundantes en tales áreas, creando niveles altos de nutrientes artificiales. Este material orgánico es rápidamente metabolizado por organismos marinos, y pueden causar un incremento en la abundancia y diversidad de foraminíferos, sin embargo, este no es siempre el caso. En otras investigaciones realizadas (Clark, 1971 en Sen Gupta (1999)) encontraron una relación inversa entre la densidad de foraminíferos en el sedimento y la producción de MO por operaciones de acuacultivo. Se ha encontrado cerca a los lugares de salida de MO artificial, la aparición de una zona donde las abundancias de foraminíferos son altas, llamada zona azoica (Sen Gupta, 1999). Las diferencias en las tasas de oxidación y la cantidad aportada de MO en relación con la corriente mareal, a menudo explicaría el patrón espacial de esta zona. En lugares donde las corrientes de marea son débiles se encontraría la zona azoica a cierta distancia de la fuente de MO, debido a que la oxidación de MO en áreas próximas puede llegar a causar anoxias locales (Scott, 2007). Según esto en las bocas de los ríos Currulao, León, Guadualito, San Juan, Hobo, en el caño Marimonda y playa la Martina podría estarse presentando una zona estéril donde la contaminación con nutrientes artificiales es tan alta, que la vuelve no apta para el desarrollo de organismos.

Como se mencionó en el párrafo anterior la contaminación por materia orgánica parece estar presentándose en el Golfo de Urabá. En los ríos León, Guadualito y Hobo presentaron altos contenidos de fosfatos en la época del muestreo (seca), sin embargo el %MO para estas tres localidades oscilaron entre 0-10 %. En la ensenada de Rionegro

(% MO > 40%) y río Guadualito resultaron tener valores de amonio altos, mientras que los nitratos resultaron ser altos en la mayoría de las estaciones. Se podría inferir entonces, que algunas localidades del Golfo de Urabá pueden estar siendo afectadas por contaminación orgánica debido a la influencia antrópica con la práctica de la algricultra (bananeras), una de las principales actividades económicas de la región y la cual se podría estar reflejando en la ausencia de foraminíferos, particularmente en el lado surueste del Golfo.

La contaminación por materia orgánica parece favorecer al microbentos. Numerosos estudios que reportan impactos favorables de contaminación orgánica sobre la diversidad y densidad de las asociaciones de foraminíferos béticos (Bandy et al., 1965; Nagy y Alve, 1987 en Chatelet y Debenay (2010)). Sin embargo, si la contaminación orgánica es favorable para algunas especies, esta puede llegar a ser tóxica cuando las concentraciones se incrementan (Alve, 1991b; Schafer et al., 1995 en Chatelet y Debenay (2010)). La contaminación por materia orgánica en el Golfo de Urabá se debe al vertimiento de aguas residuales y del escurrimiento de amplias áreas agrícolas que son transportadas desde el continente por los ríos, arrastrando nutrientes inorgánicos disponibles luego para uso en la producción primaria. Según los resultados, existe un riesgo de eutrofización en las aguas costeras del Golfo (REDCAM, 2010). El Golfo de Urabá es comparable con el estuario de Adour (Francia) (Chatelet y Debenay, 2010) ya que ambos se encuentran afectados por una fuerte descarga de agua dulce y también es fuertemente impactado por actividades humanas. En el estuario de Adour la contaminación crónica se origina de la actividad marina y la actividad industrial. Allí, la distribución general de asociaciones de foraminíferos se relacionó con el gradiente de salinidad y con *Milliammina fusca*, especie que resultó ser dominante en el Golfo de Urabá. Estas asociaciones de foraminíferos que viven alrededor de varias fuentes de contaminación fueron investigadas. Los resultados mostraron que los foraminíferos tuvieron una baja densidad y estuvieron dominados por *M. fusca*, una especie característica de ambientes de bajas salinidades (Murray, 2006), pero que se ha encontrado en bajas densidades en áreas contaminadas. En los manglares del Golfo de Urabá las abundancias de esta especie oscilaron entre 1-20 indiv/cm<sup>3</sup> en la mayoría de los lugares. En la ensenada de Rionegro donde se registraron altas concentraciones de amonio (cuadro 6.1), no se encontró la presencia de esta especie.

### 6.7.3. Contaminación con metales traza, metales pesados e hidrocarburos

Muchos estudios que tratan con las relaciones entre foraminíferos y contaminación han considerado a los metales pesados e hidrocarburos como parámetros importantes que actúan sobre los ecosistemas afectando a la distribución de los foraminíferos.

Estos estudios usualmente consideran que una baja densidad y riqueza de especies (o diversidad) son respuesta a la contaminación. Cuando la fuente de contaminación es bien identificada (por ej. Las aguas residuales de emisarios submarinos, efluentes de industrias), una zona estéril con muy baja diversidad y densidad ocurre alrededor de ésta. En este caso, ambos la diversidad y densidad incrementan rápidamente lejos de la fuente de contaminación, así que una baja densidad y riqueza de especies podría ser considerada como indicadores de contaminación (Chatelet y otros, 2004).

