

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**BIOCENOSIS Y TANATOCENOSIS DE FORAMINÍFEROS
BENTÓNICOS COMO INDICADORES DE CAMBIOS
AMBIENTALES EN EL DELTA DEL RÍO COLORADO**

TESIS QUE PRESENTA

LAURA HUERTA TAMAYO

**PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA
OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. JUNIO, 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

BIOCENOSIS Y TANATOCENOSIS DE FORAMINÍFEROS
BENTÓNICOS COMO INDICADORES DE CAMBIOS
AMBIENTALES EN EL DELTA DEL RÍO COLORADO

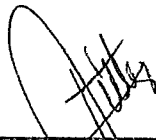
TESIS QUE PRESENTA

LAURA HUERTA TAMAYO

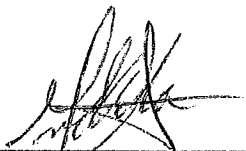
PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA
OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

Aprobada por:



Dr. Miguel A. Téllez Duarte
Presidente del jurado



Dr. Guillermo E. Avila Serrano
Sinodal



Dr. Javier Helenes Escamilla
Sinodal

*A Tito, Ernesto, Laura Gabriela y Felipe por su
amor y apoyo incondicional. Muchas gracias,
los quiero mucho.*

Agradecimientos

A mi director de tesis Dr. Miguel Téllez Duarte por su apoyo, amistad y paciencia durante la realización de mi tesis.

A mis sinodales Dr. Javier Helenes Escamilla y Dr. Guillermo E. Ávila Serrano por sus invaluable consejos y comentarios sobre mi tesis.

Al Dr. Modesto Ortiz Figueroa por su paciencia, disponibilidad de tiempo y por su gran apoyo durante la realización de mi tesis.

Al Dr. Luis Walter Dásele Heuser del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC, por facilitar el uso del contador láser de partículas.

A Luis Carlos Gradilla Martínez por su apoyo para la obtención de las fotografías de foraminíferos bentónicos con el microscopio electrónico de barrido manejado por el Departamento de Geología del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C.

A Itzel Ruvalcaba Baroni, Iyari J. Espinoza Rodríguez y Li Kian León Castro Espinosa Rodríguez, por su amistad y apoyo en laboratorio.

A todos mis amigos y compañeros de maestría: Mónica, Juan, Amayaly, Mariela, Rafael, Ana Luisa, Karel, Alejandro, Ana, Diego Perelló, Jorge, Jaime, Diego Casas, Nirari, Diego Raciél, Salvador, Jose Luis, Elizabeth, por los momentos que compartimos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de mi maestría.

A la Facultad de Ciencias Marinas de la UABC, mi alma máter, por brindarme la oportunidad de continuar mis estudios.

Resumen

En este trabajo se analiza la estructura espacial y estacional de la abundancia relativa de la biocenosis y de la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en la costa occidental del Alto Golfo de California en la región del Delta del Río Colorado. También se analizan las razones isotópicas $\delta^{18}\text{O}$ de las testas de estos foraminíferos y su relación con las variaciones de temperatura y con la influencia de agua dulce del Río Colorado. La estructura espacial de la abundancia relativa tanto de la biocenosis como de la tanatocenosis permitió identificar dos medios ambientes sedimentarios en el área de estudio, los cuales coinciden con los dos ambientes identificados mediante el análisis granulométrico de las muestras superficiales de sedimento. Los resultados de este trabajo indican que los foraminíferos bentónicos estudiados son más sensibles al tipo de sustrato que a la variación de los parámetros fisicoquímicos del agua en la zona.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	1
1.1 Objetivos.....	5
1.1.1 Generales.....	5
1.1.2 Particulares.....	5
1.2. Descripción del área de estudio.....	5
2. Metodología de campo y laboratorio.....	8
3. Resultados y Discusiones.....	11
3.1 Sedimentología.....	11
3.2 Abundancia Relativa total de foraminíferos.....	18
3.3 Biocenosis.....	27
3.3.1 Biocenosis – variabilidad espacial y estacional.....	27
3.3.2 Biocenosis – promedio anual.....	33
3.4 Tanatocenosis.....	37
3.4.1 Tanatocenosis – variabilidad espacial y estacional.....	40
3.4.2 Tanatocenosis – promedio anual.....	51
3.5 Análisis de Isótopos $\delta^{18}\text{O}$	56
4. Conclusiones.....	60
5. Bibliografía.....	62
6. Anexos.....	66

ÍNDICE DE TABLAS Y LÁMINAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de los foraminíferos bentónicos encontrados en la costa oeste del Delta del Río Colorado en los ambientes intermareales y submareal superior.	19
Tabla 2. Abundancia Relativa (AR) de la población total de foraminíferos bentónicos encontrados en el área de estudio durante las cuatro estaciones del año. El número asignado a cada especie se empleara en lo sucesivo para referirse a esa especie en el presente estudio. El área sombreada corresponde a las especies que se encontraron tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis.	22
Tabla 3. Abundancia relativa estacional de la biocenosis y tanatocenosis de la población total de foraminíferos bentónicos encontrados en el área de estudio.	27
Tablas 4 a 7. Coeficientes de correlación de la estructura espacial de la tanatocenosis con las correspondientes dos primeras componentes principales en primavera, verano, otoño e invierno.	50
Tabla 8. Coeficientes de correlación de la estructura espacial del promedio anual de tanatocenosis con la primera y con la segunda componentes principales correspondientes.	55
Tabla 9. Desfogues al Río Colorado por el Canal Barrote	59
Lamina 1. <i>Ammonia becarri parkinsoniana</i> (1a dorsal x160 ; 1b ventral x160); <i>Ammonia becarri tepida</i> (2a dorsal x160; 2b ventral x160); <i>Criboelphidium excavatum lidoense</i> (3a dorsal x160; 3b x160, 3c ventral x360 ; 3d abertura x220); <i>Buccella tenerrima</i> (4a dorsal x200; 4b ventral x200); <i>Criboelphidium translucens</i> 5a x200, 5b x130, 5c x300; <i>Criboelphidium gunteri</i> (7a dorsal x260; 7b abertura x300); <i>Criboelphidium incertum</i> (9a dorsal x160). Los números de las fotografías corresponden al número de especie que se indica en la Tabla 2.	23
Lamina 2. <i>Criboelphidium incertum</i> (9b ventral x150; 9c abertura x220); <i>Haplophragmoides canariensis mexicana</i> (10a x130, 10b x180, 10c x240); <i>Criboelphidium poeyanum spinatum</i> (11a ventral x130; 11b abertura x180); <i>Quinqueloculina poeyana</i> (12 x110); <i>Nonionella basispinata</i> (13a dorsal x160, 13b ventral x220); <i>Criboelphidium spinatum var. translucen</i> (14a dorsal x160; 14b abertura x200); <i>Quinqueloculina laevigata</i> (15 a x300 15b x320). Los números de las fotografías corresponden al número de especie que se indica en la Tabla 2.	24
Lamina 3. <i>Epistominella obesa</i> (17 x260); <i>Eponides babsae</i> (19a dorsal x200; 19b ventral x260; 19c vertical x260); <i>Triloculina inflata</i> (21 x200); <i>Bolivina sp.</i> (22 x400); <i>Bulimina marginata</i> (23 x260); <i>Quinqueloculina poeyana</i> (25 x150); <i>Bulimina elegantissima</i> (27 x480); <i>Hanzawaia nitidula</i> (28a dorsal x300; 28b abertura x360); <i>Bulimina denudata</i> (30 x220); <i>Trochamina sp.</i> (34 a x260, 34b x260). Los números de las fotografías corresponden al número de especie que se indica en la Tabla 2.	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio. Alto Golfo de California y región del Delta del Río Colorado.	7
Figura 2. Relación de tamaño promedio de grano ($M\phi$) y desviación estándar ($\delta\phi$) en las cuatro localidades (Zacatosá, Isletas, Campo Don Abel y El Faro) en todas las estaciones del año.	13
Figura 3. Distribución del promedio estacional de la frecuencia de tamaño de grano en las cuatro localidades.	14
Figura 4. Distribución del promedio estacional de frecuencia acumulada de tamaño de grano en las cuatro localidades.	16
Figura 5. Abundancia Relativa de la biocenosis de foraminíferos bentónicos en primavera en las cuatro localidades.	29
Figura 6. Abundancia Relativa de la biocenosis de foraminíferos bentónicos en verano en las cuatro localidades.	30
Figura 7. Abundancia Relativa de la biocenosis de foraminíferos bentónicos en otoño en las cuatro localidades.	31
Figura 8. Abundancia Relativa de la biocenosis de foraminíferos bentónicos en invierno en las cuatro localidades.	32
Figura 9. Promedio anual de la Abundancia Relativa de foraminíferos bentónicos de la biocenosis en las cuatro localidades	34
Figura 10. Error probable en la abundancia relativa de un espécimen, para conteos de 100, 200 y 300 especímenes.	38
Figura 11. Error probable en la abundancia relativa de un espécimen calculado al 95% de confianza.	38
Figura 12. Abundancia Relativa de la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en primavera en las cuatro localidades.	42
Figura 13. Abundancia Relativa de la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en verano en las cuatro localidades.	43
Figura 14. Abundancia Relativa de la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en otoño en las cuatro localidades.	44

Figura 15. Abundancia Relativa de la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en invierno en las cuatro localidades.	45
Figura 16. Primera y Segunda Componentes Principales de la tanatocenosis en cada una de las estaciones del año, sin considerar a la especie dominante.	48
Figura 17. Promedio anual de la Abundancia Relativa de foraminíferos bentónicos de la tanatocenosis en las cuatro localidades.	52
Figura 18. Primera y Segunda Componentes Principales del promedio anual de tanatocenosis, excluyendo a la especie dominante.	55
Figura 19. Variación estacional de la temperatura y del contenido de isótopos $\delta^{18}\text{O}$ de la biocenosis y de la tanatocenosis de <i>Ammonia beccarii parkinsoniana</i> durante primavera (p), verano(v), otoño (o) e invierno (i), en el ambiente submareal de las cuatro localidades de muestreo.	57
Figura 20. Red de canales de distrito de riego 014 Río Colorado, Baja California y Sonora.	59

