



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA
CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**



**Composición y estructura de las tanatocenosis de foraminíferos
bentónicos submareales en el delta del Colorado.**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO**

PRESENTA:

LUDMILA HILHAM PALAFOX SILVA

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. FEBRERO 2011

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**

**COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LAS TANATOCENOSIS DE FORAMÍNIFEROS BENTÓNICOS
SUBMAREALES EN EL DELTA DEL COLORADO**

TESIS QUE PRESENTA

LUDMILA HILHAM PALAFOX SILVA

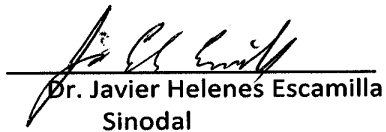
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

OCEANOLOGO

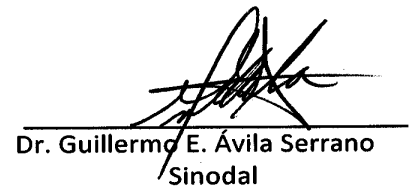
Aprobada por:



Dr. Miguel A. Téllez Duarte
Director de Tesis



Dr. Javier Helenes Escamilla
Sinodal



Dr. Guillermo E. Ávila Serrano
Sinodal

DEDICATORIA

A mis padres Héctor Palafox Méndez y Luzmila Silva Arteaga, por su inmenso cariño e incondicional apoyo que me brindaron durante toda mi carrera, por soportar la distancia y haberme fomentado desde niña el estímulo a la superación personal.

A mi hermano Jousin Palafox Silva, porque gracias a sus consejos decidí estudiar Oceanología y pude inclinarme hacia el área científica.

A mi madrina María Eugenia Jiménez por el cariño que le tengo y por estar presente en los momentos más importantes de mi vida.

Agradecimientos

A mi director de tesis, Dr. Miguel Téllez Duarte, por su valiosa contribución en este trabajo, consejos y por haber depositado su confianza en mí.

A mis sinodales Dr. Guillermo Ávila Serrano y Dr. Javier Helenes Escamilla por su cordialidad, buen sentido del humor y sobre todo por las observaciones realizadas en este trabajo.

A mis profesores Dr. Oscar González Yajimovich y Dr. Luis Cupul Magaña por su eficiente apoyo en las salidas de campo y por su agradable compañía.

Al Ing. Luis Carlos Gradilla Martínez por la realización de las fotografías de foraminíferos bentónicos en el microscopios electrónico de barrido, propiedad del departamento de Ciencias de la Tierra del Centro de Investigación Científica de Estudios Superiores de Ensenada, B.C. (CICESE).

Al Dr. Rubén Castro Valdéz por facilitar bibliografía relacionada a los procesos físicos que intervienen en el delta del Río Colorado y Golfo de California.

Al M. en C. Miguel A. Santa Rosa del Río, por su apoyo en el procesamiento de muestras e identificación de foraminíferos.

Al Oc. Gabriel Rendón Márquez por su constante disposición en ayudar, consejos y en tener siempre una palabra de aliento.

Al Oc. Hector David Castro Barrios por su cariño, paciencia y apoyo en el diseño de las presentaciones en CD.

A la UABC, por el apoyo financiero otorgado mediante el proyecto de investigación: "Interpretación de los cambios ambientales en el delta del Río Colorado: un enfoque multidisciplinario de su biología y geología", programa 360.

Al CONACYT por la beca otorgada a través del Convenio CB-2007-01-84710.

Resumen

En este trabajo se analiza la estructura espacial y temporal de la abundancia relativa de la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos submareales en la región del delta del Río Colorado. Para el análisis micropaleontológico se tomaron las fracciones del tamizado de 150 μ m y 63 μ m, contando 300 organismos por muestra. *Ammonia beccarri parkinsoniana*, *Criboelphidium excavatum* y *Rosalina sp1*, fueron las especies más abundantes de la tanatocenosis en toda el área deltaica. Las estaciones con mayor abundancia fueron otoño y primavera. En general, la diversidad tiende a ser mayor al sur del delta, donde la estabilidad ambiental es mayor. La distribución de equidad fue uniforme en el área oeste del delta. Los foraminíferos aglutinados fueron más abundantes hacia el sur del delta, probablemente por estar sujetos a procesos tafonómicos menos severos que en el norte del delta, donde las condiciones físicas más rigurosas disminuyen su potencial de conservación. No se pudo identificar un gradiente claro en la distribución de las tanatocenosis de foraminíferos que pueda ser atribuido a procesos biológicos, debido a que los procesos transporte y mezcla debido al intenso retrabajamiento de los sedimentos deltaicos, ocasionan un promediado temporal.

ÍNDICE GENERAL

Introducción.....	1
Objetivo	
General.....	4
Particular.....	4
Descripción del área de estudio.....	4
Metodología de campo y laboratorio.....	6
Resultados	
Variación espacial y temporal de abundancia.....	9
Análisis de Diversidad.....	15
Análisis de similitud.....	17
Foraminíferos aglutinados.....	19
Discusiones.....	22
Conclusiones.....	25
Bibliografía.....	26
Anexos.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Abundancia relativa de foraminíferos bentónicos totales durante el ciclo 2009 - 2010.	9
Tabla II. Abundancia relativa de foraminíferos aglutinados totales encontrados durante el ciclo 2009-2010.	19
Tabla III. Abundancia relativa de foraminíferos aglutinados por estación encontrados durante el ciclo 2009-2010.	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio, donde se muestran las estaciones de muestreo.	5
Figura 2. Promediado anual de las tres principales especies con respecto a su abundancia.	11
Figura 3. Abundancia de <i>Ammonia beccarii parkinsoniana</i> a lo largo del ciclo 2009-2010.	12
Figura 4. Abundancia de <i>Rosalina sp1</i> a lo largo del ciclo 2009-2010.	13
Figura 5. Abundancia de <i>Criboelphidium excavatum</i> a lo largo del ciclo 2009-2010.	14
Figura 6. Índices de dominancia, diversidad y equidad para Verano (a), Otoño (b), Invierno (c) y Primavera (d).	16
Figura 7. Dendrogramas mediante el índice de similitud Jaccard (a) e índice de similitud de Morisita (b).	18
Figura 8. Porcentaje de abundancia de foraminíferos aglutinados bentónicos. Verano (a), Otoño (b), Invierno (c) y Primavera (d)	21

Introducción

Los foraminíferos constituyen el grupo de organismos de la meiofauna más abundantes del océano (Bernhard, 1992). Se conocen más de 5 mil especies recientes, de las cuales los foraminíferos bentónicos son 30 veces más numerosos que los planctónicos (Buzas & Culver, 1991). Habitan en todas las profundidades marinas, desde fondos superiores a los 10,000 m hasta zonas sometidas a desecamientos periódicos (Culver, 1993), lo que demuestra el alto nivel de eficacia y adaptabilidad ecológica de estos protozoarios a distintos sustratos (Linke & Lutze, 1993; Debenay *et al.*, 1996)

Debido a su biología, los foraminíferos son muy sensibles a los cambios fisicoquímicos de los sedimentos marinos y la columna de agua, lo que puede llegar a afectar no sólo su biomasa, sino también la estructura comunitaria (Barmawidjaja *et al.*, 1992).

La adaptabilidad de los foraminíferos les permite habitar en ambientes ecológicamente rigurosos en los que existe una gran variabilidad de sus parámetros ambientales, como es el caso de los deltas. Ecológicamente, estos ambientes son vitales para la reproducción de especies tanto continentales como marinas, además de albergar flora y fauna exclusiva, por lo que son muy importantes en la preservación de la biodiversidad. Los foraminíferos han sido muy útiles en la interpretación del origen y evolución de los deltas, además de que su marcada zonación permite ubicar las antiguas variaciones del nivel de mar, particularmente en depósitos intermareales costeros. Sin embargo, el grado de resolución depende en gran medida de la preservación post mortem de las biofacies de foraminíferos (Murray, 1984). Actualmente su preservación en marismas es generalmente pobre debido a la baja saturación del carbonato de calcio y bajo pH de los lodos terrígenos de este ambiente (Aller, 1982). Por consecuencia existe un enriquecimiento de foraminíferos de testas aglutinadas, las cuales son más resistentes a la disolución en ambientes de marismas. Por

tanto, la proporción de aglutinados contra calcáreos ha sido un método para evaluar el efecto de la disolución post mortem (Murray, 1989).

Aunque no del todo comprendido, las pérdidas tafonómicas determinan el potencial como índices paleoambientales de los conjuntos de foraminíferos. En primer lugar, por reducir la diversidad taxonómica de las especies; y en segundo, por afectar las proporciones relativas de cada una de especies (Goldstein, 1988; Goldstein and Harben, 1993; Murray, 1989; Alve and Murray, 1994). Un ejemplo está en la comparación de biofacies intermareales de foraminíferos colectados a una profundidad de 10 cm con muestras de la superficie del delta del río Fraser. (Jonasson y Patterson, 1992). Los resultados indican una reducción del 50% en la abundancia de *Ammonia beccarri* identificable en el subsuelo.

La influencia del agua dulce en la distribución y abundancia de los foraminíferos bentónicos ha sido bien estudiada en localidades como en la desembocadura del Río Mississippi y el Río Guadalupe en Texas (Thomas y Simmons, 1960). En general, en ambientes estuarinos la alta productividad de foraminíferos bentónicos se atribuye al enriquecimiento de nutrientes transportados en los sedimentos en el agua descargada por los ríos. Aunque también son importantes para ello las surgencias (Phleger y Lankford, 1957; Phleger, 1964).

El área del delta del Río Colorado, en el Alto Golfo de California, fue hasta principios del siglo pasado un estuario regulado por el aporte de agua dulce del río, el cual descargaba 20×10^9 m³/año de agua dulce y 180×10^6 ton/año de sedimento (Thompson, 1968).

En la década de 1920 la construcción de presas y obras para desviar las aguas del río para uso agrícola y urbano principalmente. A partir de entonces, el delta se convirtió en un estuario inverso, tornándose un ambiente hipersalino al disminuir el aporte de agua dulce muy por debajo de la cantidad perdida por

evaporación. Actualmente el aporte de agua y sedimentos por el río es prácticamente nulo. Como consecuencia de esto último las fuertes corrientes de marea retrabajan los sedimentos de las planicies de marea y los depósitos superficiales de plataforma, convirtiéndose actualmente en la fuente de aporte de sedimentos finos. Como consecuencia de esto, a pesar de la pérdida de la carga de sedimentos suministrados por el río, el Alto Golfo sigue siendo un entorno de alta turbidez debido a su régimen macro mareal y el retrabajamiento de los sedimentos (Álvarez-Jones, 2004).