Los hidrocarburos típicos del petróleo contienen hidrocarburos aromáticos incluyendo hidrocarburos monoaromáticos tales como benceno y tolueno (los más usados en productos ligeros del petróleo). Dosis letales de hidrocarburos aromáticos para organismos marinos están en el rango de 0.00001 a 0.01 % para adultos, y en el más bajo de este rango para los juveniles. Las dosis más bajas pueden inhibir actividades fisiológicas y causar reacciones patológicas (Bokris, 1982; Rubinin, 1983 en (Sen Gupta, 1999)). Dependiendo de la fracción y el peso molecular de los hidrocarburos pueden formar una capa o película sobre la superficie del agua o suspensiones de aceites pesados pueden hundirse al suelo marino (Sen Gupta, 1999).

Las principales fuentes de hidrocarburos en el Golfo de Urabá son originadas por vertimientos de aguas residuales domesticas a los ríos y descargas de aguas servidas por poblaciones ribereña; así como, provocadas por actividades de tránsito marítimo, turismo y comercio. Adicionalmente, las actividades de turismo y pesca que realizan los habitantes en pequeñas embarcaciones, se suman en otra fuente no puntual de hidrocarburos al medio marino, así como el expendio de combustible, el mantenimiento de motores y vertimientos de residuos oleosos y recipientes de derivados del petróleo sobre los ríos; es otra fuente de hidrocarburos al mar (REDCAM, 2010).

En ambientes estuarinos, así como el Golfo de Urabá, es difícil diferenciar entre el impacto del estrés antropogénico del impacto del estrés natural, principalmente como resultado de un cambio en la salinidad (Chatelet y otros, 2004). Sin embargo Olson et al. (1993) en Chatelet y otros (2004) reportaron que la meiofauna (representada principalmente por los foraminíferos) fue más claramente influenciada por diferencias en contaminación que diferencias en la salinidad: una baja diversidad fue observada en áreas contaminadas mientras que una gran diversidad ocurrió en estuarios con salinidades comparativamente bajas, pero con menor contaminación.

En el Golfo de Urabá se ha observado un incremento en los valores de hidrocarburos en los últimos años en boca Matuntugo, boca del río León, en la playa La Martina y en Turbo. En el río León se encuentra la ruta de transporte para la salida de la cargas de banano hacia el mar y en Turbo el tránsito marítimo se debe en su mayoría al turismo y al comercio. Es importante seguir realizando un monitoreo de estas zonas en los años siguientes para evitar llegar a valores que superen el valor permisible.

En las tres muestras de foraminíferos tomadas en bahía Turbo solamente en una se

hallaron foraminíferos, presentando esta baja diversidad (9 especies). En el río León no se encontraron foraminíferos. Los anteriores resultados podrían estar mostrando que estas localidades probablemente están siendo afectadas por el aumento en los valores de hidrocarburos.

En el Puerto de Vendée (Francia) se encontró una correlación negativa entre los PAHs (hidrocarburos aromáticos policíclicos) con la mayoría de las especies, sugiriendo esto la probable influencia de estos contaminantes sobre las asociaciones de foraminíferos bénticos. Muestras con contenidos altos de contaminación con hidrocarburos tuvieron menos de 14 especies e incluso menos de 8 especies en las muestras mas contaminadas (Chatelet y otros, 2004).

En cuanto a los metales pesados en Golfo de Urabá se ha encontrado que no sobrepasan la norma permisible. Se encontraron altos valores de cadmio en el río Guadalito y en un punto en bocas del Atrato, pero hasta el momento esta variable no parece estar afectando a la fauna.

El umbral tóxico puede depender de la naturaleza de la materia orgánica. La distribución de MO puede influenciar la distribución de los metales pesados en el sedimento, el metal podría ser fácilmente absorbido en materia orgánica particulada. Por esta razón, un incremento en la concentración de MO puede ser indirectamente responsable para una respuesta adversa de los organismos como los foraminíferos que son ampliamente influenciados por el contenido de metales pesados (Chatelet y otros, 2004).

Sharifi et al. (1991) en Chatelet y otros (2004) establecieron que *Criboelphidium excavatum* es la especie más tolerante a la contaminación por metales pesados, seguida por *H. germanica* y *A. beccari* en este orden. *A. beccari* y *A. tepida* han resultado ser especies tolerantes a la contaminación de metales como el cobre, pero en el estudio realizado por Le Cadre y Debenay (2006) mostraron en sus resultados que a partir de ciertos valores el cobre comienza a generar deformidades en la concha de estas especies y que tienen un umbral de tolerancia al cobre entre  $< 10$  mg/L hasta un valor letal  $> 200$  mg/L.