1. Introducción

Uno de los objetivos más comunes de los estudios que se han realizado acerca de foraminíferos bentónicos, tanto antiguos como fósiles, es la caracterización y/o diferenciación de medios ambientes. La metodología consiste en el análisis de la estructura de las poblaciones de las diferentes especies de foraminíferos, estimando su abundancia absoluta por unidad de área o de volumen (densidad de poblaciones) y/o midiendo la abundancia relativa de las diferentes especies (Boltovskoy et al 1976; Scott, et al., 1980; Murray, J.W., 1991; Basson y Murray, 1995, entre otros). El análisis de densidad de poblaciones permite diferenciar medios ambientes más o menos propicios para la proliferación de una o de un conjunto particular de especies. Sin embargo, esta metodología implica suponer que la densidad de poblaciones de un conjunto de especies es homogénea en espacios muestrales contiguos. En contraste, el análisis de la abundancia relativa de las diferentes especies no presupone una distribución homogénea como en el caso anterior, sino que asume que aún cuando la densidad de una población particular pudiera aumentar o disminuir en espacios muestrales contiguos, su abundancia relativa permanece constante. Una de las limitaciones de este método pudiera atribuirse a la incertidumbre en la estimación de la abundancia relativa para la totalidad de las especies encontradas en la muestra. Sin embargo, el motivo por el que esta metodología es atractiva se debe a que simplifica el trabajo de campo y de laboratorio, en el sentido de que las muestras se toman en el campo sin necesidad de considerar cuadrantes, y es posible limitar el conteo de

foraminíferos para su identificación sin necesidad de contar la totalidad de organismos en la muestra (Dryden, 1931; Chang, 1967; Patterson y Fishbein, 1989, entre otros).

La parte occidental del delta del Río Colorado, en la región del Alto Golfo de California, es una zona idónea para investigar la eficacia o la suficiencia del análisis de abundancia relativa de foraminíferos bentónicos para diferenciar medios ambientes, en particular, esta zona es un laboratorio natural en donde han ocurrido cambios ambientales dramáticos en menos de 100 años. En el extremo Norte, en las proximidades de la desembocadura del río, el medio ambiente se caracteriza por playas formadas con los antiguos depósitos de sedimento fino y limoso proveniente del Río Colorado, mientras que en el extremo Sur de esta sección de la costa, las playas se caracterizan por arenas menos finas provenientes del talud costero adyacente (Sánchez-Gonzalez, 1995). El cambio ambiental más notorio en el delta ha sido la transformación de un ambiente estuarino antiguamente sostenido por la descarga de agua dulce del Río Colorado, a un ambiente antiestuarino debido al control y a la desviación de la descarga de agua dulce impuesta por la construcción de presas en los Estados Unidos de Norte América a partir de los años 1910-1920, culminando con el corte casi total de aporte de agua dulce al delta a partir de 1970 (Alvarez-Borrego, 1983). La diferencia marcada en la composición de los sedimentos del Norte y del Sur del delta permite presuponer una diferencia significativa tanto en la estructura de la biocenosis como de la tanatocenosis de los foraminíferos bentónicos de esta región. De hecho,

Phleger (1964), observó en la desembocadura del Río una alta correlación entre la productividad, la diversidad y la abundancia de foraminíferos bentónicos, como consecuencia del aporte de nutrientes provenientes del río, atribuyendo la alta productividad a la influencia de agua dulce y a la composición limo-arcillosa de los sedimentos. También se espera que los cambios en temperatura y salinidad se reflejen en la presencia-ausencia de especies, en sus abundancias y en la composición isotópica del oxígeno en sus conchas de carbonado de calcio. En particular esto último obedece a que las razones isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$) en las conchas de los foraminíferos dependen del contenido de $\delta^{18}\text{O}$ del agua donde habitan, que a su vez depende de la temperatura y de la salinidad (Grossman y Ku, 1986). Los cambios en el $\delta^{18}\text{O}$ del agua se registran directamente en las conchas durante su crecimiento. Estudios previos en conchas de moluscos en sistemas estuarinos han mostrado que a mayor cantidad de agua dulce que entra en la zona de mezcla, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ tienden a ser más negativos, mientras que los valores positivos indican menor flujo de agua dulce (Rodríguez et al, 2001). Suponiendo una respuesta similar en el caso de los foraminíferos, es de esperarse que en el área de estudio, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ deberán ser más negativos en la tanatocenosis que en la biocenosis, debido a que en la tanatocenosis, las testas se encuentran promediadas en el tiempo (Staf *et al.*, 1986), es decir, algunas de ellas pudieron haberse depositado cuando aún existía influencia de agua dulce. Esta hipótesis del promediado en el tiempo en el área de estudio se sustenta con los estudios de: Martin et al., (1995), quienes estudiaron en Bahía La Choya, Sonora, los

foraminíferos bentónicos intermareales en la zona tafonómicamente activa, encontrando mayor abundancia a menor bioturbación. Estos foraminíferos se encontraron muy bien preservados debido a su migración hacia las capas inferiores por la actividad de bioturbadores; Barberi (1996), en el área del Delta del Río Colorado, en la costa de Baja California, quien evaluó el sesgo tafonómico sindeposicional comparando foraminíferos bentónicos de sedimentos actuales y antiguos. Las comunidades presentaron una alta similitud y observó que no existe una alteración diagenética posterior al enterramiento que modifique sustancialmente la composición faunística original.

Dado que el conocimiento que existe sobre los foraminíferos bentónicos en el área de influencia del delta del Río Colorado es escaso, y que además no se han documentado los cambios estructurales de sus comunidades, que indiquen la transformación del ambiente bentónico de estuarino a antiestuarino, el análisis de la abundancia relativa de la biocenosis y de la tanatocenosis de los foraminíferos bentónicos en esta región, puede proveernos de un marco de referencia para una mejor comprensión del estado actual del delta y de su transformación por la influencia antrópica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Generales

Determinar la estructura espacial y temporal de la abundancia relativa tanto de la biocenosis como de la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en la región occidental del Delta del Río Colorado y su relación con los diferentes medios ambientes.

1.1.2 Particulares

1. Comparar la similitud de la estructura de la abundancia relativa de la biocenosis respecto a la tanatocenosis.
2. Generar un modelo ecológico actual para evaluar la relación entre la tanatocenosis y los cambios ambientales.
3. Relacionar los cambios en la composición isotópica en las conchas de foraminíferos con las variaciones estacionales de temperatura y la posible influencia del agua dulce.

1.2 Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en la costa Oeste del Alto Golfo de California en la región del delta del Río Colorado (Figura 1), entre los 31° 15' y 31° 50' de latitud y los 114° 39' y 115° 05' de longitud. Esta región se caracteriza por sus extensas planicies de marea formadas por depósitos de sedimento provenientes del antiguo Río Colorado. Para los propósitos comparativos de este trabajo, se seleccionaron cuatro sitios que comprenden un gradiente ambiental, siendo estos: la primera estación de muestreo conocida

localmente como “Isla Zacatosa”, ubicada en el extremo norte del área de estudio y cerca de la desembocadura del Río Colorado, caracterizada por extensas planicies de marea que quedan al descubierto en esta región en donde la diferencia entre la pleamar y la bajamar alcanza hasta 6 metros de altura. Al sur de Zacatosa, aproximadamente a 20 km, se encuentra la segunda estación en las “Isletas”, un ambiente intermareal muy similar al que se observa en Zacatosa. En el límite suroeste del delta, 15 km al sur de las Isletas, la tercera estación, se encuentra “Campo Don Abel”. Al Sur de esta localidad, después de Punta San Felipe -un cerro que actúa de manera natural como una barrera que limita el flujo de sedimento de las planicies del norte hacia las playas más al sur- se encuentra la cuarta estación, El Faro, donde ya no existe influencia deltaica.

Además de las mareas, el oleaje es un factor importante en la resuspensión y transporte de sedimento en esta región de estudio. En el verano el oleaje proviene del sureste y en el invierno proviene predominantemente del noreste, asociado a los fuertes “Nortes” o vientos de invierno. Tanto la temperatura como la salinidad subsuperficial en la región de estudio presentan gradientes hacia el noroeste, siendo estos gradientes más intensos en verano que en invierno. Por ejemplo, en invierno, la temperatura y la salinidad aumentan, de 12°C y 36.5‰ en el Faro, a 13°C y 36.7‰ en Zacatosa, y en verano aumentan, de 31°C y 37‰ en el Faro, a 32°C y 38.5‰ en Zacatosa (Lavin et al., 1998).