Por lo anterior, el delta del Río Colorado es un ecosistema severamente afectado por el hombre en el cual es poco conocido el efecto de esta alteración sobre la fauna bentónica. La distribución y abundancia de los foraminíferos bentónicas antes de la alteración del ecosistema es desconocida, existiendo solo unos pocos trabajos sobre estos organismos en el área (Barbieri, 1996; Phleger, 1964; Huerta-Tamayo, 2007). Por tanto, conocer los cambios espaciales y temporales en la composición y estructura de las tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en el área deltaica, puede proporcionarnos pistas para ampliar nuestro conocimiento del efecto antrópico en el ecosistema.

Objetivo

General

Determinar la composición y estructura espacial y temporal de las tanatocenosis de foraminíferos bentónicos submareales en el delta del Río Colorado.

Particular

Determinar si existe una correspondencia entre los cambios estructurales de los foraminíferos bentónicos y la antigua extensión del estuario del delta del Río Colorado.

Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en el delta del Río Colorado (Fig.1), entre los 31° 15' y 31° 50 de latitud y los 114° 39' y 115° 05' de longitud, centrándose este trabajo en la zona submareal adyacente a la costa de Baja California. La región es árida y caracterizada por un máximo rango de marea viva de 8 a 10 m (Thompson, 1968). El estudio se concentrará en dicha zona por ser donde se ha determinado la mayor influencia del agua del Río Colorado durante flujos extraordinarios (Lavín y Sánchez, 1998).

El carácter de estuario inverso del Alto Golfo se debe a la insignificante entrada de agua del río, la precipitación media, que es de sólo 68 mm/año, y la alta tasa de evaporación de 1m/año (Miranda-Reyes *et al*, 1990;. Lavín y Organista, 1988). La salinidad aumenta hacia la zona más somera al noroeste del estuario, donde llegan a 38.8‰ en verano, y el 36.7‰ en invierno, respectivamente. La temperatura aumenta hacia la cabeza del estuario sólo en verano, a un máximo de 32°C. En invierno, el gradiente de temperatura horizontal se invierte y se reduce la temperatura en la cabeza a 15°C. Dentro de los canales del delta la salinidad aumenta en verano a 40‰, y disminuye la temperatura en invierno a 8.2°C (Álvarez y Jones, 2004).

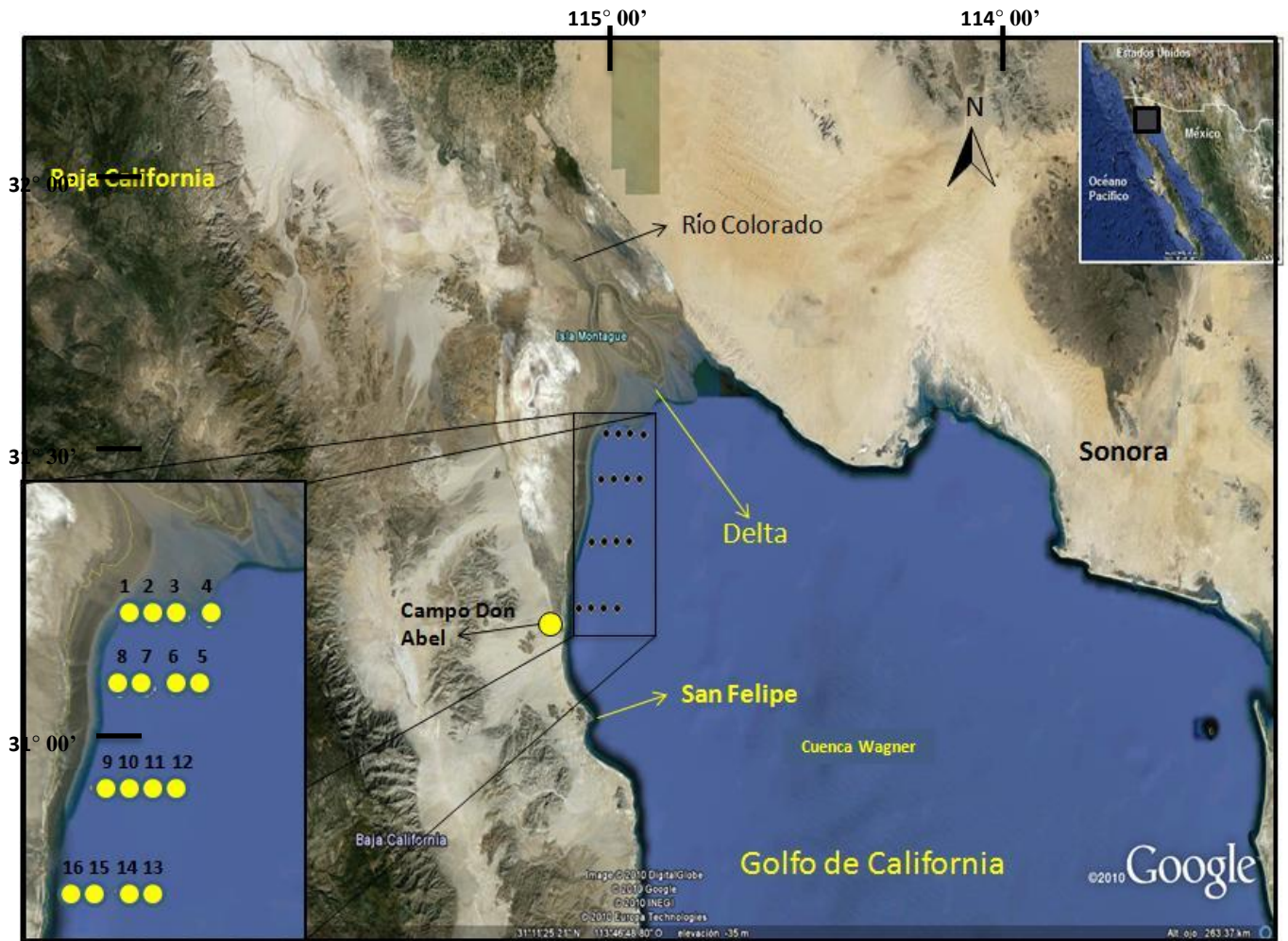


Figura 1. Localización del área de estudio, donde se muestran las estaciones de muestreo.

Metodología de campo y laboratorio

Las muestras se obtuvieron de muestreos estacionales durante un ciclo anual el cual comprendió verano y otoño de 2009, e invierno y primavera de 2010. Se ubicaron cuatro transectos perpendiculares a la costa desde las cercanías de Isla Montague cerca de la desembocadura, hasta Campo Don Abel al sur (Fig. 1). A lo largo de cada transecto se georeferenciaron cuatro estaciones de muestreo a intervalos regulares hasta la parte media del delta mediante un posicionador global (GPS, Garmin e-Trex). En cada estación se obtuvo la batimetría mediante una ecosonda digital marca Hondex, propiedad de la Facultad de Ciencias Marinas.

Las muestras de sedimento fueron recolectadas mediante una draga petite Ponar desde una embarcación tipo panga. De la draga se tomó una muestra del sedimento superficial de aproximadamente 30 gramos, utilizando una cuchara. Las muestras se colocarán en bolsas de plástico herméticas y fueron fijadas con alcohol etílico al 60% con la finalidad de preservar los foraminíferos vivos para estudios posteriores. En cada estación se tomó una muestra de agua superficial para medir la temperatura y salinidad *in-situ*.

Para el análisis micropaleontológico, el sedimento se tamizó con un tamiz húmedo de 250 μm de luz de malla para eliminar limos y arcillas, para concentrar las conchas; una vez tamizado se le agregó una solución de rosa de bengala dejándolo reposar por 48 horas, para teñir el protoplasma de los organismos vivos con el propósito de distinguir vivos y muertos. Para este estudio solo se consideraron los muertos, es decir, la tanatocenosis. Posteriormente el sedimento se secó a una temperatura controlada de 40°C y se clasificó en tamices de 1mm, 500 μm , 180 μm , 150 μm y 63 μm .

Para el análisis cuantitativo de foraminíferos se tomaron en cuenta las dos últimas fracciones (150 μm y 63 μm). Se contaron 300 organismos por

muestra, tamaño mínimo comúnmente utilizado en estos análisis (Patterson y Fishbein, 1989). Los resultados fueron analizados por métodos de agrupamiento para comparar las variaciones espaciales de las tanatocenosis mediante el programa Past (<http://folk.uio.no/ohammer/past/>). Para la descripción de la estructura de la comunidad se utilizó el índice de diversidad de Shannon(H'), el cual se define como:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Donde S, es el número de especies por muestra, p_i es la proporción de organismos de la especie respecto al total de organismos (abundancia relativa).

La comparación entre estaciones y especies se hizo utilizando el índice cualitativo de similitud de Jaccard (CC_j), el cual se define como:

$$CC_j = \frac{C}{S_1 + S_2 - C}$$

Donde S_1 y S_2 son el número de especies en las comunidades 1 y 2, respectivamente, y C es el número de especies comunes en ambas comunidades.

Otro índice usado pero cuantitativo fue el de traslape de Morisita, definido como:

$$I_M = \frac{2 \sum x_i y_i}{(\lambda_1 + \lambda_2) N_1 N_2}$$

Para conocer la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada se utilizó el índice de equidad (J), definido por:

$$J = H' / H'_{\max}$$

Otro parámetro calculado fue la dominancia, que es el inverso al índice de equidad (D):

$$D = \frac{1}{\sum p_i^2}$$

Los datos se graficaron en dendrogramas para analizar los agrupamientos mediante distancias euclidianas en modo Q.

Se tomaron fotografías de todas las especies representativas de foraminíferos con un microscopio electrónico de barrido marca JEOL, modelo JSM-35C propiedad del departamento de Ciencias de la Tierra del CICESE (Anexo I, II y III).

Resultados

Variación espacial y temporal de abundancia

Se analizaron 56 muestras con un total de 19,003 testas de foraminíferos, identificándose 32 a nivel especie y 8 a nivel género (Anexo IV). El 95% del total de la población lo representan 14 especies, de las cuales tres constituyen el 57%, es *Ammonia beccarii parkinsoniana* la más abundante (26%), presente en todas las muestras excepto en una; le sigue *Criboelphidium excavatum* con 16%, y por último *Rosalina sp1* con 15%. Los géneros con mayor diversidad son *Criboelphidium* con 6 especies y *Quinqueloculina* con 6 especies (Tabla I).

Tabla I. Abundancia relativa de foraminíferos bentónicos totales durante el ciclo 2009 - 2010.