#### 6.7.4. Pesticidas

Existen un número de químicos contaminantes incluyendo pesticidas, que afectan las abundancias y diversidad de foraminíferos de la misma manera que los metales pesados. Algunos pueden ser responsables de la erosión y corrosión de las conchas de los foraminíferos. Después de la exposición a pesticidas, los foraminíferos pueden exhibir alteraciones bioquímicas e histológicas en algunos especímenes. Tal exposición puede degradar su sistema inmune y causar cambios mutagénicos (Sen Gupta, 1999). Los valores mas altos de pesticidas se localizaron en las desembocaduras de los ríos

León y Guadalito, encontrando un valor elevado de Clorpirifos que pueden presentar riesgo para los organismos, lo que supone una fuente de contaminación continental, arrastrados por los ríos de las áreas agrícolas (REDCAM, 2010). En ninguna de estas dos localidades se hallaron foraminíferos.

Por lo tanto, según lo analizado en la sección anterior, se puede observar que las aguas del Golfo se encuentran altamente influenciada por actividades antrópicas, en especial actividades relacionadas con la agricultura del banano, principal actividad económica de la región (lado sureste del Golfo) y la cual podría estar generando contaminación por fertilizantes, hidrocarburos y pesticidas principalmente trayendo como consecuencia la ausencia de foraminíferos. En ambientes estuarinos, así como el Golfo de Urabá, es difícil diferenciar entre el impacto del estrés antropogénico del impacto del estrés natural, principalmente como resultado de un cambio en la salinidad.

## 6.8. Zonificación según geomorfología y procesos físicos

El coeficiente de similitud calculado en base al número de especies mostró diferencias en las condiciones ambientales para cada zona definida en los manglares del Golfo de Urabá, según la morfología y los procesos físicos a los que se encontraba sometida. Sharma y Rawat (2009) calcularon los índices de similitud para muestras tomadas en diferentes zonas en un estudio realizado para el monitoreo del estado ambiental de un humedal en la India, basándose en las especies de macroinvertebrados acuáticos identificadas en diferentes zonas de este humedal. El índice de similitud más bajo obtenido fue de 82 % y el más alto de 93 %, mostrando que estos sitios presentaban composición de especies similares. Para las zonas definidas en los manglares del Golfo de Urabá, el coeficiente más bajo fue de 7 % y el más alto de 23 %, corroborando así que la composición de especies de foraminíferos en cada zona es muy distinta.

El parámetro que mejor explicó las abundancias de foraminíferos resultó ser la zonificación realizada. En el cuadro 5.5 se muestra que hay unas zonas donde es más común encontrar foraminíferos: los manglares deltaicos de borde en bahía y los de canal o en boca de canal. Estas son zonas resguardadas, protegidas del oleaje tipo swell proveniente del mar Caribe y anteriormente se discutió todo lo que implica la influencia de la energía hidráulica sobre los foraminíferos. En contraste, en las zonas expuestas al oleaje, como los manglares ubicados en el Urabá Chocoano, en las puntas de algunas bahías de bocas del Atrato y en el Caribe Antioqueño, clasificados dentro de la categorías deltaicos de borde expuesto (Atrato) y de borde en boca de río o quebrada (Urabá chocoano y Caribe antioqueño) , no se encontraron foraminíferos.

La ausencia de foraminíferos en el manglar de laguna costera de la ensenada de Rio-negro, también podría deberse a la hidrodinámica del lugar, ya que se observaron la presencia de corrientes. Son pocos estudios en los que se considera la influencia de la hidrodinámica sobre los foraminíferos béticos y menos aún de la morfología. Schonfeld (2002) afirma que los foraminíferos béticos pueden responder activamente a los disturbios del fondo causados por las corrientes que producen inestabilidad del hábitat en sustratos blandos y por esta razón se ha encontrado la adaptación de especies epibéticas a este tipo de condiciones. Culver (1990) argumenta que los foraminíferos béticos pueden responder a la influencia de corrientes y al grado de exposición al oleaje, encontrando ciertas especies adaptadas a estos ambientes energéticos.

Cuadro 6.2: Resumen de los resultados obtenidos

Categoría	Abundancias (indiv/cm <sup>3</sup> )	% Aglutinados	Especies dominantes	Tamaño de grano	%Lodos	%CaCO <sub>3</sub>	%MO
Deltaico de borde en bahía	0-66	81-100	M. fusca, <i>A. exiguus</i> , <i>T. squamata</i> , <i>A. exilis</i> , <i>A. salicum</i> , <i>A. americanus</i>	Arenas medias a muy finas- Limos	11-100	0-10	0-95
Deltaico de borde expuesto	0-20	81-95	<i>A. exiguus</i>	Arenas medias a muy finas	46-90	1,1-10	0-40
Deltaico en canal o boca de canal	0-20	96-100	M. fusca, <i>H. canariensis</i> , <i>A. exiguus</i>	Limos	91-100	1,1-10	0-70
Borde en boca de río o quebrada	0-20	45-80	<i>H. canariensis</i> , <i>A. exiguus</i> , <i>A. exilis</i>	Arenas medias a muy finas -Limos	0-90	0-10	0-40
Borde sin corriente de agua dulce	0	0	No foras	Limos	11-90	0-10	0-40
Laguna	<1	0-100	<i>H. canariensis</i> , <i>A. leccarii</i>	En su mayoría arenas gruesas y muy gruesas y arcillas (presencia de foras)	0-100	0-60	0-95

## 6.9. Modelo conceptual

A partir del análisis anterior (resultados en el cuadro 6.2), se llegó a la conclusión que el tamaño de grano, la materia orgánica, la contaminación antrópogenica y la zonificación realizada fueron las variables que tuvieron mayor influencia sobre las abundancias y distribución de foraminíferos béticos en el Golfo de Urabá.