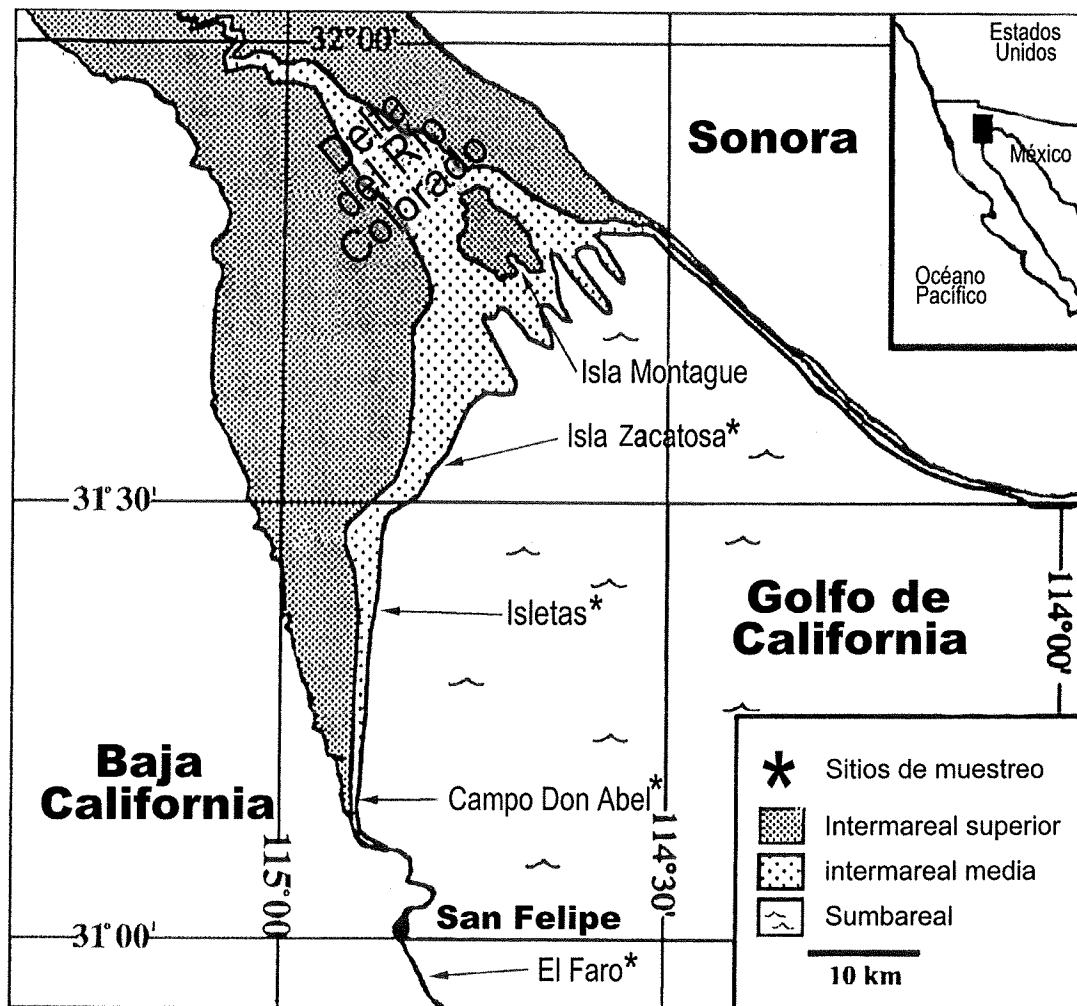


Figura 1. Área de estudio. Alto Golfo de California y región del Delta del Río Colorado. Se indican las cuatro localidades de muestreo: Isla Zacatosa, Isletas, Campo Don Abel y El Faro.

2.- Metodología de campo y laboratorio

Las muestras se obtuvieron en invierno de 2003, primavera, verano y otoño de 2004. Se tomaron muestras de sedimento superficial en las localidades de El Faro, Campo Don Abel, Isletas y Zacatosa, en los ambientes intermareal medio e intermareal inferior mediante un nucleador manual y en la zona submareal con una draga desde una embarcación. Para efectuar el análisis sedimentológico y micropaleontológico en el laboratorio, se tomaron submuestras de sedimento de aproximadamente 20 gramos cada una.

Para el análisis micropaleontológico, el sedimento se tamizó en húmedo en un tamiz con luz de malla de 4ϕ ($63 \mu\text{m}$) para eliminar arcillas y para concentrar las testas de los foraminíferos. Al sedimento húmedo se le aplicó una solución de rosa de bengala durante 24 horas para teñir el protoplasma de los organismos vivos y distinguirlos de los organismos muertos. Para facilitar la separación y el conteo de foraminíferos, el sedimento se secó a temperatura controlada de 40°C y se separó mediante tamices de 1ϕ (0.5 mm), 1.5ϕ (0.35 mm), 2ϕ (0.25 mm) y menores de 2ϕ .

El conteo de foraminíferos se realizó principalmente en el residuo del tamiz de 2ϕ hasta obtener 300 testas de cada muestra, las cuales proveen el grado suficiente de precisión requerido para este estudio (Patterson y Fishbein, 1989). Cuando no se lograban 300 testas en el tamiz de 2ϕ , el conteo se completaba en tamices menores de 2ϕ .

Después del conteo en cada una de las muestras, se separaron las testas teñidas (organismos vivos = biocenosis) y las no teñidas (organismos muertos = tanatocenosis) y se identificaron utilizando como referencias bibliográficas los trabajos de: Bandy (1961), Phleger (1963), Lewis (1970), Lankford and Phleger (1973), Kleinpell (1980), Loeblich y Tappan (1987), Devenay *et al.*, (1998). Algunos foraminíferos bentónicos se fotografiaron empleando el microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-35C manejado por el Departamento de Geología del CICESE.

La Abundancia Relativa (AR) de los foraminíferos identificados se calculó sobre el total de testas de foraminíferos contadas en cada muestra de sedimento. En el total se incluyeron testas teñidas y no teñidas.

Para el análisis sedimentológico se empleó un analizador láser marca Horiba LA-910, propiedad del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC. El instrumento permite la identificación de partículas en un rango de 0.02 μm a 1000 μm de diámetro y automáticamente calcula la abundancia relativa del tamaño de grano en intervalos de 0.5 ϕ .

Se calcularon los índices de diversidad (H') y de equidad (E) de Shannon-Wiener (Brower J., *et al* 1979) de la biocenosis y tanatocenosis en cada una de las localidades y estaciones del año. Estos índices se calculan con las siguientes fórmulas:

$$H' = \sum_{i=1}^N p_i \ln(p_i) \quad ; \quad E = H'/H_{\max},$$

donde p_i es la abundancia relativa de cada especie, N es el número de especies en cada muestra, y H_{\max} es la diversidad máxima de la muestra, calculada como:

$$H_{\max} = \ln(N)$$

Para el análisis de isótopos $\delta^{18}\text{O}$ de las testas de los foraminíferos, se seleccionó la especie más abundante de la biocenosis y tanatocenosis en el ambiente submareal de cada localidad de muestreo en cada estación del año. De cada muestra se separaron 15 foraminíferos y se colocaron en viales. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Isótopos de la Universidad de Arizona en Tucson, E.U.A.

3 Resultados y discusiones

3.1 Sedimentología

Los ambientes sedimentarios en las localidades de muestreo se caracterizaron mediante el análisis granulométrico de las correspondientes muestras superficiales de sedimento. Los parámetros texturales (Anexos I y II) se mantuvieron relativamente estables a lo largo del año. En general, se observa que el tamaño de grano es más fino en Zacatosa y en las Isletas que en Campo Don Abel y El Faro. El tamaño promedio del sedimento ($M\phi$) en Zacatosa varía de 4ϕ a 6ϕ y en las Isletas de 3ϕ a 4ϕ , mientras que en Campo Don Abel y El Faro varía de 1.7ϕ a 2.8 . Cabe mencionar que tanto en Campo Don Abel como en El Faro se encontró sedimento muy fino en algunas de las muestras, con tamaño promedio del sedimento de 7ϕ . En Campo Don Abel, la presencia de sedimento muy fino se encuentra asociada a barras de arena formadas por flujos de marea (Marron, 2003), en cuyos valles se acumula sedimento fino, por lo que es posible que se haya muestreado dentro de alguno de estos valles durante verano e invierno cuando aumentó el contenido de sedimento fino en estas estaciones. En el caso de El Faro, solamente se encontró sedimento muy fino en primavera. El ingreso de este sedimento se debe al desprendimiento parcial y esporádico de las terrazas del Pleistoceno adyacentes a la costa, debido a la erosión de las terrazas por efecto combinado de la marea y el oleaje. Las terrazas se caracterizan por la abundancia de sedimento muy fino (Rubçvalcaba, 2005).

La relación entre el tamaño de grano promedio ($M\phi$) y la desviación estándar ($\delta\phi$) (Figura 2), en todas las localidades y en todas las estaciones del año, permite identificar claramente a dos grandes ambientes texturales: uno que agrupa a El Faro y Campo Don Abel, en donde se observa que la arena va de media a fina y de moderadamente a mal seleccionada; y el otro ambiente, que agrupa a las Isletas y Zacatosa, donde el sedimento va de arena muy fina a limo fino y de moderado a mal seleccionado. Solo algunas de las muestras de Campo Don Abel y El Faro difirieron del patrón general por ser sedimento más fino, como se mencionó antes, probablemente en Campo Don Abel se tomaron las muestras en los valles donde se acumula este sedimento y en El Faro el aporte de este sedimento es por la erosión de la terraza del Pleistoceno adyacente a la costa. Solo una muestra de las Isletas resulto mal seleccionada y ligeramente más fina comparada con el resto.

Las muestras que componen los diferentes grupos de sedimento de la zona de estudio presentan kurtosis ($K\phi$) de extremadamente leptocúrtico a muy leptocúrtico. Su significado ambiental por sí sólo no proporciona información que se pueda utilizar como parámetro ambiental puesto que como medida adimensional solo indica la agudeza de la curva de distribución de tamaño de grano. Sin embargo, se ha incluido en los resultados (Anexos I y II) como parte de los cálculos de rutina y como un parámetro útil contra el cual pueden compararse otros parámetros. En nuestro caso no se utilizó, ya que como se mostró en la Figura 2, la media y la desviación estándar fueron suficientes para discriminar los ambientes.