Especie	Total de testas	% Abundancia relativa	% Acumulativo
<i>Ammonia beccarii parkinsoniana</i>	4977	26.19	26.19
<i>Criboelphidium excavatum</i>	2980	15.68	41.87
<i>Rosalina sp 1</i>	2851	15.00	56.88
<i>Bucella tenerrima</i>	1297	6.83	63.70
<i>Criboelphidium spinatum var. Translucens</i>	1276	6.71	70.42
<i>Ammonia sp</i>	1230	6.47	76.89
<i>Criboelphidium gunteri</i>	919	4.84	81.72
<i>Criboelphidium incertum</i>	800	4.21	85.93
<i>Criboelphidium poeyanum</i>	443	2.33	88.27
<i>Quinqueloculina sp 1</i>	420	2.21	90.48
<i>Bulimina marginata</i>	274	1.44	91.92
<i>Quinqueloculina sp 3</i>	224	1.18	93.00
<i>Quinqueloculina sp 2</i>	217	1.14	94.00
<i>Buliminella elegantissima</i>	205	1.08	95.00
<i>Ammoscalaria pseudospiralis</i>	152	0.80	96.12
<i>Bolivina acutula</i>	121	0.64	96.75
<i>Nonionella basispinata</i>	97	0.51	97.26
<i>Criboelphidium spinatum</i>	78	0.41	97.67
<i>Bulimina denudata</i>	62	0.33	98.00
<i>Nouria sp</i>	60	0.32	98.32
<i>Nonionella stella</i>	57	0.30	98.62
<i>Miliolinella sp</i>	49	0.26	98.87

<i>Bolivina sp 2</i>	25	0.13	99.01
<i>Quinqueloculina exsculpta</i>	24	0.13	99.13
<i>Anomalinoidea sp</i>	18	0.09	99.23
<i>Bolivina sp 1</i>	16	0.08	99.31
<i>Maselina sp</i>	16	0.08	99.39
<i>Reophax nanus</i>	17	0.09	99.48
<i>Reophax dentaliformis</i>	12	0.06	99.54
<i>Reusella sp</i>	12	0.06	99.60
<i>Bulimina colombianaensis</i>	9	0.05	99.65
<i>Quinqueloculina poeyana</i>	8	0.04	99.69
<i>Bolivina sp 3</i>	7	0.04	99.73
<i>Bolivina sp 4</i>	9	0.05	99.78
<i>Cancris sp</i>	9	0.05	99.83
<i>Quinqueloculina sp 4</i>	9	0.05	99.88
<i>Rosalina colombianaensis</i>	8	0.04	99.92
<i>Fissurina sp.</i>	7	0.04	99.95
<i>Fursenkoina pontoni</i>	7	0.04	99.99
<i>Polymorphina sp.</i>	1	0.01	100.00

En el promediado anual, *Ammonia beccarri parkinsoniana* presenta la mayor abundancia en casi todas las estaciones de los cuatro transectos con un máximo de 12% de las testas presentes en E11, a excepción de la estación E3 donde predomina *Cribroelphidium excavatum* con 8%. Las estaciones con mayor abundancia de *Ammonia beccarri parkinsoniana* son las más alejadas del delta del Río Colorado (transectos III y IV) con 33% y 19% respectivamente. La abundancia de *Rosalina sp1* es mayor en el norte, presentando un porcentaje máximo en E7 (10%) y un mínimo de 4% en las estaciones E13 y E14 que se localizan hacia el sur (Fig. 2).

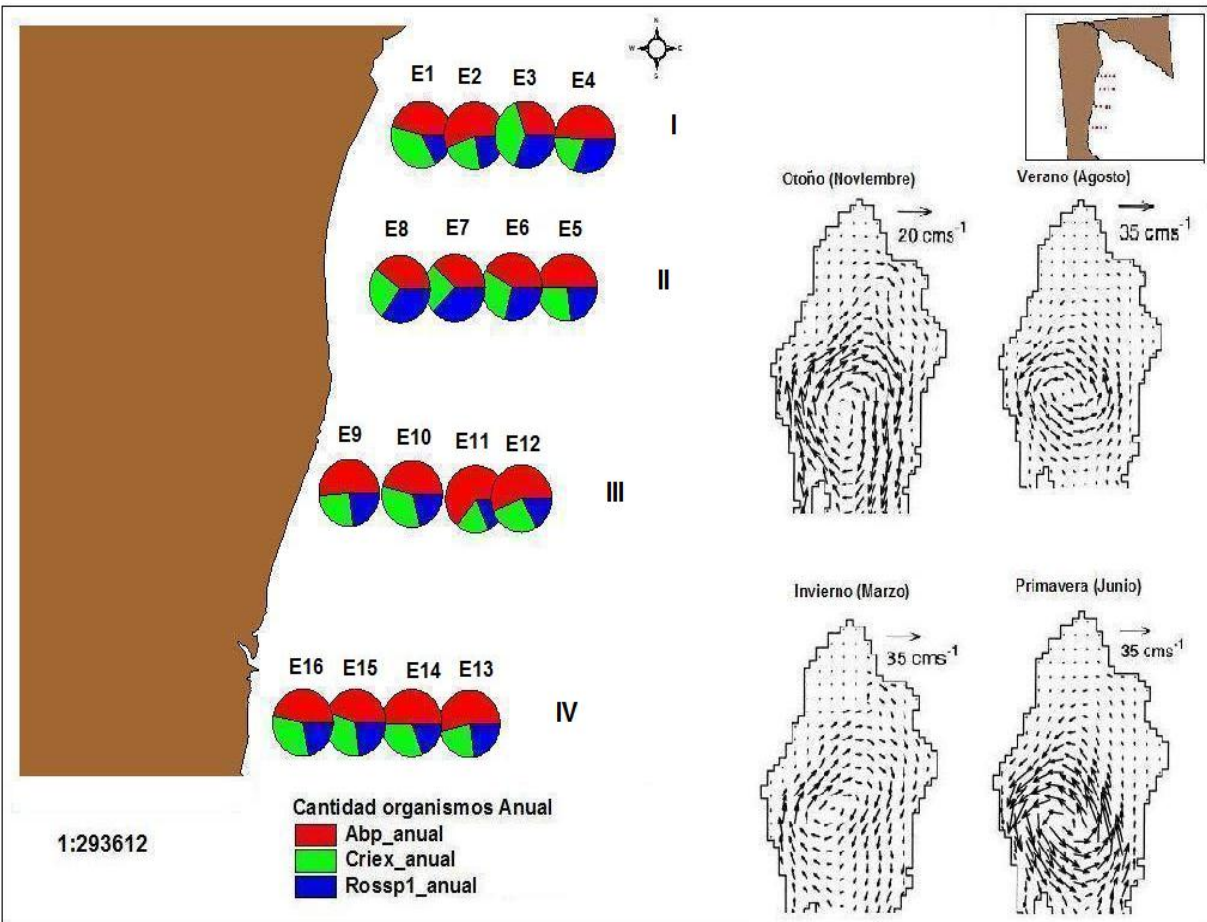


Figura 2. Promediado anual de las tres principales especies con respecto a su abundancia. Abp (*Ammonia beccarri parkinsoniana*), Criex (*Cribroelphidium excavatum*) y Rossp1 (*Rosalina sp1*). Los mapas a la derecha muestran las corrientes superficiales, según Palacios *et al.*, 2003.

El máximo de abundancia de *Ammonia beccarii parkinsoniana* se presenta en otoño hacia el sur (transecto III) con 44% y en las estaciones alejadas de la línea de costa. Lo contrario ocurre en invierno, donde el máximo de abundancia es en el transecto II con 28% y en las estaciones más cercanas a la costa. E4 y E13 tienen una distribución muy similar, lo mismo ocurre con E5 y E12 (Fig. 3). La estación de verano no puede ser comparada ya que por problemas de logística solo se muestrearon dos transectos.

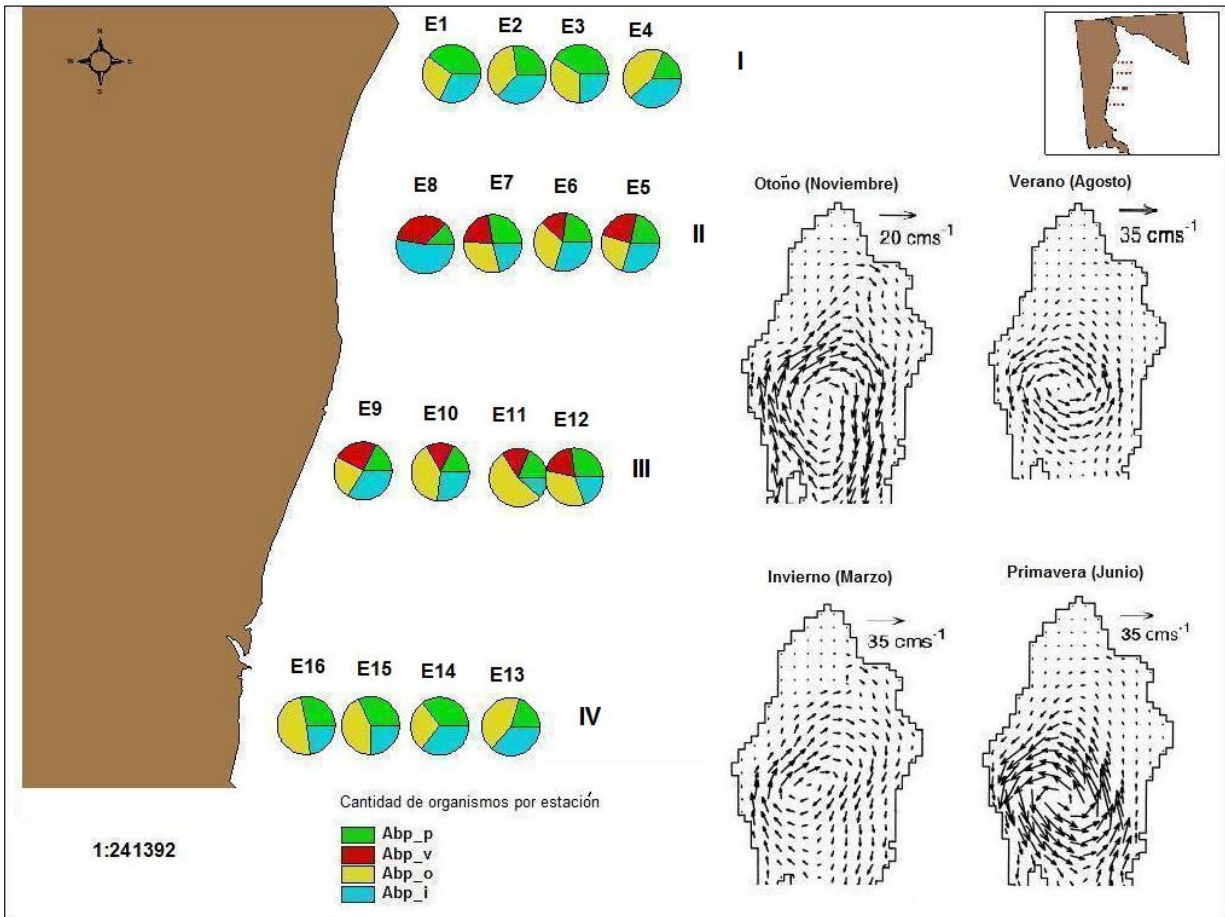


Figura 3. Abundancia de *Ammonia beccarii parkinsoniana* a lo largo del ciclo 2009-2010. Abp_p (*Ammonia beccarii parkinsoniana* primavera), Abp_v (*Ammonia beccarii parkinsoniana* verano), Abp_o (*Ammonia beccarii parkinsoniana* otoño) y Abp_i (*Ammonia beccarii parkinsoniana* invierno). Los mapas a la derecha muestran las corrientes superficiales según Palacios *et al.*, 2003.