El siguiente modelo conceptual es un esquema tentativo donde se muestra los principales factores ecológicos que resultaron tener mayor influencia sobre foraminíferos béticos en los manglares del Golfo de Urabá. En el modelo conceptual la hidrodinámica, la morfología aparecen para ser los factores dominantes sobre los parámetros ambientales que afectan principalmente las abundancias y especies de foraminíferos béticos.

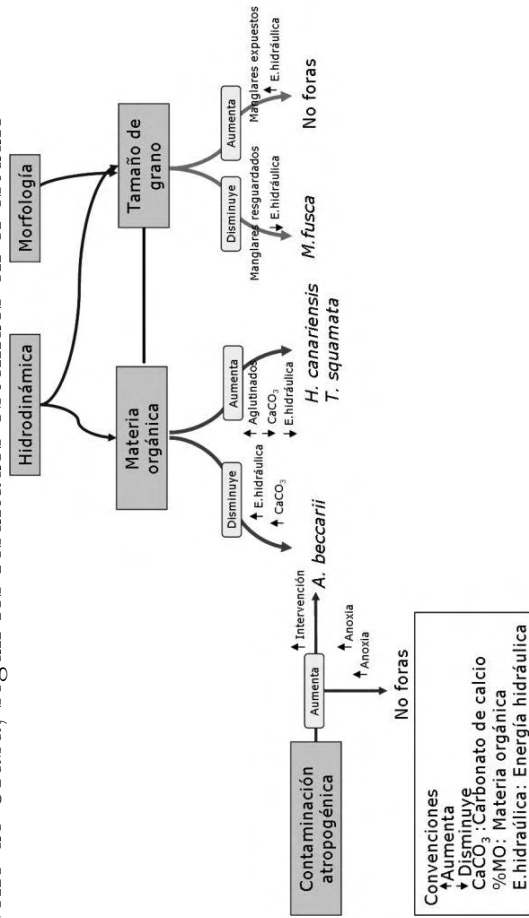
La hidrodinámica del manglar y su morfología resultó tener influencia sobre la materia orgánica, ya que se encontró que en manglares expuestos disminuía su porcentaje, mientras que en lugares de resguardados esta se incrementaba. La formación de carbonato de calcio se ve afectada con el incremento de la materia orgánica, ya que su degradación disminuye el pH volviéndolo ácido y dificultando su precipitación. Los foraminíferos con concha aglutinada se ven favorecidos con el aumento de la materia orgánica, ya que pH ácido impide la formación de conchas calcáreas, además se encontró que en los manglares del Golfo de Urabá *H. canariensis* y *T. squammata* tienen preferencia por sustratos con abundante materia orgánica.

La zonificación geomorfológica realizada nos permitió observar la diferencia en la energía hidráulica de las diferentes zonas. Se observó que los sitios de muestreo expuestos al oleaje y corrientes, presentaban tamaños de grano gruesos y menores %MO, además en estos lugares no se encontraron foraminíferos; mientras que los manglares resguardados se caracterizaron por tener sustratos lodosos (favorecen el desarrollo de la especie *M. fusca*) y porcentajes de materia orgánica mayores. Esto se ve explicado en que zonas con una alta energía hidráulica (presencia de oleaje y corrientes) no permiten la depositación de grandes cantidades de materia orgánica (alimento de los foraminíferos) y se da la variación rápida de las condiciones ambientales del lugar, dificultando el establecimiento de especies (Alve, 1999).

La contaminación antropogénica también parece ser un factor que está afectando a los foraminíferos béticos, con la influencia de los pesticidas, fertilizantes orgánicos e hidrocarburos principalmente, producto de las actividades económicas desarrolladas en la región. En manglares que presentan una alta intervección antrópica como los de la ensenada de Rionegro y los asociados del delta del río Turbo, se encontró la presencia de la especie *A. beccarii*. Además las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua estuvieron en rangos anóxicos en la mayoría de las localidades del lado este del Golfo donde no se encontraron foraminíferos.