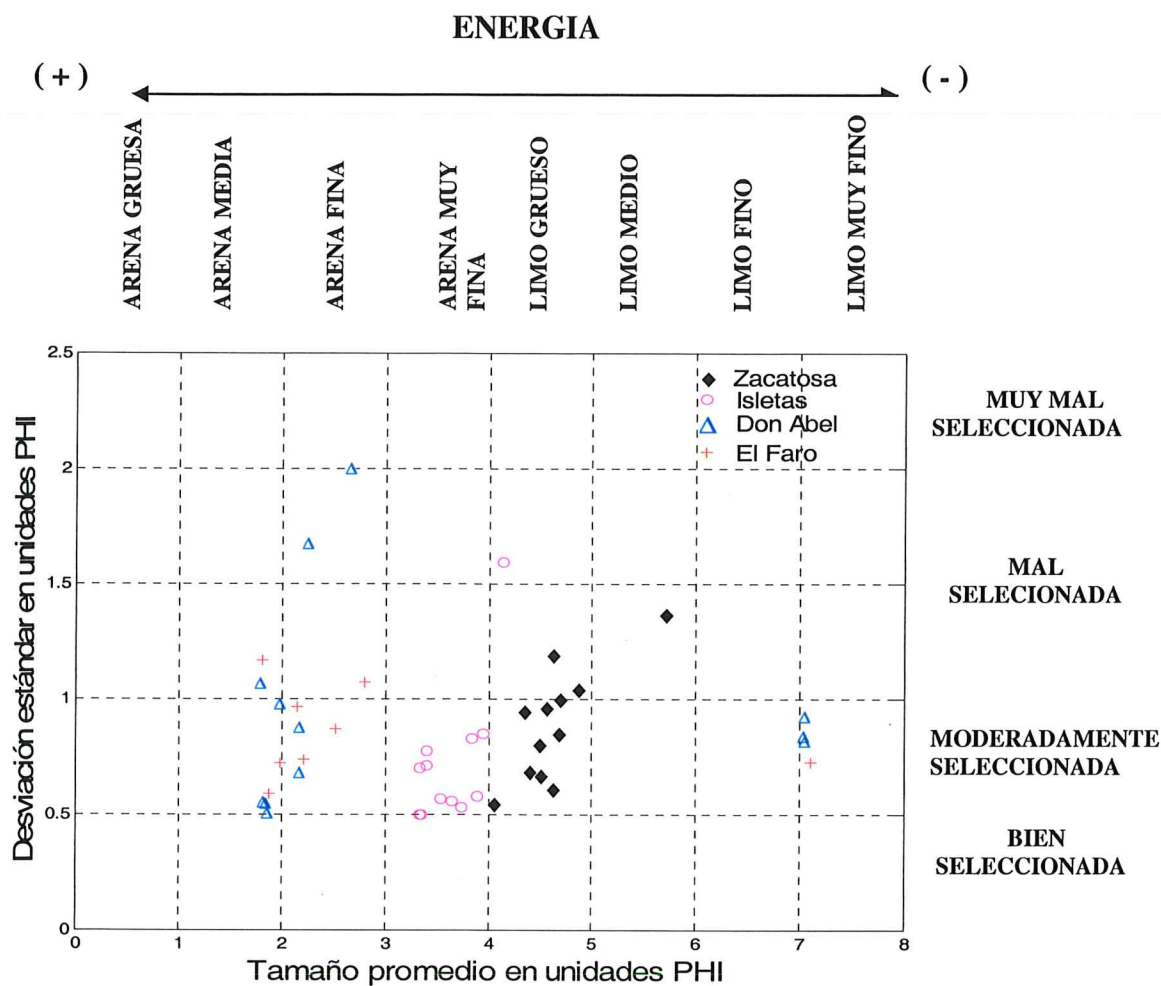


Figura 2. Relación de tamaño promedio de grano ($M\phi$) y desviación estándar ($\delta\phi$) en las cuatro localidades (Zacatosa, Isletas, Campo Don Abel y El Faro) en todas las estaciones del año. Note la discriminación de dos ambientes correspondientes a las estaciones del norte (Zacatosa e Isletas), y del sur (Don Abel y El Faro).

El hecho de que los parámetros granulométricos se mantengan relativamente estables a lo largo del año en las diferentes localidades, permite que el promedio anual de la distribución de tamaño de grano (Figura 3) sea representativo de la granulometría en cada una de las localidades.

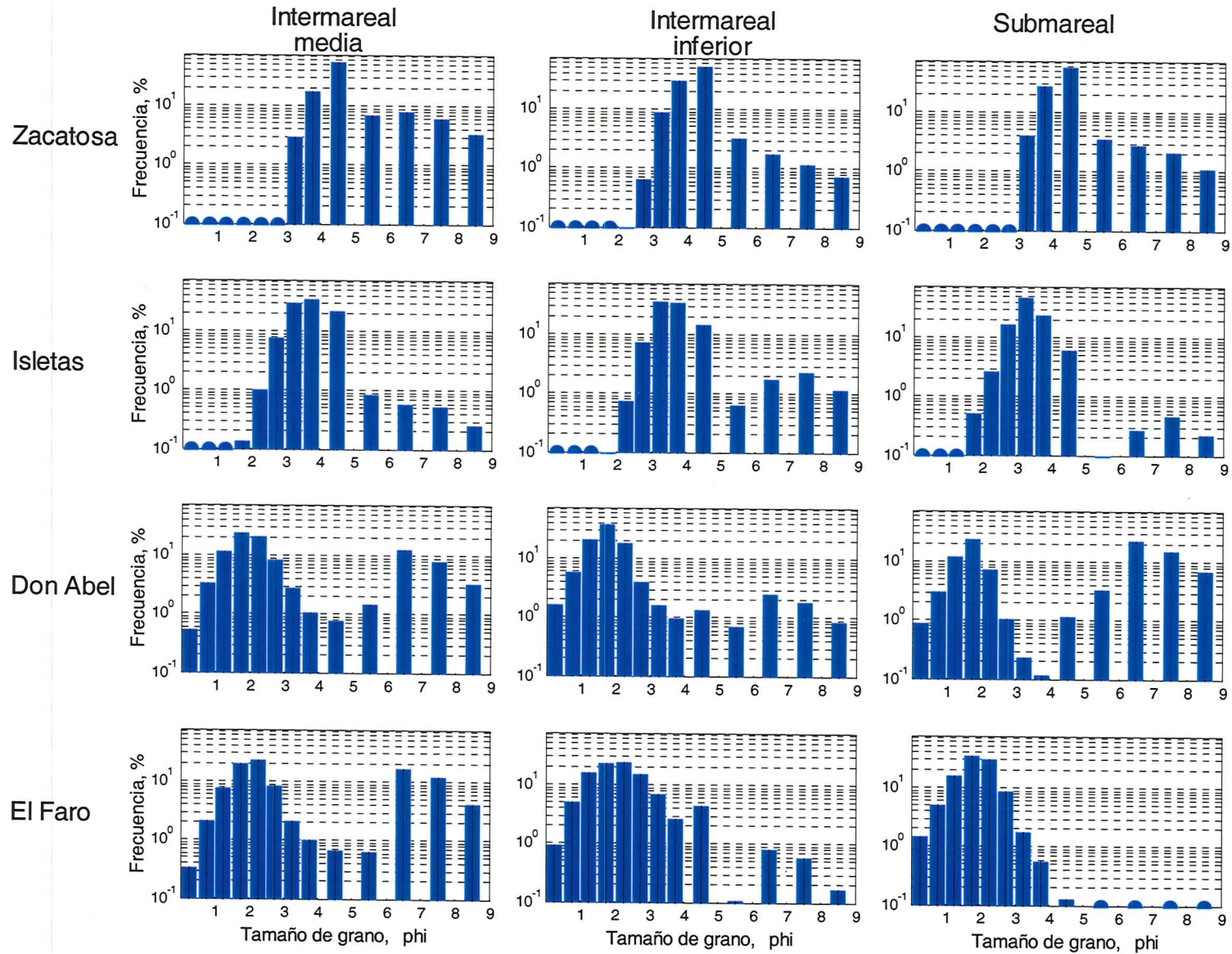


Figura 3. Distribución del promedio estacional de la frecuencia de tamaño de grano en las cuatro localidades (Zacatosa, Isletas, Campo Don Abel y El Faro). Nótese la tendencia más pronunciada hacia una distribución bimodal en Campo Don Abel y El Faro

En las Isletas y en Zacatosa esta distribución tiende a ser unimodal con sesgo hacia los granos finos. La moda en Zacatosa (4.5ϕ) representa granos más finos que la moda en las Isletas (3.5ϕ). En contraste, en Campo Don Abel y en El Faro, la estructura es bimodal con tendencia hacia los granos gruesos. La moda de los granos gruesos, tanto en Campo Don Abel como en El Faro es $\sim 2\phi$, mientras que la moda de los granos finos es $\sim 6.5\phi$. La frecuencia acumulada del promedio anual de la distribución de tamaño de grano (Figura 4), permite a su vez diferenciar sutilmente a Zacatosa de las Isletas. El sedimento en Zacatosa se compone únicamente de limos ($\sim 50\%$) y de arenas muy finas ($\sim 50\%$), mientras que en las Isletas se compone de arenas finas (30%), muy finas ($\sim 50\%$) y limos ($\sim 20\%$). También se observan diferencias entre Campo Don Abel y El Faro. En El Faro se nota la disminución de arenas muy finas hacia el ambiente submareal, mientras que lo contrario se observa en Campo Don Abel. Este hecho indica que las arenas muy finas y los limos que se observan en Campo Don Abel provienen del área del delta, mientras que las arenas muy finas y limos que se observan en El Faro provienen de las terrazas adyacentes la playa.

Las diferencias texturales que se observan la zona intermareal del área del delta están relacionadas con las corrientes dentro del ambiente intermareal. En el área del delta es mayor el efecto de las corrientes de marea que transportan sedimento fino hacia el sur (Chávez et al, 2006), en tanto fuera del delta lo es el oleaje, por lo que el área de estudio muestra no ser tan homogénea, lo que permite observar a los dos grandes ambientes (Carriquiri, et. Al., 1999).