Rosalina sp1 presenta mayor abundancia en otoño con un 37%, particularmente en las estaciones del norte, cercanas a la boca del Río Colorado y a la costa. La estación del año con menor abundancia es primavera en el transecto III y IV (17%). Las estaciones E4 y E13 las cuales se encuentran en los extremos del área de estudio y alejadas de la línea de costa, muestran una distribución muy similar (Fig. 4).

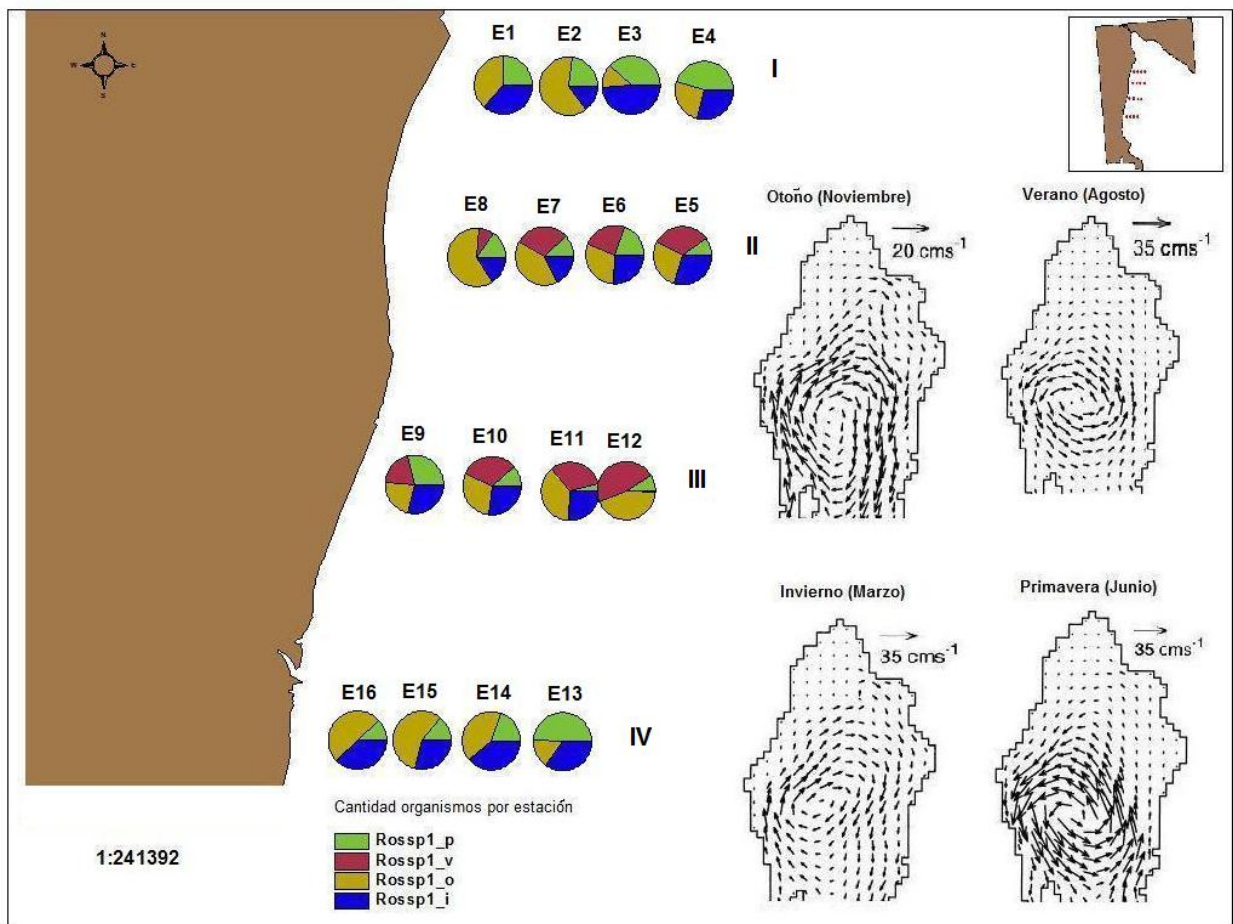


Figura 4. Abundancia de *Rosalina sp1* a lo largo del ciclo 2009-2010. Rossp1_p (*Rosalina sp1* primavera), Rossp1_v (*Rosalina sp1* verano), Rossp1_o (*Rosalina sp1* otoño) y Rossp1_i (*Rosalina sp1* invierno). Los mapas a la derecha muestran las corrientes superficiales según Palacios *et al.*, 2003.

La mayor abundancia de *Cribroelphidium excavatum* es en primavera en el norte (transecto I con 34%) y en las estaciones más cercanas a la línea de costa. No es así en la época de otoño para el transecto III con un porcentaje máximo (45%) y alejados de la costa. Tanto en otoño como en primavera a lo largo del transecto III la abundancia es casi uniforme. E4 y E13 presentan una distribución similar. Invierno reporta la menor abundancia (Fig. 5).

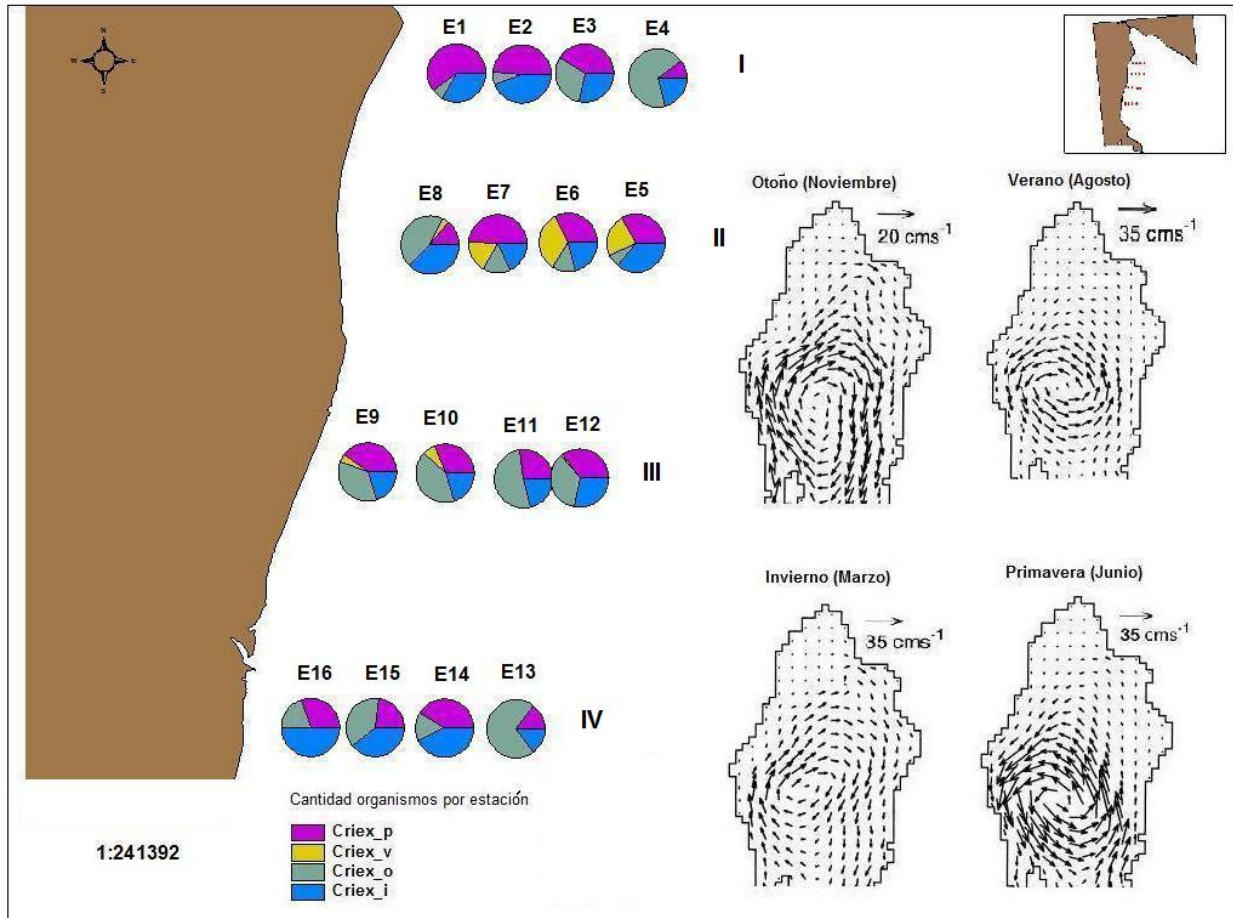


Figura 5. Abundancia de *Cribroelphidium excavatum* a lo largo del ciclo 2009-2010. Criex_p (*Cribroelphidium excavatum* primavera), Criex_v (*Cribroelphidium excavatum* verano), Criex_o (*Cribroelphidium excavatum* otoño) y Criex_i (*Cribroelphidium excavatum* invierno). Los mapas a la derecha muestran las corrientes superficiales según Palacios *et al.*, 2003.

Análisis de diversidad

En verano la E10 obtiene la diversidad (H') y equidad (J) más altas con 2.43 y 0.78 respectivamente, y una dominancia (D) muy baja (0.11). Un comportamiento contrario ocurre en E9 donde la diversidad (H') fue 1.92 y la equidad (J) de 0.64 siendo los valores más bajos, pero con la dominancia (D) más alta (0.2) en comparación con las otras estaciones (Fig. 6a).

En otoño la H' mayor esta en E3 con 2.52 presentándose de igual manera su J de 0.79, pero una D de 0.11. Para E11 tanto su H' de 1.70 como su J de 0.55 son los valores más bajos y la D más alta (0.29) (Figura 6b).

Invierno tiene la H' y J más altas en la estación E7 con valores de 2.34 y 0.84 respectivamente, por el contrario una D mínima de 0.11. E2 muestra una H' muy baja de 1.67 al igual que la J 0.60, por tal motivo su D es la más alta con un valor de 0.29 (Fig. 6c).

La estación E13 en primavera tiene el índice de diversidad de Shannon (H') más alto (2.4), así como la J (0.78); sin embargo la D fue muy baja (0.11). En contraste E11 presenta la H' más baja (1.85) al igual que su J de 0.63 pero su D fue el valor más alto de 0.25. (Fig. 6d).