Figura 6.1: Esquema tentativo donde se resume la influencia de factores ecológicos sobre foraminíferos bénticos en los manglares del Golfo de Urabá, según los resultados obtenidos en el estudio



# Capítulo 7

## Conclusiones

1. En los manglares del Golfo de Urabá se presentaron abundancias, riqueza de especies y especies típicas reportadas en los ecosistemas estuarinos del mundo. *Milliammina fusca* resultó ser la especie dominante en el Golfo aportando un 61 % al total de individuos contados.
2. El análisis *cluster* realizado permitió diferenciar dos asociaciones, clasificadas según sus abundancias. Las estaciones de muestreo que componen el primer grupo se caracterizan por tener abundancias más altas de las especies *T. squamata*, *A. salsum*, *A. mexicana* y *A. beccarii*, mientras que en el segundo grupo las especies *M. fusca*, *H. canariensis*, *A. exiguus*, *A. exilis*, *A. americanus* y *H. wilbertii* se encuentran en mayor abundancia. Además los clusters pertenecientes a G2 mostraron tener una relación entre las abundancias y el tamaño de grano del sedimento.
3. En los manglares del Golfo de Urabá se encontraron las abundancias más altas en las fracciones más pequeñas de sedimentos (150um-355um y 63um-150um), y en especial la dominancia de la especie *T. squamata* en la fracción de 63um-150um. Con este resultado se demuestra la importancia de que en ambientes de manglar las fracciones más pequeñas no sean descartadas del análisis, suponiendo que en estas solo se encuentran individuos juveniles, ya que podría generarse pérdida de información en cuanto a abundancias totales y a riqueza de especies se refiere. Se debe tener presente que en este tipo de ambientes las condiciones no favorecen el desarrollo de foraminíferos y por eso es común encontrarlos en tamaños pequeños.
4. Este estudio permitió resaltar cuáles son los principales factores ambientales (de los estudiados aquí) que actúan sobre la distribución de foraminíferos béticos en los cuerpos de agua asociados a los manglares del Golfo de Urabá. En en

los manglares del Golfo de Urabá se observó que valores con %MO bajos no se encontraron foraminíferos, que el rango en el que las abundancias fueron mayores fue entre 15-30 % y que con valores mayores a 40 % no ocurrieron foraminíferos en la mayoría de las muestras, además que el sitio que presentó mayor diversidad, el contenido de MO en los sedimentos fue menor a 8 %. Las especies *H. canariensis* y *T. squamata* resultaron tener preferencia por lugares con abundante MO. En los manglares del Golfo, en su mayoría dominaron los % de carbonatos menores a 6 %, solamente se presentaron altos porcentajes en la ensenada de Rionegro (hasta de 60 %), sitio donde se encontró la especie cálcarea *A. beccarii*.

5. La ubicación y morfología de los sitios muestreados nos permitió estudiar la relación de la hidrodinámica (Energía hidráulica) con el tamaño de grano, % de MO, carbonatos, % aglutinados y con las abundancias de foraminíferos. En general en los manglares del Golfo de Urabá se observó que los lugares expuestos al oleaje y a corrientes presentaron mayor tamaño de grano y menores abundancias de foraminíferos, mientras que en ambientes resguardados y depositacionales (como los manglares deltaicos de borde en bahía y los de canal o en boca de canal) era común encontrar altos porcentajes de lodos (dominancia de *M. fusca*) y mayores abundancias de foraminíferos. La zonificación geomorfológica realizada nos permitió observar la diferencia en la energía hidráulica de las diferentes zonas. Zonas con una alta energía hidráulica (presencia de oleaje y corrientes) no permiten la depositación de grandes cantidades de materia orgánica (alimento de los foraminíferos) y se da la variación rápida de las condiciones ambientales del lugar, dificultando el establecimiento de especies; a la inversa de lo que sucede en lugares con baja energía hidráulica. Por lo anterior estos lugares podrían ser aptos para el desarrollo de foraminíferos bénticos.
6. Según los resultados, existe un riesgo de eutrofización en las aguas costeras del Golfo, ya que las concentraciones de oxígeno disuelto son reducidos en el agua y por ende limita la vida. La presencia de foraminíferos bénticos en el Golfo (solo se encontraron en 35 de 90 sitios muestreados), se cree que podría estar relacionada con el deterioro en las aguas. Para próximos estudios se recomienda hacer mediciones de oxígeno disuelto, que permitan comparar las abundancias con este parámetro, además realizar un seguimiento de la colonización de sedimentos superficiales por la especie *A. beccarii*, reconocida por ser colonizadora de ambientes bajos en oxígeno y la cual se encontró en cuatro sitios muestreados en los manglares del Golfo. También se recomienda hacerle un seguimiento al comportamiento de las variables monitoreadas por REDCAM y la relacionarlas con las abundancias y especies de foraminíferos presentes en los sedimentos

superficiales.

7. En ambientes estuarinos, así como el Golfo de Urabá, es difícil diferenciar entre el impacto del estrés antropogénico del impacto del estrés natural, pero sin embargo en las zonas más intervenidas o con mayor contaminación se encontraron diferencias notables en la ocurrencia de los foraminíferos (alta abundancia de *A. beccari* en los manglares con mayor impacto humano, degradación o vertimientos de aguas negras y ausencia de foraminíferos en las estaciones sometidas a mayor contaminación por pesticidas).
8. El modelo conceptual nos permitió sintetizar la información obtenida en el estudio. Se concluye a partir de este, que los foraminíferos béticos de los manglares del Golfo de Urabá se encuentran afectados (entre las variables estudiadas) principalmente por su ubicación, de lo cual dependerá el grado en el que la energía hidráulica actúe sobre éstos. A su vez la energía hidráulica estará relacionada directamente con el tamaño de grano y %MO presentes en el lugar.
9. Se realizó un primer análisis de las poblaciones de foraminíferos béticos en los ecosistemas de manglar del Golfo de Urabá que aporta al conocimiento sobre la biodiversidad de estos hábitats y servirá como información base para definir afectaciones del ecosistema hacia el futuro y la posibilidad de utilizar estos organismos como bioindicadores ambientales.