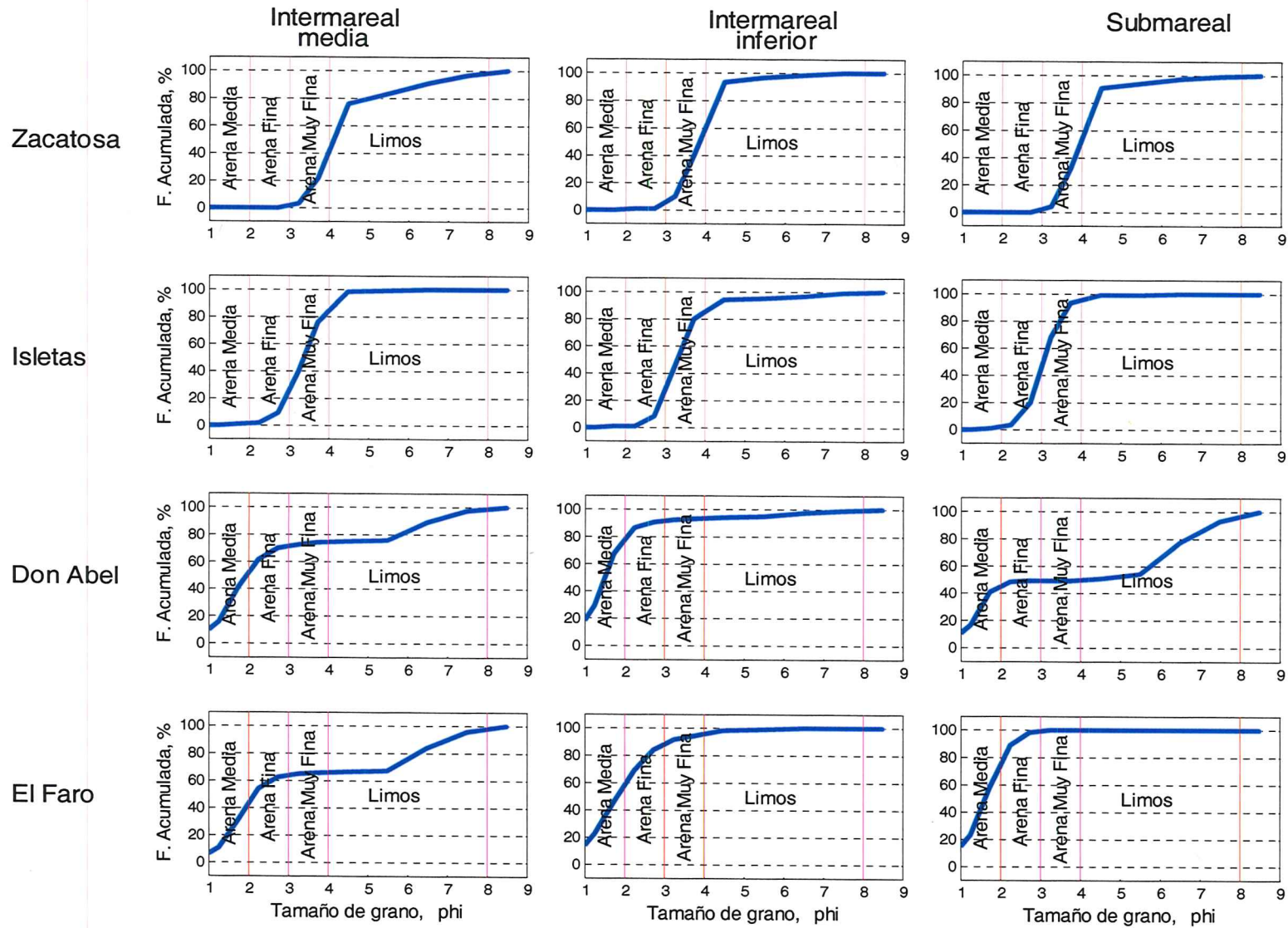


Figura 4. Distribución del promedio estacional de frecuencia acumulada de tamaño de grano en las cuatro localidades (Zacatosa, Isletas, Campo Don Abel y El Faro).

En resumen, en la zona intermareal y submareal del área de estudio se observan diferencias texturales en los sedimentos, mismas que permiten caracterizar un ambiente deltaico compuesto por arenas muy finas y limos en Zacatosa y las Isletas; un ambiente con influencia deltaica en donde el sedimento fino del ambiente deltaico es transportado al ambiente submareal de Campo Don Abel, y un ambiente fuera del delta en El Faro y en el ambiente intermareal de Campo Don Abel, caracterizado por sedimento relativamente más grueso típico de playas, y sedimento muy fino proveniente del talud costero adyacente.

Abundancia Relativa total de foraminíferos bentónicos

En la totalidad de las localidades de muestreo en el área de estudio, en las cuatro estaciones del año, se obtuvieron 11358 foraminíferos en 44 muestras (Anexos III a X). En 8 muestras la abundancia fue muy baja, en 6 de éstas se contaron menos de 300 testas, estas son: EL Faro en el intermareal medio durante primavera, verano y otoño, y en el intermareal inferior durante primavera; Campo Don Abel en el intermareal medio de primavera y en el intermareal inferior durante invierno y primavera. Solamente en 2 muestras no se encontraron testas de foraminíferos, estas son: El Faro en el intermareal inferior en el verano y en Campo Don Abel en el intermareal medio en el verano.

Se identificaron 36 taxa, 26 a nivel de nivel especie y 10 a nivel género. Los foraminíferos identificados corresponden a 15 familias, 7 superfamilias y 4 órdenes. La taxonomía de los foraminíferos identificados se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de los foraminíferos bentónicos encontrados en la costa oeste del Delta del Río Colorado en los ambientes intermareales y submareal superior.

ORDEN	SUPERFAMILIA	FAMILIA	GENERO	ESPECIE
Textulariida Delage & Herouard, 1896	Trochamminacea (Schwager, 1877)	Trochamminidae (Schwager, 1877)	<i>-Trochamina</i>	
	-Lituolacea (de Blainville, 1827)	-Placopsilinidae (Rhumbler, 1913)	<i>-Bolivinopsis</i>	
		-Haplophragmoidae (de Blainville, 1827)	<i>-Haplophragmoides</i>	<i>- canariensis mexicana</i>
Miliolida Delage & Herouard, 1896	Miliolacea (Ehrenberg, 1839)	Hauerinidae (Schwager, 1876)	<i>-Quinqueloculina</i>	<i>-laevigata -lamarkiana -inflata -angulostriata -poeyana</i>
			<i>-Triloculina</i>	<i>- inflata</i>
Lagenida Delage & Herouard, 1896	Nodasariacea (Ehrenberg, 1839)	Lagenidae (Reus, 1862)	<i>-Lagena</i>	
Rotaliida Delage & Herouard, 1896	Chilostomellacea (Brady, 1881)	Trichohyalidae (Saidova, 1981)	<i>-Bucella</i>	<i>-tenerrima</i>
	Bolivinacea (Glaessner, 1937)	Bolivinidae (Glaessner, 1937)	<i>-Bolivina</i> (d'Orbigny, 1839)	

Continuación Tabla 1

ORDEN	SUPERFAMILIA	FAMILIA	GENERO	ESPECIE
Rotaliida Delage & Herouard, 1896	Cassidulinacea (d'Orbigny, 1839)	Cassidulinidae (d'Orbigny, 1839)	<i>-Epistominella</i>	<i>-obesa</i>
	Chilostomellacea (Brady, 1881)	Gavelinellidae (Hofker, 1956)	<i>-Hanzawaia</i>	<i>-nitidula</i>
	Nonionacea (Schultze, 1854)	Nonionidae (Schultze, 1854)	<i>-Nonion</i>	<i>-pompiloides</i> <i>-parkae</i>
			<i>-Nonionella</i>	<i>-basispinata</i>
	Buliminacea (Jones, 1875)	Buliminidae (Jones, 1875)	<i>-Buliminina</i>	<i>-marginata</i> <i>-denudata</i>
			<i>-Globobulimina</i>	
			<i>-Buliminella</i>	<i>-elegantissima</i>
	Rotaliaceae (Ehrenberg, 1839)	Rotaliidae (Ehrenberg, 1839)	<i>-Ammonia</i>	<i>-parkinsoniana</i> <i>-tepida</i>
<i>-Eponides</i>			<i>-babsae</i>	
	Elphidiidae (Galloway, 1933)	<i>-Cribroelphidium</i>	<i>-pauciloculum</i> <i>-translucen</i> <i>-excavatum</i> <i>-gunteri</i> <i>-incertum</i> <i>-poeyanum</i>	

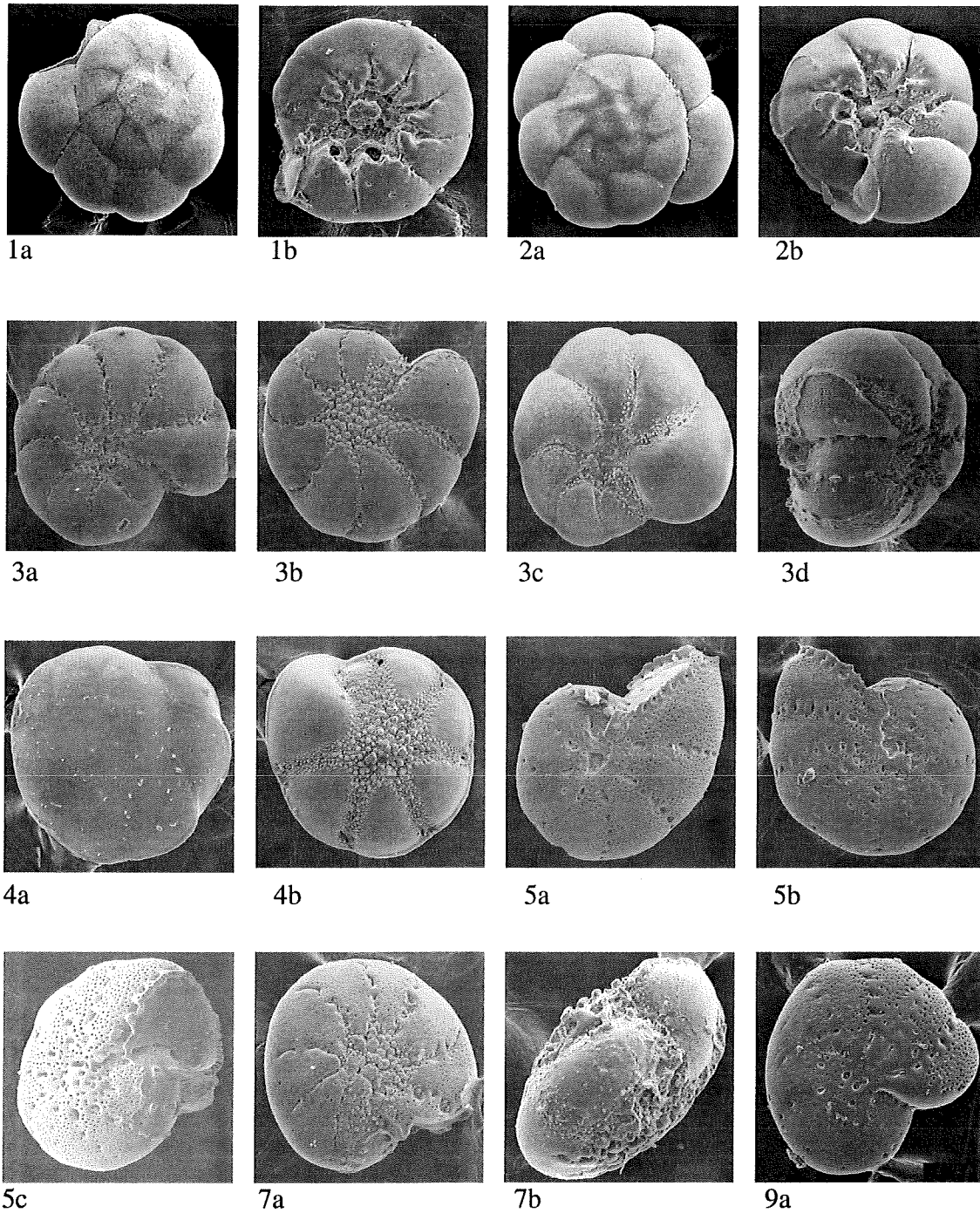
En base a la abundancia relativa de la población total (Tabla 2), a cada especie se le asignó un número progresivo tratando de presentar su abundancia relativa en orden descendente, pero dando prioridad a la abundancia relativa de aquellas especies que aparecen tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis. En las láminas 1, 2 y 3 se muestran fotografías tomadas al microscopio electrónico de barrido de los foraminíferos bentónicos más representativos en el área de estudio.