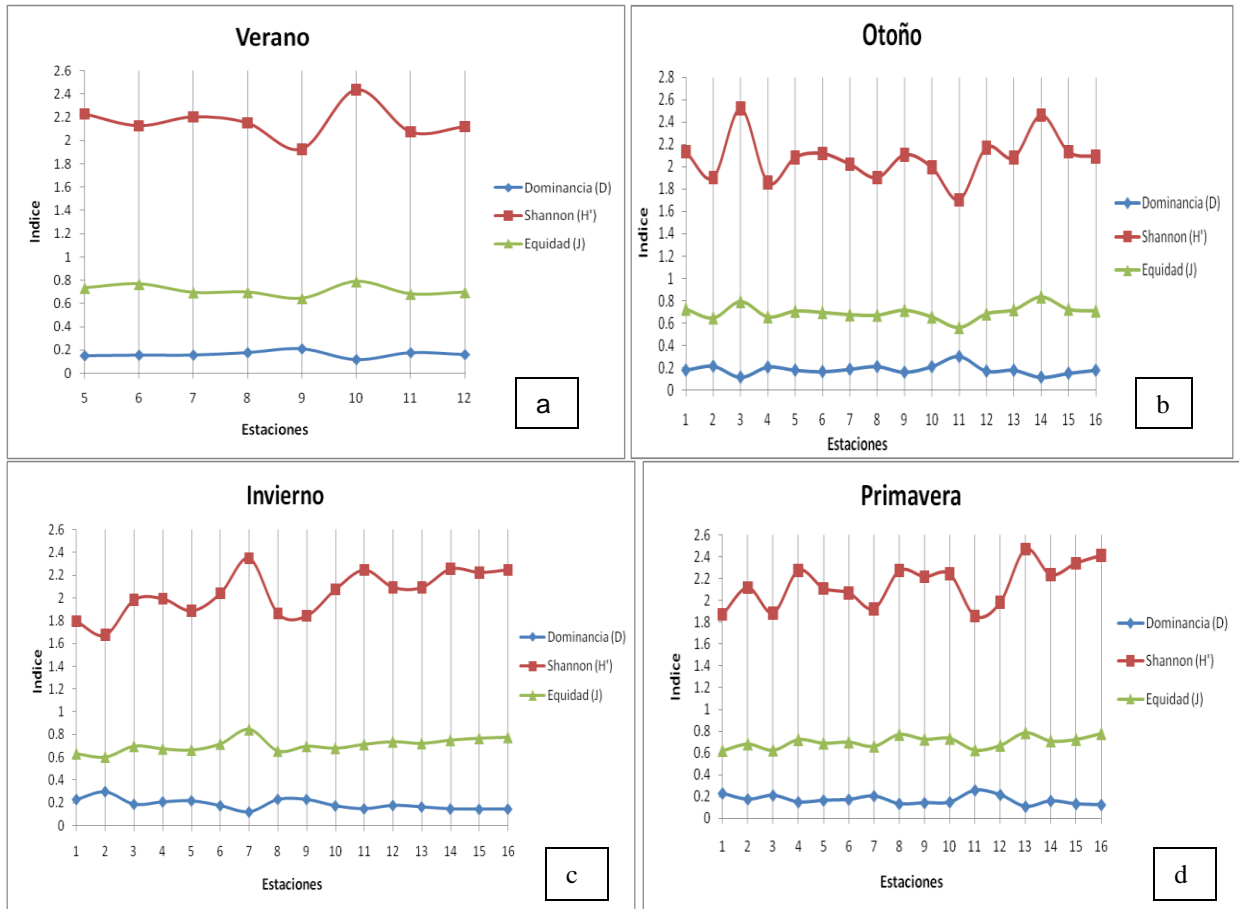


Figura 6. Índices de dominancia, diversidad y equidad para Verano (a), Otoño (b), Invierno (c) y Primavera (d).

Análisis de similitud.

El análisis de agrupamiento modo Q (Fig. 7a), muestra dos grupos principales para el índice de similitud de Jaccard, conformados por:

Primer grupo:

Transecto I (E1, E2, E3, E4) y Transecto IV (E13, E14, E15, E16)

Segundo grupo:

Transecto II (E5, E6, E7, E8) y Transecto III (E9, E10, E11, E12)

Las estaciones con mayor similitud son E15 y E16 (0.80), y las de menor similitud E3 y E4 (0.56).

Para el agrupamiento con el índice de Morisita (Fig. 7b) también hay dos grupos principales compuestos por:

Primer grupo:

Transecto I (E1, E2, E3, E4) y Transecto IV (E13, E14, E15, E16)

Segundo grupo:

Transecto II (E5, E6, E7) y Transecto III (E9, E10, E11, E12)

Las estaciones con mayor similitud son E15 y E16 (0.96), y la de menor similitud E8 (0.64).

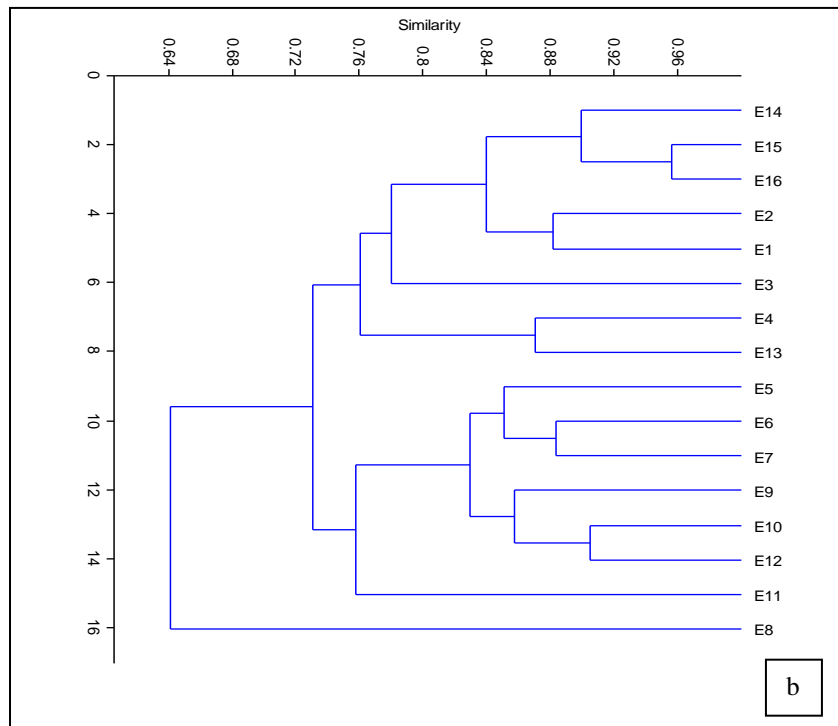
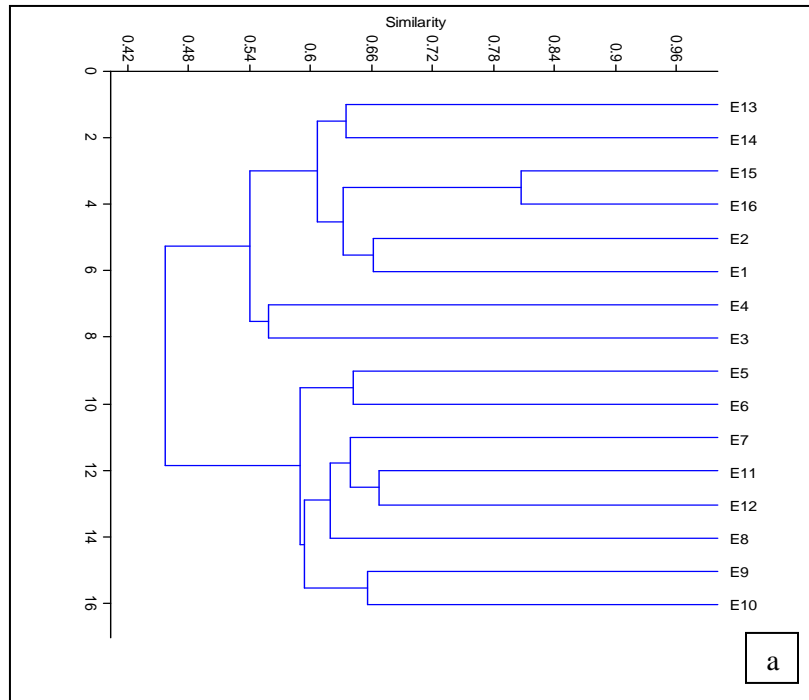


Figura 7. Dendrogramas mediante el índice de similitud Jaccard (a) e índice de similitud de Morisita (b).

Foraminíferos aglutinados

Se identificaron 5 especies de foraminíferos aglutinados, de las cuales *Ammoscalaria pseudospiralis* fue la especie con mayor abundancia relativa (53%) y *Reophax dentaliformis* la de menor abundancia (5%) (Tabla II).

Tabla II. Abundancia relativa de foraminíferos aglutinados totales encontrados durante el ciclo 2009-2010.

Especie	Total organismos	% Abundancia relativa
<i>Ammoscalaria pseudospiralis</i>	152	53
<i>Anomalinooides sp</i>	28	10
<i>Nouria sp</i>	75	26
<i>Reophax dentaliformis</i>	14	5
<i>Reophax nanus</i>	17	6
Total	286	100

En verano y otoño *Ammoscalaria pseudospiralis* es la más abundante (65% y 50%) y *Reophax dentaliformis* la menos abundante (2% y 0%, respectivamente). Para invierno y primavera *Ammoscalaria pseudospiralis* la más abundante (76% y 41%) y *Reophax nanus* la menos abundante (0% y 6%) (Tabla III).

Tabla III. Abundancia relativa de foraminíferos aglutinados por estación encontrados durante el ciclo 2009-2010.

Especie	%Verano	%Otoño	%Invierno	% Primavera
<i>Ammoscalaria pseudospiralis</i>	65	50	76	41
<i>Anomalinooides sp</i>	5	10	16	9
<i>Nouria sp</i>	7	38	2	36
<i>Reophax dentaliformis</i>	2	0	6	8
<i>Reophax nanus</i>	21	1	0	6
Total	100	100	100	100

En verano los foraminíferos aglutinados se encuentran en todas las estaciones. La mayor diversidad de foraminíferos aglutinados (*Ammoscalaria pseudospiralis*, *Anomalinoidea sp.*, *Nouria sp.* y *Reophax nanus*) aparece en las estaciones de la 7 a la 10, cercanas a la línea de costa. *Ammoscalaria pseudospiralis* es la más abundante (40%) en la estación 10 (Fig. 8a).

En otoño *Ammoscalaria pseudospiralis* aparece en siete estaciones (3, 6, 9, 11, 12, 13 y 14) con la mayor abundancia en la estación 13 (28%). *Nouria sp.* apareció en cuatro estaciones (3, 6, 13 y 14), con un máximo del 19% en la estación 3. La mayor abundancia de especies se localiza en las estaciones del sur, desde la 9 a la 13 (Fig. 8b).