# Bibliografía

- Alongi, D.M. y Robertson, A.I. (1992). *Tropical mangrove ecosystems*. Washington, DC: American Geophysical Union.
- Alvarez, A.M. y Bernal, G. (2007). «Estimación del campo de transporte neto de sedimentos en el fondo de Bahía Colombia con base en análisis de tendencia del tamaño de grano». *Avances en Recursos Hidráulicos*, **16**, pp. 41–50.
- Alve, E. (1999). «Colonization of new habitats by benthic foraminifera: a review». *Earth-Science Reviews*, **46(1-4)**, pp. 167 – 185. ISSN 0012-8252.
- Barker, R. (1960). *Taxonomic notes on the species figured by H.B. Brady in his report on the foraminifera dredged by H.M.S challenger during the years 1873-1876*. volumen 9. Society of Economy Paleontology and Mineralogy.
- Bernal, G.; Ruiz-Ochoa, M.A.; Piedrahita, M.T. y Restrepo, E. (2008). «Foraminíferos en los sedimentos superficiales del sistema lagunar de Cispatá y la interacción Río Sinú- Mar Caribe Colombiano». *Boletín Ciencias de la Tierra*, **23**, pp. 5–20.
- Bernal, G.; Toro, M. y Montoya Jaramillo, C.E., L.J. and Garizábal Carmona (2005). «Estudio de la dispersión de sedimentos del río Atrato y sus impactos sobre la problemática ambiental costera del Golfo de Urabá». *Gestión y Ambiente*, **8**, pp. 123–135.
- Boltovskoy, E (1965). *Los foraminíferos recientes: Biología, Métodos de estudio, aplicación oceanográfica*. Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Boltovskoy, E. y Hincapié Martínez, S. (1983). «Foraminíferos del manglar de Tesca, Cartagena, Colombia». *Revista Española de Micropaleontología*, **15(2)**, pp. 205–220.
- Buzas, M. y Severin, K (1982). «Distribution and systematics of foraminifera in the Indian River, Florida». *Smithsonian Contributions to Paleobiology*, **16**, p. 73.

- Buzas, M.; Smith, R. y Beem, K. (1977). «Ecology and systematics of foraminifera in two thalassia habitats, Jamaica, West Indies». *Smithsonian Contributions to Paleobiology*, **31**, p. 139.
- Chatelet, E.; Debenay, J.P. y Soulard, R. (2004). «Foraminiferal proxies for pollution monitoring in moderately polluted harbors». *Environmental Pollution*, **127(1)**, pp. 27 – 40. ISSN 0269-7491.
- Chatelet, E. A.; Bout-Roumazielles, V.; Riboulleau, A. y Trentesaux, A. (2009). «Sediment (grain size and clay mineralogy) and organic matter quality control on living benthic foraminifera». *Revue de Micropaléontologie*, **52(1)**, pp. 75 – 84. ISSN 0035-1598.
- Chatelet, E.A. y Debenay, J.P. (2010). «The anthropogenic impact on the western French coasts as revealed by foraminifera: A review». *Revue de Micropaléontologie*, **53(3)**, pp. 129 – 137. ISSN 0035-1598. Foraminiferal Geobiology - Selected studies in memory of Professor Gérard Bignot.
- Culver, S.J. (1990). «Benthic Foraminifera of Puerto Rican mangrove-lagoon systems: potential for paleoenvironmental interpretations: Culver, S.J., 1990. *Palaaios*, 5(1):34-51». *Deep Sea Research Part B. Oceanographic Literature Review*, **37(12)**, pp. 1110 – 1110. ISSN 0198-0254.
- Debenay, J. P. y Guiral, M., D. and. Parra (2002). «Ecological Factors Acting on the Microfauna in Mangrove Swamps. The Case of Foraminiferal Assemblages in French Guiana». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **55(4)**, pp. 509 – 533. ISSN 0272-7714.
- Debenay, J.P. y Thi-Luan, B. (2006). «Foraminiferal assemblages and the confinement index as tools for assessment of saline intrusion and human impact in the Mekong Delta and neighbouring areas (Vietnam)». *Revue de Micropaléontologie*, **49(2)**, pp. 74 – 85. ISSN 0035-1598.
- Diz, P. y Francés, G. (2008). «Distribution of live benthic foraminifera in the Ría de Vigo (NW Spain)». *Marine Micropaleontology*, **66(3-4)**, pp. 165 – 191. ISSN 0377-8398.
- Frontalini, F. y Coccioni, R. (2008). «Benthic foraminifera for heavy metal pollution monitoring: A case study from the central Adriatic Sea coast of Italy». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **76(2)**, pp. 404 – 417. ISSN 0272-7714.