De todos los taxa de foraminíferos, solo cinco fueron comunes y abundantes en toda el área de estudio. La especie más común y persistente en todas las muestras fue *Ammonia becarii parkinsoniana* cuya abundancia relativa total fluctuó alrededor del 50%. Le sigue en orden de abundancia *Ammonia becarii tepida* con el ~10%. Ambas especies son euritópicas (Murray, 1991; Walton y Sloan, 1990) y neríticas (Devenay et al., 1998), y abundan típicamente en ambientes hipersalinos. En menor abundancia, con valores inferiores al 6%, se encontraron los foraminíferos del género *Criboelphidium*, destacando las especies *C. paucilocolum* y *C. gunteri*, especies importantes en este ambiente porque suelen ser dominantes en ambientes estuarinos (Murray, 1991). Otra de las 5 especies más abundantes fue *Bucella tenerrima* (~6%), que también suele estar presente en ambientes estuarinos (Murray, 1991).

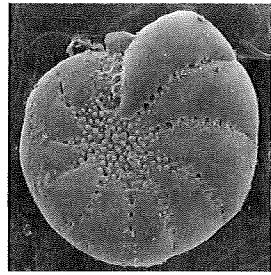
De los 36 taxa de foraminíferos bentónicos, 19 se encontraron tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis y las restantes 17 se encontraron

No.de la especie	Nombre de la especie	AR Total %	AR Muertos %	AR Vivos %
1	<i>Ammonia becarii parkinsoniana</i>	52.8	41	11.8
2	<i>Ammonia b. tepida</i>	13.9	11.3	2.6
3	<i>Criboelphidium excavatum lidoense</i>	6.5	6	0.5
4	<i>Buccella tenerrima</i>	6.3	5.5	0.8
5	<i>Criboelphidium translucen</i>	1.6	1.5	0.1
6	<i>C. excavatum</i>	2.7	2.3	0.4
7	<i>C. gunteri</i>	5.8	5	0.8
8	<i>C. tumidum</i>	1.0	0.9	0.1
9	<i>C. incertum</i>	1.3	1.2	0.1
10	<i>Haplophragmoides canariensis mexicana</i>	1.0	0.8	0.2
11	<i>Criboelphidium poeyanum spinatum</i>	0.9	0.8	0.1
12	<i>Quinqueloculina sp.</i>	0.8	0.5	0.3
13	<i>Nononiella basispinata</i>	0.1	0.09	0.01
14	<i>Criboelphidium spinatum var. translucen</i>	0.6	0.5	0.1
15	<i>Quinqueloculina laevigata</i>	0.5	0.4	0.1
16	<i>Triloculina sp</i>	0.2	0.12	0.07
17	<i>Epistominella obesa</i>	0.6	0.6	0.008
18	<i>Criboelphidium poeyanum</i>	0.3	0.3	0.01
19	<i>Eponides babsae</i>	0.4	0.3	0.1
20	<i>Quinqueloculina lamarckiana</i>	0.4	0.4	0
21	<i>Triloculina inflata</i>	0.1	0.1	0
22	<i>Bolivina sp</i>	0.1	0.1	0
23	<i>Bulimina marginata</i>	0.04	0.04	0
24	<i>Quinqueloculina angulustriata</i>	0.2	0.2	0
25	<i>Q. poeyana</i>	0.2	0.2	0
26	<i>Nonion pompiloidess</i>	0.1	0.1	0
27	<i>Buliminella elegantisim</i>	0.1	0.1	0
28	<i>Hanzawaia nitidula</i>	0.2	0.2	0
29	<i>Globobulimina</i>	0.03	0.03	0
30	<i>Bulimina denudata</i>	0.1	0.1	0
31	<i>Quinqueloculina inflata</i>	0.02	0.02	0
32	<i>Lagena</i>	0.03	0.03	0
33	<i>Nonion Parkae</i>	0.1	0.1	0
34	<i>Trochamina sp.</i>	0.1	0.1	0
35	<i>Bolivinopsis</i>	0.01	0.01	0
36	<i>Trochamina hadai</i>	0.1	0.1	0
37	<i>Especies sin identificar</i>	0.9	0.9	0

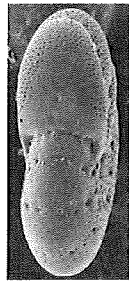
Tabla 2. Abundancia Relativa (AR) de la población total de foraminíferos bentónicos encontrados en el área de estudio durante las cuatro estaciones del año. El número asignado a cada especie se empleara en lo sucesivo para referirse a esa especie en el presente estudio. El área sombreada corresponde a las especies que se encontraron tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis.



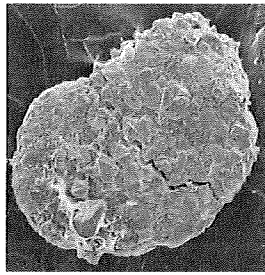
Lamina 1. *Ammonia becarri parkinsoniana* (1a dorsal x160 ; 1b ventral x160); *Ammonia becarri tepida* (2a dorsal x160; 2b ventral x160); *Cribroelphidium excavatum lidoense* (3a dorsal x160; 3b x160, 3c ventral x360 ; 3d abertura x220); *Buccella tenerrima* (4a dorsal x200; 4b ventral x200); *Cribroelphidium translucens* 5a x200, 5b x130, 5c x300; *Cribroelphidium gunteri* (7a dorsal x260; 7b abertural x300); *Cribroelphidium incertum* (9a dorsal x160). Los números de las fotografías corresponden al número de especie que se indica en la Tabla 2.



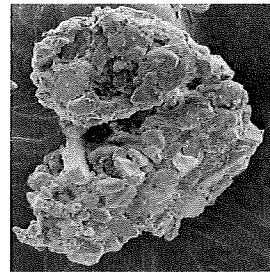
9b



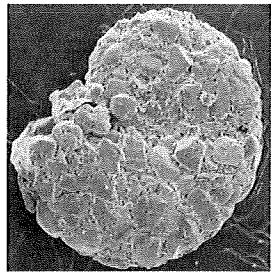
9c



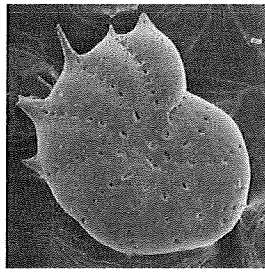
10a



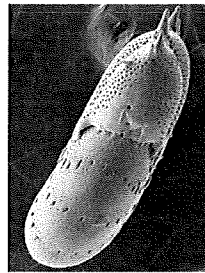
10b



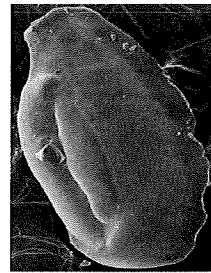
10c



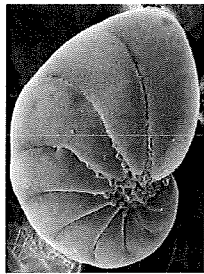
11a



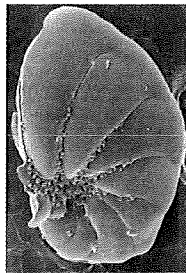
11b



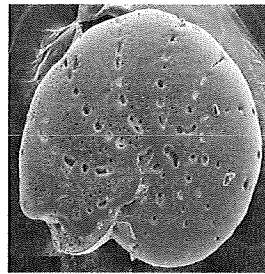
12



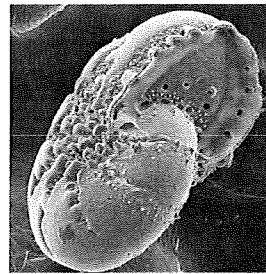
13a



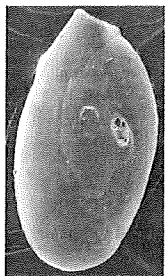
13b



14a



14b

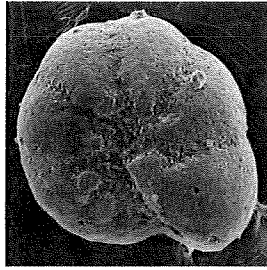


15a

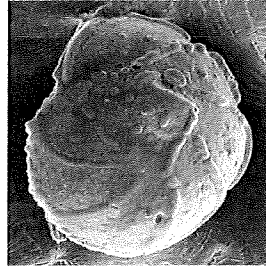


15b

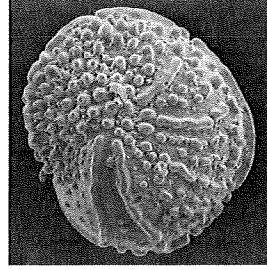
Lamina 2. *Cribroelphidium incertum* (9b ventral x150; 9c abertural x220); *Haplophragmoides canariensis mexicana* (10a x130, 10b x180, 10c x240); *Cribroelphidium poeyanum spinatum* (11a ventral x130; 11b abertural x180); *Quinqueloculina poeyana* (12 x110); *Nonionella basispinata* (13a dorsal x160, 13b ventral x220); *Cribroelphidium spinatum var. translucen* (14a dorsal x160; 14b abertural x200); *Quinqueloculina laevigata* (15a x300; 15b x320). Los números de las fotografías corresponden al número de especie que se indica en la Tabla 2.