Ammoscalaria pseudospiralis ocurre en invierno en las estaciones del norte (2, 3 y 4) con una máxima de 8%, así como en las estaciones del sur (9, 10, 11, 12, 13 y 14) con máxima de 20%. Las estaciones con mayor abundancia de especies son las del sur, desde 9 a 14 (Fig. 8c).

En primavera *Ammoscalaria pseudospiralis* concentra su abundancia en tres estaciones del norte (5, 6 y 7) y en cuatro del sur (12, 13, 15 y 16) con un máximo de 16%. *Nouria sp.* obtiene la mayor abundancia en las estaciones del sur (10 a 16), fluctuando del 2% al 15%. Estaciones de la 9 a la 16 obtienen la mayor abundancia de las 5 especies (Fig. 8d).

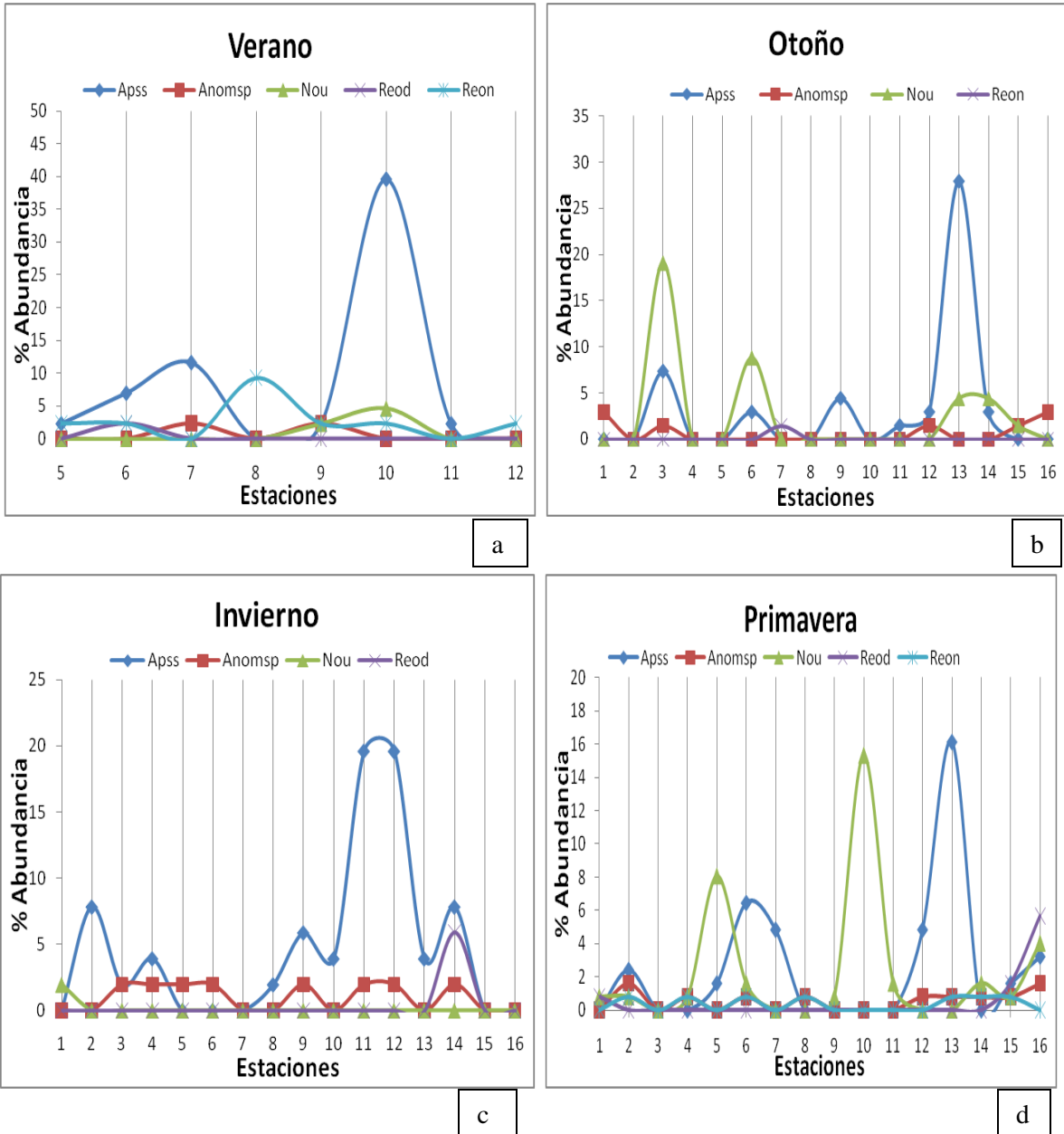


Figura 8. Porcentaje de abundancia de foraminíferos aglutinados bentónicos. Verano (a), Otoño (b), Invierno (c) y Primavera (d). *Ammoscalaria pseudospiralis* (Aps), *Anomalinoidea sp.* (Anomsp), *Nouria sp.* (Nou), *Reophax dentaliformis* (Reod) y *Reophax nanus* (Reon).

Discusiones

Ammonia beccarri parkinsoniana y *Criboelphidium excavatum* fueron las especies más abundantes de la tanatocenosis en toda el área deltaica, lo cual es de esperar por ser ambas cosmopolitas y euritópicas, ya que son capaces de soportar un rango amplio de condiciones fisicoquímicas en ambientes costeros desde la zona intermareal hasta unos 70 m de profundidad. Ambas pueden desarrollarse desde aguas salobres hasta hipersalinas, tanto en los trópicos como en las regiones templadas (Phleger y Parker, 1951; Murray, 1991). La tercer especie más abundante, *Rosalina* sp, habita predominantemente en ambientes estuarinos, pero también se encuentra en sustratos rocosos, arrecifes someros, raíces, troncos de mangles y praderas de algas (Sellier, 1977). Por tanto, estas especies dominantes, si bien son compatibles con el ambiente deltaico estuarino del pasado, también cabe esperar su presencia en el actual y no permiten caracterizar por su presencia cambios ambientales.

Tanto *Ammonia beccarri parkinsoniana* como de *Rosalina* sp1, mostraron cambios en abundancia a lo largo del año para una misma estación, y en general para toda el área deltaica. Los máximos de abundancia fueron principalmente en otoño para ambas especies, sin embargo, mientras la primera se concentró en el sur y lejos de la línea de costa, la otra tuvo un comportamiento inverso (Figs. 3 y 4). Similarmente, otra de las especies comunes, *Criboelphidium excavatum*, fue muy abundante en primavera, sin embargo presentó la misma distribución que *Rosalina* sp1. Todos estos casos sugieren que la distribución de las tanatocenosis aparentemente está gobernada por procesos físicos más que por interacciones biológicas. Por ejemplo, en las especies más abundantes (*Ammonia beccarri parkinsoniana*, *Rosalina* sp1 y *Criboelphidium excavatum*) la distribución de tanatocenosis fue muy similar en las estaciones E4 y E13, las cuales se encuentran en los extremos de la zona deltaica (N y S), así como alejadas de la costa y presentan una gran similitud tanto por presencia-ausencia como por abundancia, como se

muestra en los dendrogramas de similitud (Figs. 7a y 7b). Esta distribución podría ser causada por las corrientes de gravedad formadas en la zona por el gradiente de presión que siguen una trayectoria desde la cuenca del estuario del Río Colorado hasta la cuenca Wagner (Lavín *et al.*, 1999), así como la inversión en el patrón de circulación ciclónico de primavera-verano a anticiclónico en otoño-invierno (Figs. 2, 3, 4 y 5), las cuales generan corrientes con velocidades de hasta 35 cm/s (Palacios *et al.*, 2003).

Por otro lado, el efecto combinado de la acción del oleaje con las grandes amplitudes de marea dentro de la cuenca del estuario, son responsables de la erosión y resuspensión de los sedimentos de fondo. Por este proceso la mayoría de los sedimentos son retrabajados y permanecen suspendidos en el interior del estuario hasta que son expulsadas del sistema durante el reflujó de marea (Zamora, 1993; Carriquiry *et al.*, 1999). Por lo tanto, y dado que los foraminíferos forman parte del sedimento y están sujetos a transporte, es de esperar que la distribución y características estructurales de las tanatocenosis sean influidas por factores físicos, y por ello, los valores obtenidos de los parámetros ecológicos se encuentran sesgados.

Así tenemos que en otoño e invierno los valores más altos de diversidad y equidad se reportaron en las estaciones del norte (E3 y E7) (Figura 6b y 6c), sin embargo dichos datos son puntuales, ya que en general las estaciones del sur (E9 a E16) mostraron valores más altos de dichos índices a lo largo del ciclo 2009-2010 (Figs. 6a a 6d). Esto puede explicarse por ser el área de mayor estabilidad ambiental, y por tanto, donde cabe esperar una mayor diversidad (Sanders, 1968). La dominancia fue muy similar para todas las estaciones, lo cual se puede explicar por la gran abundancia de *Ammonia beccarri parkinsoniana* en toda el área deltaica.

En las aguas dulces, el pH más ácido y poca disponibilidad de Ca inhibe la calcificación, por lo cual los únicos foraminíferos que pueden colonizar las zonas netamente fluviales son los aglutinados, mientras que en aguas marinas, mas alcalinas, dominan los foraminíferos calcáreos (Bernal *et al.*, 2008). Los foraminíferos aglutinados ocurrieron en todas las estaciones de muestreo y a lo largo del ciclo 2009 – 2010. Sin embargo, fueron más abundantes en las estaciones del sur (Figura 8a a 8d), lo cual concuerda con el limite suroeste del delta, aproximadamente en “Campo Don Abel”. Dado que estos foraminíferos tienen un potencial de conservación bajo debido a que los granos de arena de sus testas son cementados con material orgánico, se encuentren mejor preservados en la zona sur, muy posiblemente porque fueron transportados por las corrientes generadas por el oleaje, la marea y el viento, como lo sugiere Huerta (2007) para la misma área. Es de notar que Barbieri (1996) no encontró foraminíferos aglutinados en la zona intermareal al norte del delta, la zona más activa tafonómicamente y donde las probabilidades de conservación son más bajas, por lo que la presencia de aglutinados en todas las estaciones submareales sugiere que los procesos de transporte originan una mezcla de distintas generaciones en escalas de tiempo variable denominada promediado en el tiempo (Martin, *et al.*, 1995). Por tanto, el promediado en el tiempo explica que los aglutinados muertos recientemente estén presentes en las tanatocenosis, mas no proporcionan en conjunto con el resto de la comunidad de foraminíferos, un reflejo exacto de la estructura de la comunidad por estar las proporciones sesgadas tafonómicamente por retrabajamiento y transporte.