- García-Valencia, C.(Ed) (2007). *Atlas del Golfo de Urabá: una mirada al caribe de Antioquia y Chocó*. 12. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –Invemar– y Gobernación de Antioquia.
- Golicher, D. (2009). «Índice de Shannon y Simpson». Consulta en línea, último acceso Agosto 2 de 2011.  
<http://duncanjg.files.wordpress.com/2008/02/clasediversidad1.pdf>
- Gooday, A.J.; Bernhard, J. M.; Levin, L.A. y Suhr, S.B. (2000). «Foraminifera in the Arabian Sea oxygen minimum zone and other oxygen-deficient settings: taxonomic composition, diversity, and relation to metazoan faunas». *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **47(1-2)**, pp. 25 – 54. ISSN 0967-0645.
- Gregorius, H.R. y Gillet, E.M. (2008). «Generalized Simpson-diversity». *Ecological Modelling*, **211(1-2)**, pp. 90 – 96. ISSN 0304-3800.
- Gualancañay, E. (1998). «Foraminíferos bentónicos de Salinas y su relación con el medio». *Instituto Oceanográfico de la Armada*, pp. 1–11.
- Horton, B. P.; Larcombe, P.; Woodroffe, S. A.; Whittaker, S. A.; Wright, M. R. y Wynn, C. (2003). «Contemporary foraminiferal distributions of a mangrove environment, Great Barrier Reef coastline, Australia: implications for sea-level reconstructions». *Marine Geology*, **198(3-4)**, pp. 225 – 243. ISSN 0025-3227.
- Kemp, A.C.; Horton, B.P y Culver, S.J. (2009). «Distribution of modern salt-marsh foraminifera in the Albemarle-Pamlico estuarine system of North Carolina, USA: Implications for sea-level research». *Marine Micropaleontology*, **72(3-4)**, pp. 222 – 238. ISSN 0377-8398.
- Kristensen, E.; Bouillon, S.; Dittmar, T. y Marchand, C. (2008). «Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review». *Aquatic Botany*, **89(2)**, pp. 201 – 219. ISSN 0304-3770. Mangrove Ecology - Applications in Forestry and Coastal Zone Management.
- Le Cadre, V. y Debenay, J.P. (2006). «Morphological and cytological responses of Ammonia (foraminifera) to copper contamination: Implication for the use of foraminifera as bioindicators of pollution». *Environmental Pollution*, **143(2)**, pp. 304 – 317. ISSN 0269-7491.
- Leorri, W.R. and Horton B.P., E. and Gehrels; Fatela, F. y Cearreta, Alejandro (2010). «Distribution of foraminifera in salt marshes along the Atlantic coast of SW Europe:

- Tools to reconstruct past sea-level variations». *Quaternary International*, **221(1-2)**, pp. 104 – 115. ISSN 1040-6182. Quaternary Land-Ocean Interactions: Driving Mechanisms and Coastal Responses.
- Lewis, M.; Pryor, R. y Wilking, Lynn (2011). «Fate and effects of anthropogenic chemicals in mangrove ecosystems: A review». *Environmental Pollution*, **In Press, Corrected Proof**, pp.–. ISSN 0269-7491.
- Marín-Zambrana, B. G. (2002). *Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: 2001*. capítulo Lagunas costeras y estuarios., pp. 183–206. INVEMAR.
- Mazda, Y. y Wolanski, E. (2009). *Coastal wetlands: an integrated ecosystem approach*. Elsevier.
- McCulloch, I. (1977). *Qualitative observations on recent foraminiferal test with emphasis on the Eastern Pacific*. University of Southern California, Los Ángeles.
- Mojtahid, M.; Jorissen, F.; Durrieu, J.; Galgani, F.; Howa, H.; Redois, F. y Camps, R. (2006). «Benthic foraminifera as bio-indicators of drill cutting disposal in tropical east Atlantic outer shelf environments». *Marine Micropaleontology*, **61(1-3)**, pp. 58 – 75. ISSN 0377-8398. Foraminifera and Environmental Micropaleontology, Environmental Micropaleontology Symposium at the 32nd International Geological Congress.
- Mojtahid, M.; Jorissen, F.; Lansard, B.; Fontanier, C.; Bombled, B. y Rabouille, C. (2009). «Spatial distribution of live benthic foraminifera in the Rhône prodelta: Faunal response to a continental-marine organic matter gradient». *Marine Micropaleontology*, **70(3-4)**, pp. 177 – 200. ISSN 0377-8398.
- Montoya, L.J. (2010). *Dinámica oceanográfica del golfo de Urabá y su relación con los patrones de dispersión de contaminantes y sedimentos*. Tesis doctoral, Facultad de Minas, Universidad Nacional.
- Morrisey, D. J.; Skilleter, G. A.; Ellis, Burns, J. I.; Kemp, C. E. y Burt, C. E. (2003). «Differences in benthic fauna and sediment among mangrove (*Avicennia marina* var. *australasica*) stands of different ages in New Zealand». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **56(3-4)**, pp. 581 – 592. ISSN 0272-7714.
- Murray, J. (2006). *Ecology and applications of benthic foraminifera*. Cambridge University press, United States of America.