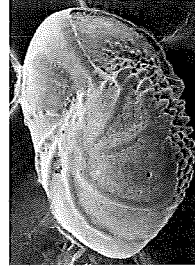
17



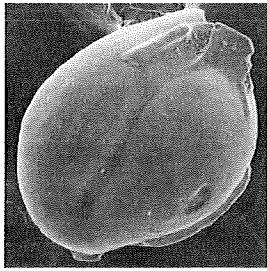
19a



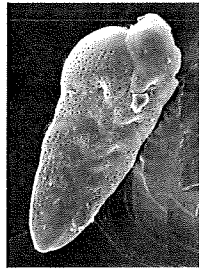
19b



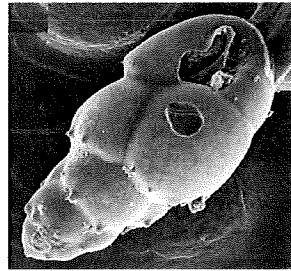
19c



21



22



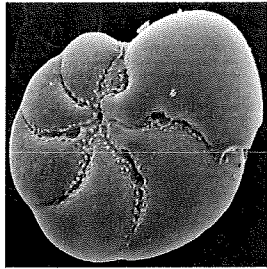
23



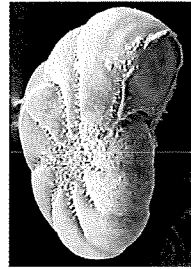
25



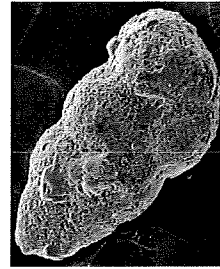
27



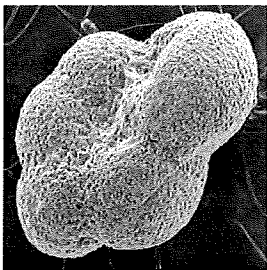
28a



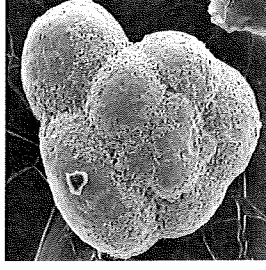
28b



30



34a



34b

Lamina 3. *Epistominella obesa* (17 x260); *Eponides babsae* (19a dorsal x200; 19b ventral x260; 19c vertical x260); *Triloculina inflata* (21 x200); *Bolivina sp.* (22 x400); *Bulimina marginata* (23 x260); *Quinqueloculina poeyana* (25 x150); *Bulimina elegantissima* (27 x480); *Hanzawaia nitidula* (28a dorsal x300; 28b abertural x360); *Bulimina denudata* (30 x220); *Trochamina sp.* (34 a x260, 34b x260). Los números de las fotografías corresponden al número de especie que se indica en la Tabla 2.

se encontraron únicamente en la tanatocenosis. A los foraminíferos que no se pudieron identificar por encontrarse muy cristalizados se les enumeró como taxon #37. Los taxa que aparecieron solo en la tanatocenosis, probablemente provienen de depósitos más antiguos de sedimento y fueron removidos por la acción mecánica del oleaje, la marea y el viento. Este proceso se presenta comúnmente en las tanatocenosis de ambientes intermareales y da como resultado la mezcla de distintas generaciones de organismos en escalas de tiempo variable y se denomina promediado en el tiempo (Martín R.E., *et al.*, 1995). El promediado en el tiempo es afectado por factores extrínsecos e intrínsecos que varían en tiempo y espacio. Este promediado puede ocasionar una pérdida de resolución en la interpretación de conjuntos fósiles, también puede amplificar señales ambientales persistentes y eliminar aquellas de pequeña escala. Esta sutil mezcla temporal de generaciones se ha podido estimar en los moluscos en la línea de costa actual fechados por radiocarbono, estimando la duración de promediado en el tiempo mayor a 1000 años (Flessa, 1993). Sin embargo, en la Bahía La Choya ubicada en la costa oriental del Alto Golfo de California, en la región del Delta del Río Colorado, se reporta que algunos foraminíferos (*Buccella mansfieldi*, *Elphidium cf.* y *E. crispum*) tienen un rango de duración de promediado en el tiempo es de 2775 ± 60 años (Martin *et al.*, 1995).

3.3 Biocenosis

3.3.1 Biocenosis – variabilidad espacial y estacional

Considerando la población total en toda el área de estudio, la abundancia relativa de las biocenosis de foraminíferos bentónicos fue muy variable y mucho menor en general que la abundancia relativa de las tanatocenosis (Tabla 3). Esto refleja que los sedimentos superficiales son una zona de acumulación de foraminíferos.

Tabla 3. Abundancia relativa (AR) estacional de la biocenosis y tanatocenosis de la población total de foraminíferos bentónicos encontrados en el área de estudio.

	Primavera (AR)	Verano (AR)	Otoño (AR)	Invierno (AR)
Biocenosis	3%	25%	28%	14%
Tanatocenosis	97%	75%	72%	86%

En general, la abundancia relativa y la diversidad de las biocenosis aumentan hacia el invierno, siendo ambas mayores en otoño en todas las localidades (Figuras 5 a 8). Este aumento probablemente está relacionado con un pulso reproductivo de los foraminíferos bentónicos, asociado a un afloramiento del fitoplancton en la zona de estudio (Jorissen *et al.*, 1999; Murray, 2000). En las restantes estaciones del año (verano, otoño y primavera) se observa menor abundancia relativa y diversidad en El Faro, en comparación con Campo Don Abel, las Isletas y Zacatosa.

El bajo número de especies encontradas en las biocenosis se refleja en un valor bajo de los índices de diversidad y de equidad, producto de la casi total dominancia de *Ammonia* y *Criboelphidium*.

En particular, en la estructura espacial y estacional de las biocenosis en primavera, solamente se encontraron organismos vivos en 7 de las 11 estaciones de muestreo y se identificaron únicamente 6 especies de foraminíferos bentónicos, estas son: *Ammonia becarii parkinsoniana*, *Ammonia becarii tepida*, *Criboelphidium excavatum lidoense*, *Criboelphidium gunteri*, *Criboelphidium incertum*, *Criboelphidium. Poeyanum*. Los foraminíferos fueron muy escasos y su abundancia relativa tan baja (~10%), que no es posible definir un patrón espacial, ya sea norte-sur o intermareal-submareal, en la presencia o ausencia de foraminíferos bentónicos en esta estación del año.

Note que la escala vertical es logarítmica en todas las figuras en donde se muestra la abundancia relativa (AR) tanto de las biocenosis como de las tanatocenosis. Esta escala es adecuada debido a que naturalmente la AR decae exponencialmente cuando se presenta en orden descendente. Además, cada una de estas figuras (5-9, 12-15 y 17) se presenta en forma de lámina en donde hay una correspondencia de arriba a abajo, con la ubicación de las localidades de muestreo de norte a sur; y una correspondencia de izquierda a derecha, con los ambientes intermareal medio, inferior y submareal.