Conclusiones

Los foraminíferos bentónicos más abundantes en las tanatocenosis del área deltaica fueron *Ammonia beccarii parkinsoniana*, *Criboelphidium excavatum* y *Rosalina sp*, especies comunes en zonas estuarinas y que por tanto reflejan la extensión del antiguo estuario.

Otoño y primavera fueron las estaciones del año con mayor abundancia en toda el área deltaica.

Los foraminíferos aglutinados fueron más abundantes hacia el sur del delta, probablemente por estar sujetos a procesos tafonómicos menos severos que en el norte del delta, donde las condiciones físicas más rigurosas disminuyen su potencial de conservación.

No se pudo identificar un gradiente claro en la distribución de las tanatocenosis de foraminíferos que pueda ser atribuido a procesos biológicos, debido a que los procesos de mezcla por el intenso retrabajamiento de los sedimentos deltaicos ocasionan un promediado temporal de magnitud aún desconocida.

Debido al promediado temporal, la estructura espacial y temporal de las comunidades de las tanatocenosis de foraminíferos bentónicos se encuentra sesgada, por lo que no muestran patrones claros atribuibles a interacciones biológicas.

En general la diversidad tiende a ser mayor al sur del delta, donde la estabilidad ambiental es mayor.

La uniforme distribución de la equidad probablemente sea consecuencia de una homogenización por los procesos de transporte y retrabajamiento de los sedimentos.

Bibliografía

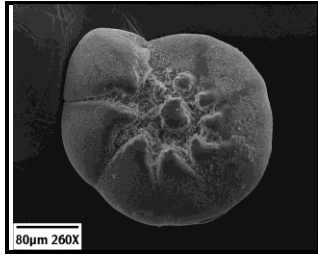
- Aller, R. C., 1982. Carbonate dissolution in nearshore terrigenous muds: the role of physical and biological reworking: *Journal of Geology*. v. 90. p. 79-95.
- Alvarez, L.G. y Jones, S. E., 2004. Short-term observations of suspended particulate matter in a macro-tidal inverse estuary: The upper gulf of California. *Journal of coastal research*. v 20. p. 645-654.
- Alve, E., and Murray, J. W., 1994. Ecology and taphonomy of benthic foraminifera in a temperate mesotidal inlet: *Journal of Foraminiferal Research*. v. 24. p. 18-27.
- Baba, J., Peterson, C.D. and Schrader, H.J., 1991 Fine-grained terrigenous sediment supply and dispersal in Gulf of California during the last century. Pages 589-602 in Dauphin, J.P. and Simoneit, B.R.T. (eds) *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*. The American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47, Tulsa, Oklahoma.
- Barbieri, R., 1996. Syndepositional taphonomic bias in foraminifera from fossil intertidal deposits, Colorado delta (Baja California, México). *Journal of foraminiferal research*. v.26. p. 331-341.
- Barmawidjaja D, Jorissen F., Puskaric, S. & Vander, G., 1992. Microhabitat selection by benthic foraminifera in the Northern Adriatic Sea. *Journal of Foraminiferal Research* 22: 297-317.
- Bernhard J., 1992. Benthic foraminiferal distribution and biomass related to pore water oxygen: Central California Continental slope and rise. *Deep Sea Research* 39: 586-605.

- Buzas M. & S.J. Culver., 1991. Species diversity and dispersal of benthic Foraminifera. *BioScience* 41: 483-489.
- Carbajal, N. Sousa, A. Y Durazo, R., 1997. A numerical model of the ex-ROFI of the Colorado River. *Journal of Marine Systems*, 12: 17-33.
- Carriguiry, J. D., Sánchez, A., 1999. Sedimentation in the Colorado River delta and Upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss: *Marine Geology*, 158, 125–145.
- Culver S. 1993. Fossil prokaryotes and protist, 342 p. Black Well Scientific Publications.
- Debenay J, Pawloski, J. & Decrouez, D., 1996. Les foraminifères actuels, 329 p. Editorial Masson, Paris.
- Goldstein, S.T., 1988. Foraminifera of relict salt marsh deposits, St. Catherines Island, Georgia: taphonomic implications: *PALAIOS*. v. 3. p.327-334.
- Goldstein, S.T., and Harben, E.B., 1993. Taphofacies implications of infaunal foraminiferal assemblages in Georgia salt marsh, Sapelo island: *Micropaleontology*.v .39.p.53-62.
- Huerta-Tamayo, L., 2007. Biocenosis y tanatocenosis de foraminíferos bentónicos como indicadores de cambios ambientales en el delta del Río Colorado. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C., Ensenada Baja California. Tesis de maestría. pp. 76.
- Jonasson, K. E. , and Patterson, R. T., 1992. Preservation potential of salt marsh foraminifera from the Fraser river delta, British Columbia: *Micropaleontology*. v .38. p. 289-301.

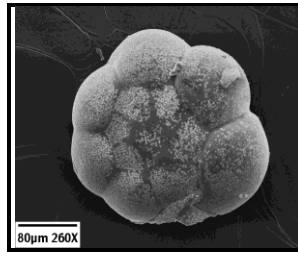
- Kowalewsky, M., Avila Serrano, G., Flessa, K.W., y Goodfriend, G.A., 2000. Dead delta's former productivity: two trillion shells at the mouth of the Colorado River. *Geology*, 28: 1059-1062.
- Lavin, M. F. and S. Organista, 1988. Surface heat flux in the Northern gulf of California . *Journal Geophysics Research*. v.93.p.14 033-14038.
- Lavín, M.F. y Sánchez, S., 1998. On how the Colorado River affected the hydrography of the Upper Gulf of California. *Continental Shelf Research*, 19: 1545-1560.
- Linke P & Lutze, G., 1993. Microhabitat preferences of benthic foraminifera - a static concept or a dynamic adaptation to optimize food acquisition?. *Marine Micropaleontology* 20: 131-243.
- Miranda-Reyes, F.; Reyes-Coca, S., y García-López, J., 1990. Climatología de la región noroeste de México, Parte I: Precipitación. Ensenada, México: CICESE, Reporte Técnico EBA No.3, 160pp.
- Murray, J.W., 1984. Benthic foraminifera: some relationships between ecological observations and paleoecological interpretations, in Barbieri, R., 1996. Syndepositional taphonomic bias in foraminifera from fossil intertidal deposits, Colorado delta (Baja California, México). *Journal of foraminiferal research*.v.26. p. 331-341.
- Murray, J.W., 1989. Syndepositional dissolution of calcareous foraminifera in modern shallow-water sediments: *Marine micropaleontologia*. v.15.p. 117-121.
- Palacios-Hernandez, E.; Beier, E.; Lavin, M.F. y Ripa, P., 2002. The effect of the seasonal variation of stratification on the circulation of the northern gulf of California. *Journal of physical oceanography*.v. 32. p.705-728.

- Phleger , F.B. y Lankford, R.R., 1957. Seasonal occurrences of living benthonic foraminifera in some Texas bays. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Contributions, 8:93-105.
- Phleger, F.B., 1964. Patterns of living benthonic foraminifera. Marine Geology of the Gulf of California, A Symposium. Am. Assoc. Petr. Geol. Mem. 3, 377-394.
- Thomas, W.H. y Simmons, E.G., 1960. Phytoplankton production in the Mississippi delta. En: Recent sediments, northwest Gulf of Mexico. Am. Ass. Petr. Geologists Memoir: 103-116.
- Thompson, R.W., 1968. Tidal flat sedimentation on the Colorado River Delta, northwestern Gulf of California. Geol. Soc. Amer. Mem. 107, 133 pp.
- Van Andel, T.H. , 1964. Recent marine sediments of the Gulf of California. Marine Geology of the Gulf of California: A Symposium. Am. Assoc. Petr. Geol. Mem. 3, 277-394.
- Sanders, H., 1968. Marine Benthic Diversity: A Comparative Study. The American Naturalist 102(925): 243-283.
- Sellier,C.,1977. Foraminíferos indicadores de comunidades bentónicas recientes en Venezuela.<http://bibliotecadigital.udo.edu.ve/boletinoceanografico/documentos/Resumenes.pdf>.
- Zamora-Casas, C., 1993. Comportamiento del seston en la desembocadura del Río Colorado, Sonora-Baja California. Ensenada, México: Universidad Autónoma de Baja California. Tesis. 73pp.

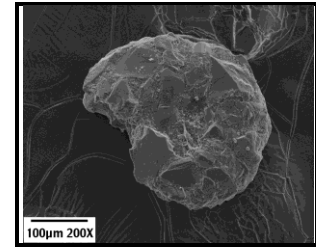
ANEXOS



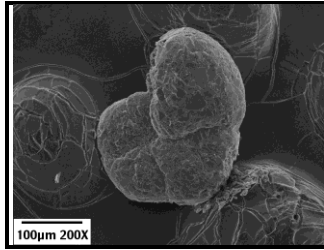
(1)



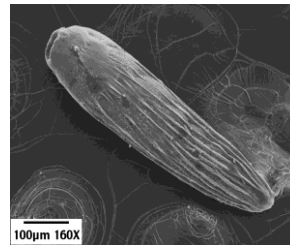
(2).



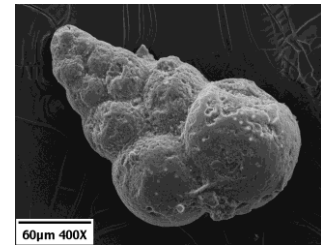
(3)



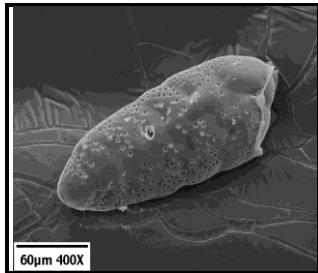
(4).



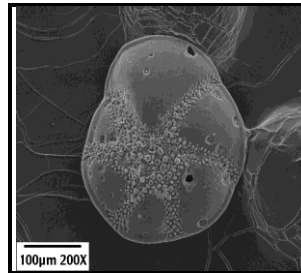
(5)



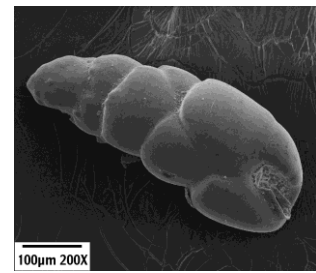
(6).