- Murray, J. W (2007). «Biodiversity of living benthic foraminifera: How many species are there?» *Marine Micropaleontology*, **64(3-4)**, pp. 163 – 176. ISSN 0377-8398.
- Nagelkerken, I.; Blaber, S.J.M.; Bouillon, S.; Green, P.; Haywood, M.; Kirton, L.G.; Meynecke, J.O.; Pawlik, J.; Penrose, H.M.; Sasekumar, A. y Somerfield, P.J. (2008). «The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review». *Aquatic Botany*, **89(2)**, pp. 155 – 185. ISSN 0304-3770. Mangrove Ecology - Applications in Forestry and Coastal Zone Management.
- Nooijer, L.J.; Duijnste, I.A.P.; Bergman, M.J.N. y Van der Zwaan, M.J.N. (2008). «The ecology of benthic foraminifera across the Frisian Front, southern North Sea». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **78(4)**, pp. 715 – 726. ISSN 0272-7714.
- Osorio, A.F.; Molina, L.J. y Osorio, J.D. (2010). «Caracterización hidrodinámica del oleaje local (sea) y de fondo (swell) en el Golfo de Urabá», **En prensa**.
- Osterman, L.E. (2003). «Benthic foraminifera from the continental shelf and slope of the Gulf of Mexico: an indicator of shelf hypoxia». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **58(1)**, pp. 17 – 35. ISSN 0272-7714.
- Parada, C. (1991). «Claves de identificación para géneros de foraminíferos». Curso Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C..
- Parada, C. y Londoño, C. (1983). *Foraminíferos bentónicos recientes del Norte de Cartagena -Colombia*. EditorialPresencia Ltda.
- Parada, C. y Pinto, J. (1986). *Foraminíferos bentónicos recientes de isla Barú*. Fondo FEN Colombia. Fondo FEN Colombia, Bogotá D.C., 212 p.
- Progene, M. Do P.S.; Da Costa, M.L. y Berredo, J.F. (2010). «Continental and marine contributions to formation of mangrove sediments in an Eastern Amazonian mudplain: The case of the Marapanim Estuary». *Journal of South American Earth Sciences*, **29(2)**, pp. 427 – 438. ISSN 0895-9811.
- Real, J.M., M y Vargas (1996). «The probabilistic basis of Jaccard's Index of similarity». *Systematic Biology*, **45 (3)**, pp. 380–385.
- REDCAM (2010). «Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano». *INVEMAR*.  
<http://www.invemar.org.co/psubcategorias.jsp?idsub=252&idcat=105>
- Schonfeld, J. (2002). «A new benthic foraminiferal proxy for near-bottom current velocities in the Gulf of Cadiz, northeastern Atlantic Ocean». *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, **49(10)**, pp. 1853 – 1875. ISSN 0967-0637.

- Scott, D.B. (2007). *Monitoring in Coastal Environments Using Foraminifera and Thecamoebian Indicators*. Cambridge University press, United States of America.
- Sen Gupta, B. (1999). *Modern foraminifera. Great Britain*. Kluwer Academics publishers.
- Sharma, R. C. y Rawat, J.S. (2009). «Monitoring of aquatic macroinvertebrates as bioindicator for assessing the health of wetlands: A case study in the Central Himalayas, India». *Ecological Indicators*, **9(1)**, pp. 118 – 128. ISSN 1470-160X.
- Shepherd, A.S.; Rathburn, A.E. y Pérez, M.E. (2007). «Living foraminiferal assemblages from the Southern California margin: A comparison of the > 150, 63-150, and > 63 [mu]m fractions». *Marine Micropaleontology*, **65(1-2)**, pp. 54 – 77. ISSN 0377-8398.
- Szarek, R; Wolfgang, K y Hiroshi, K (2005). «Distribution of recent benthic foraminifera on the Sunda Shelf (South China Sea)». *Marine Micropaleontology*, **61 (4)**, pp. 171–195.
- Tucker, M. (1988). *Techniques in Sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford..
- Urrego, L.E; Molina, E.C.; Suarez, J.A.; Ruiz, H.Y. y Polanía, J. (2010). «Distribución, composición y estructura de los manglares del Golfo Urabá», **En prensa**.
- Vanicek, V.; Juracic, M.; Bajraktarevic, Z. y Cosovic, V. (2000). «Benthic Foraminiferal Assemblages in a Restricted Environment. An example from Mjet lakes (Adriatic sea, Croatia)». *Geologia Croatica*, **53 (2)**, pp. 269–279.
- Vargas, M.E. (2011). *Foraminíferos del Golfo de Urabá y su potencial como paleoindicadores y bioindicadores de cambios ecológicos*. Tesina o Proyecto, Facultad de Minas, Universidad Nacional.
- Wolfgang, K. (1996). «Ecological structuring and evolution of deep sea agglutinated foraminifera- A review». *Revue de micropaleontology*, **39 (4)**, pp. 271–281.