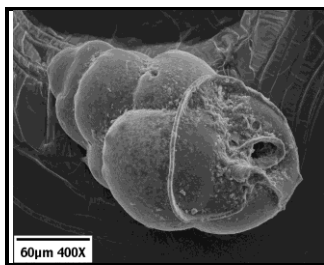
(7)



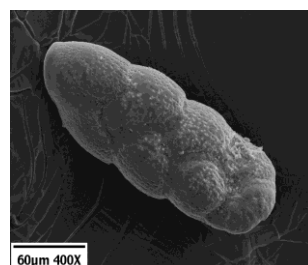
(8)



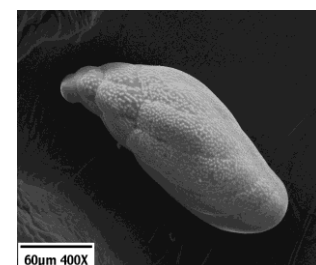
(9)



(10)

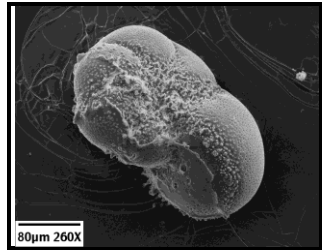


(11)

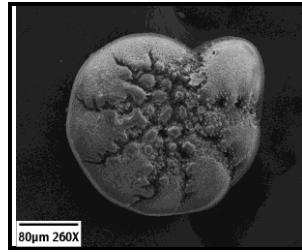


(12)

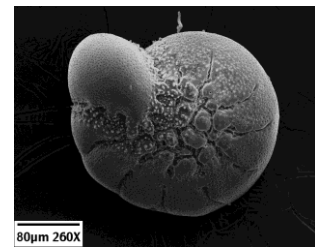
Anexo I. *Ammonia beccarii parkinsoniana* (1), *Ammonia sp* (2), *Ammoscalaria pseudospiralis* (3), *Anomalinoidea sp* (4), *Bolivina acutula* (5), *Bolivina sp1* (6), *Bolivina sp3* (7), *Bucella tenerrima* (8), *Bulimina denudata* (9), *Bulimina marginata* (10), *Bulimina colombiana* (11), *Buliminella elegantissima* (12).



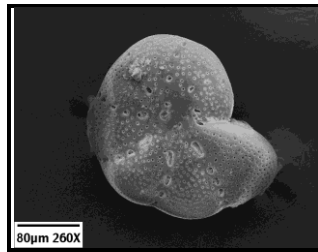
(13)



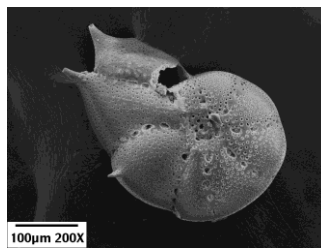
(14)



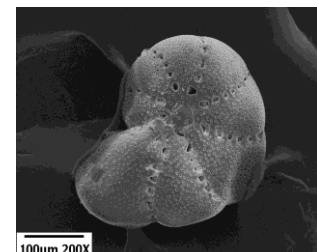
(15)



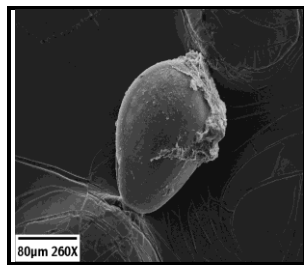
(16)



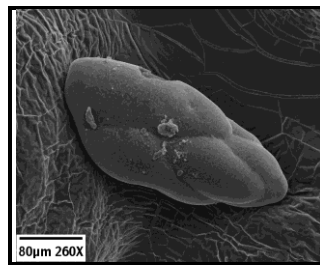
(17)



(18)



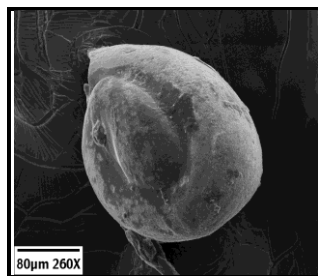
(19)



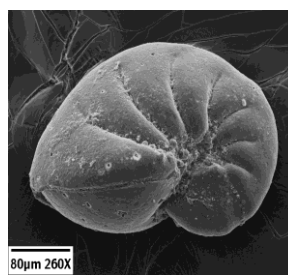
(20)



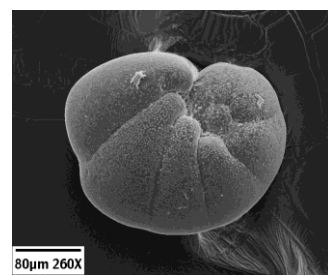
(21)



(22)

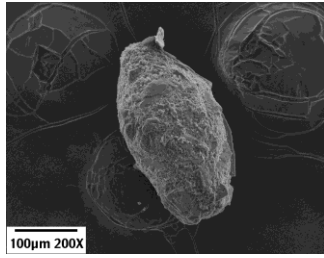


(23)

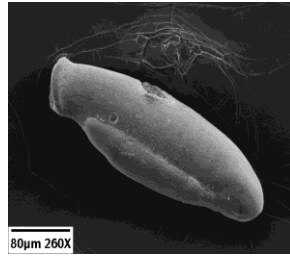


(24)

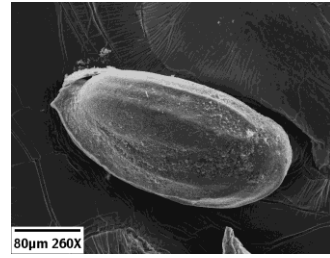
Anexo II. *Cancris* sp (13), *Cribroelphidium excavatum* (14), *Cribroelphidium gunteri* (15), *Cribroelphidium poeyanum* (16), *Cribroelphidium spinatum* (17), *Cribroelphidium spinatum* var. *Translucens* (18), *Fissurina* sp. (19), *Fursenkoina pontoni* (20), *Maselina* sp (21).



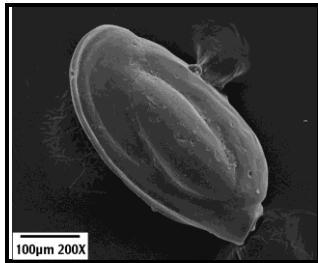
(25)



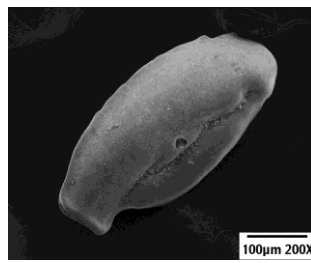
(26)



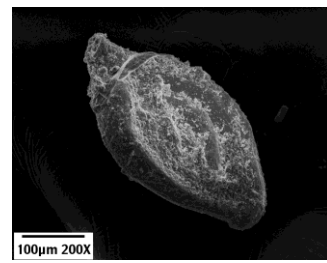
(27)



(28)



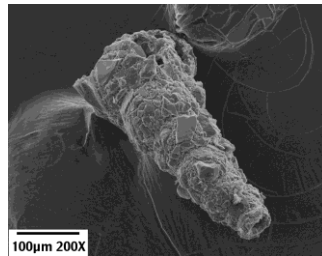
(29)



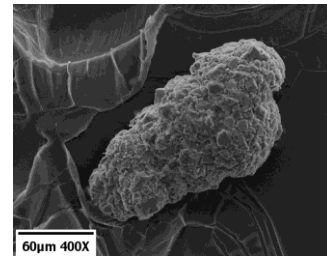
(30)



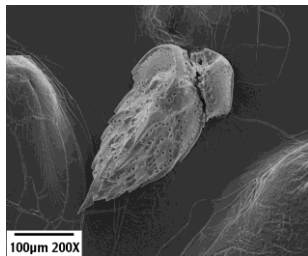
(31)



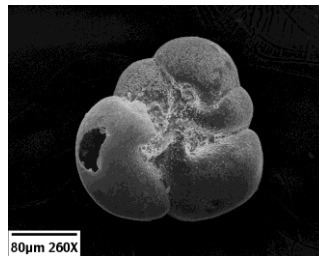
(32)



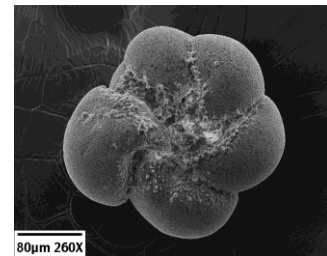
(33)



(34)



(35)



(36)

Anexo III. *Nouria* sp (25), *Quinqueloculina exsculpta* (26), *Quinqueloculina poeyana* (27), *Quinqueloculina* sp 1 (28), *Quinqueloculina* sp 2 (29), *Quinqueloculina* sp 3 (30), *Quinqueloculina* sp 4 (31), *Reophax dentaliformis* (32), *Reophax nanus* (33), *Reusella* sp (34), *Rosalina colombiensis* (35), *Rosalina* sp1 (36).

Anexo IV. Clasificación taxonómica de foraminíferos bentónicos submareales en el delta del

ORDEN	SUPERFAMILIA	FAMILIA	GENERO	ESPECIE
Rotaliida Delage & Herouard, 1896	Rotaliacea Ehrenberg 1839	Rotaliidae Ehrenberg 1839	<i>Ammonia</i>	<i>-beccarii</i> <i>parkinsoniana</i>
		Elphidiidae Galloway, 1933	<i>Criboelphidium</i>	<i>-excavatum</i> <i>-gunteri</i> <i>-incertum</i> <i>-poeyanum</i> <i>-spinatum</i> <i>-spinatum var.</i> <i>Translucens</i>
	Chilostomellacea Brady, 1881	Heterolepidae Gonzalez-Donoso, 1969	<i>Anomalinoidea</i>	
		Trichohyalidae Saidova, 1981	<i>Buccella</i>	<i>-tenerrima</i>
	Bolivinacea Glaessner, 1937	Bolivinitidae Cushman, 1927	<i>Bolivina</i>	<i>-acutula</i>
	Buliminacea Jones, 1875	Buliminidae Jones, 1875	<i>Bulimina</i>	<i>-colombianaensis</i> <i>-denudata</i> <i>-marginata</i>
	Rosalinacea Reiss, 1963	Bagginidae Cushman, 1927	<i>Cancris</i>	
	Nonionacea Schultze, 1854	Nonionidae Schultze, 1854	<i>Nonionella</i>	<i>-basispinata</i> <i>-stella</i>
Rotaliacea Ehrenberg, 1839	Discorbidae Ehrenberg, 1838	<i>Rosalina</i>	<i>-colombianaensis</i>	

Continuación de Anexo IV

ORDEN	SUPERFAMILIA	FAMILIA	GENERO	ESPECIE
Foraminiferida Delage & Herouard, 1896	Buliminacea Jones, 1875	Lituolidae Blainville, 1827	Ammoscalaria	-pseudospiralis
		Buliminidae Jones, 1875	Bulimina	-colombiaensis -denudata -marginata
	Cassidulinacea D'orbigny, 1839	Caucasinidae	Fursenkoina	-pontoni
		Miliolidae	Quinqueloculina	-exsculpa -poeyana
Miliolida Delage & Herouard, 1896		Nouriidae	Nouria	
		Hauerinidae	Miliolinella	
Lagenida Delage & Herouard, 1896		Schwager, 1876		
		Lagenidae Reuss, 1862	Fissurina	
Textulariida Delage & Herouard, 1896		Polymorphinidae D'orbigny, 1839	Polymorphina	
		Hormosinidae Haeckel, 1894	Reophax	-dentaliformis -nanus