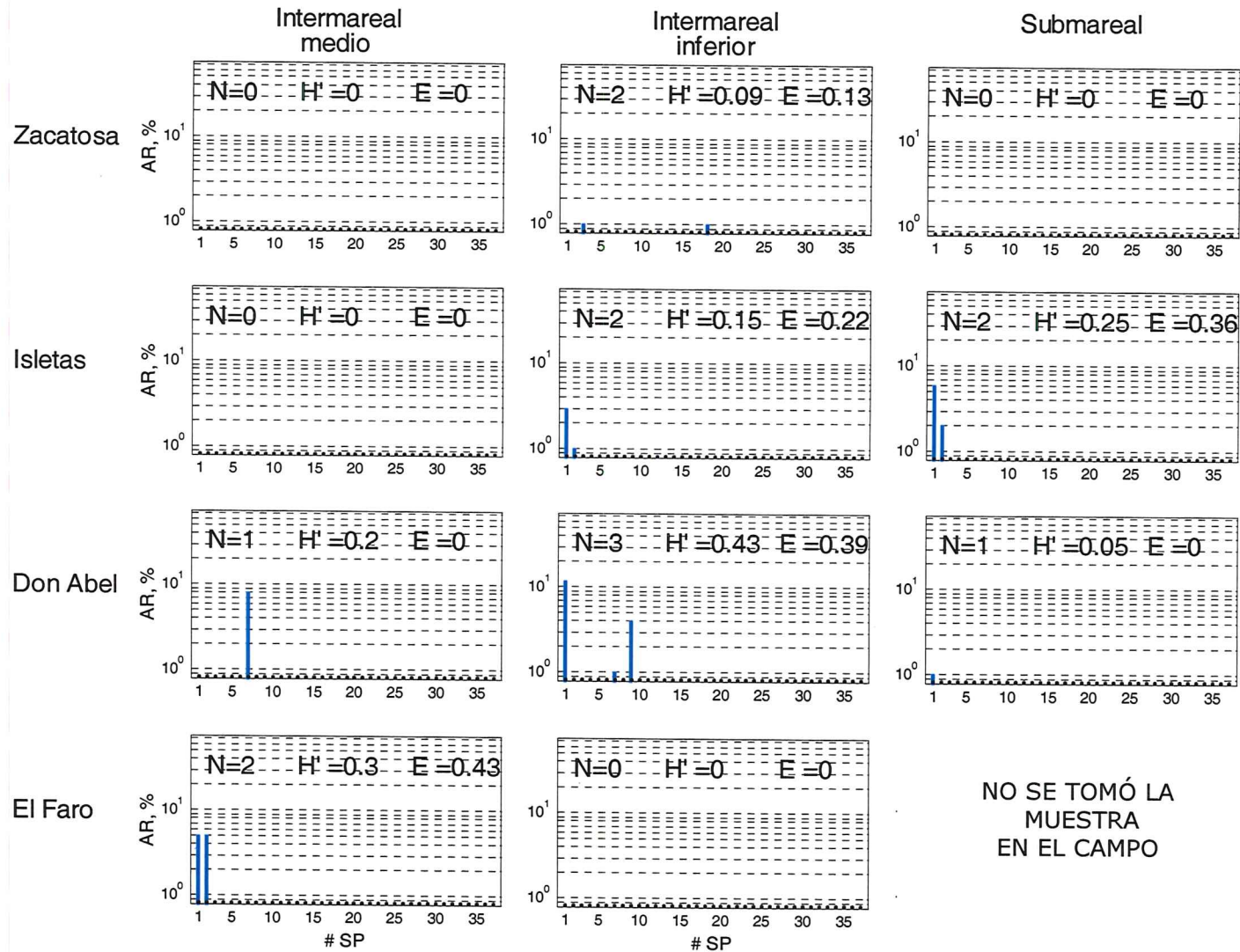


Figura 5. Abundancia Relativa de la biocenosis de foraminíferos bentónicos en **primavera** en las cuatro localidades: Zacatosa, Isletas, Campo Don Abel y El Faro. La letra N indica el número de especies en cada estación de muestreo; H' el índice de diversidad y E la equidad, ambos de Shanon Wiener. El # SP corresponde al número de especie que se indica en la Tabla 2.

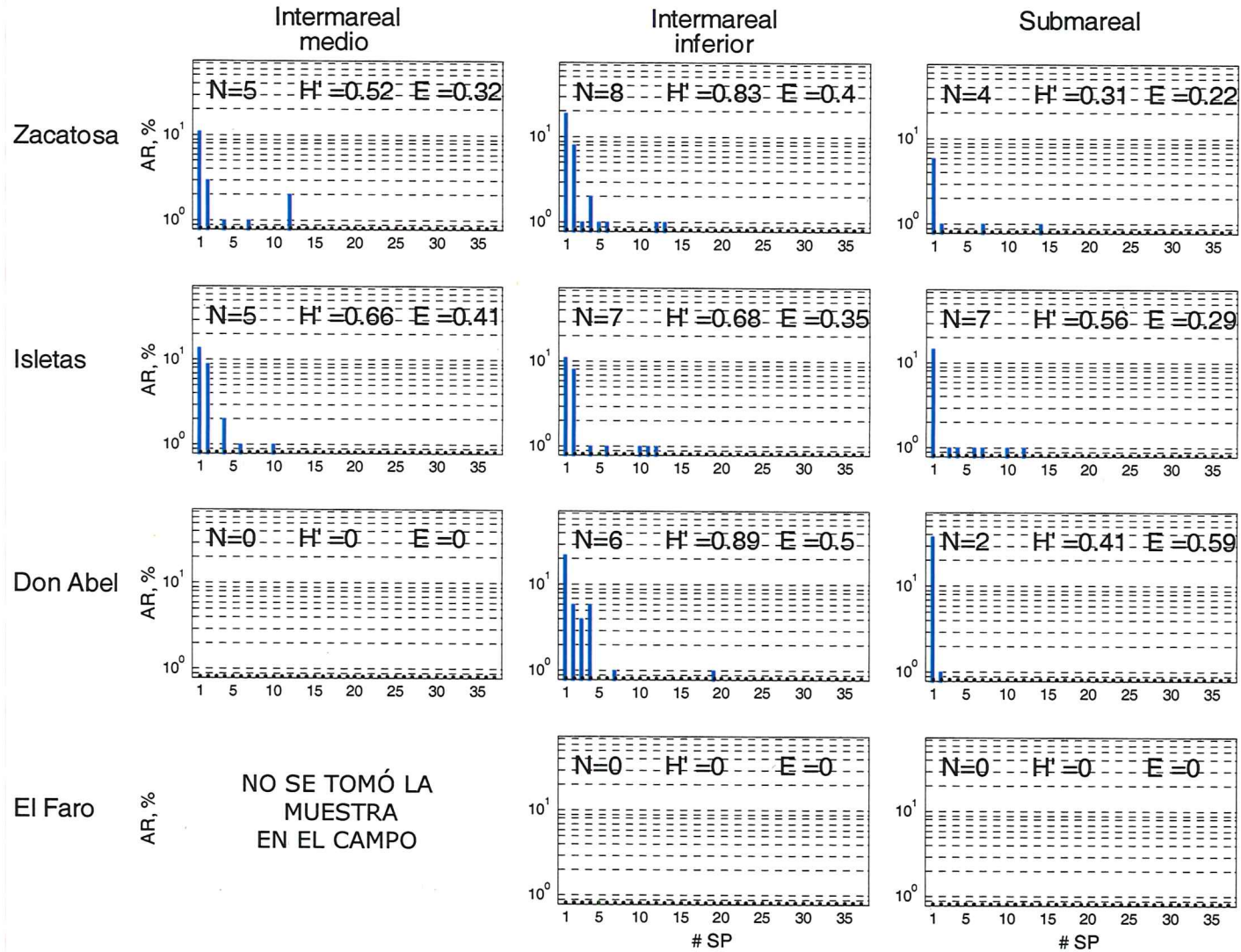


Figura 6. Abundancia Relativa de la biocenosis de foraminíferos bentónicos en **verano** en las cuatro localidades: Zacatosa, Isletas, Campo Don Abel y El Faro. La letra N indica el número de especies en cada estación de muestreo; H' el índice de diversidad y la E la equidad, ambos de Shannon Wiener. El # SP corresponde al número de especie que se indica en la Tabla 2.

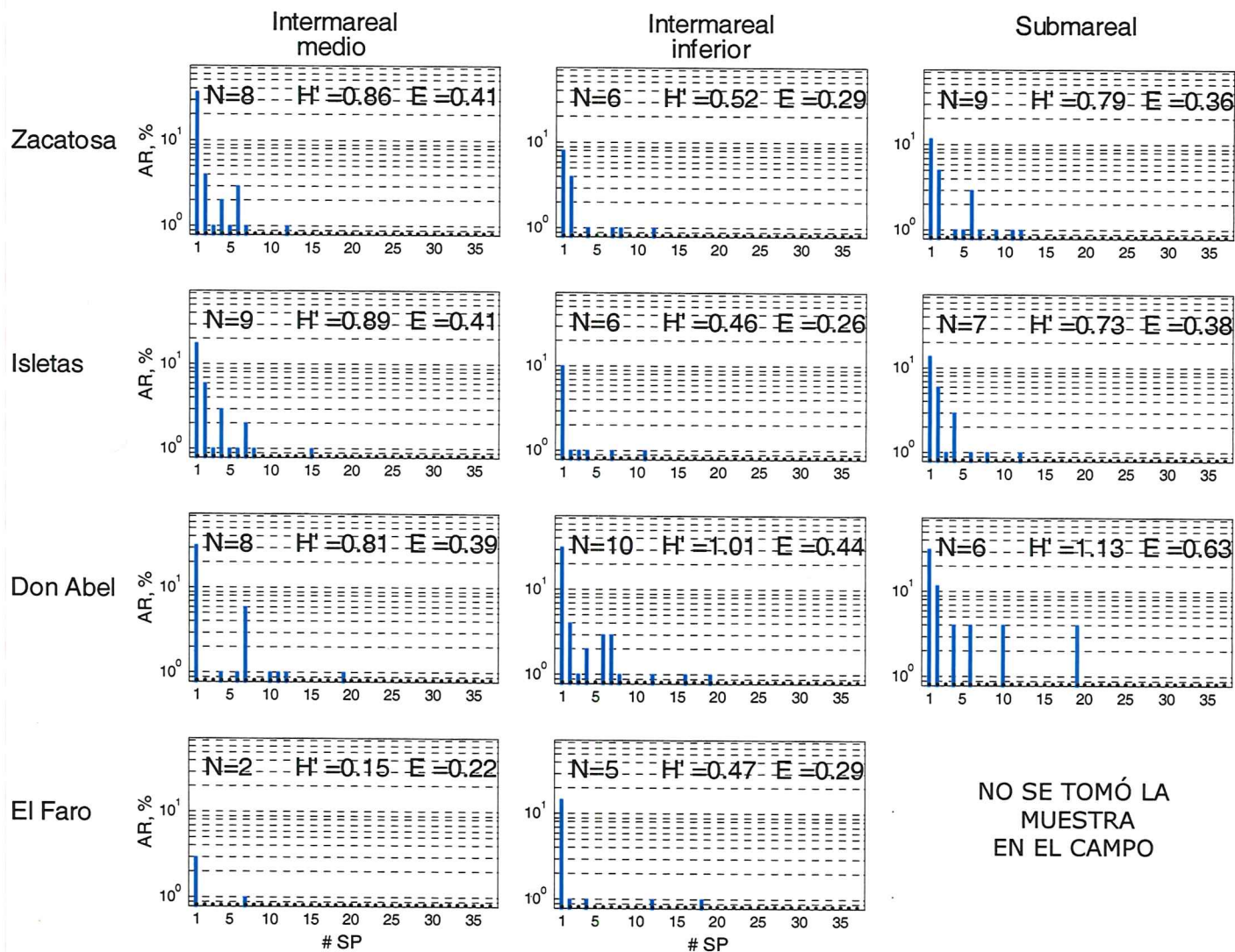


Figura 7. Abundancia Relativa de la biocenosis de foraminíferos bentónicos en **otoño** en las cuatro localidades: Zacatosa, Isletas, Campo Don Abel y El Faro. La letra N indica el número de especies en cada estación de muestreo; H' el índice de diversidad y E la equidad, ambos de Shannon Wiener. El # SP corresponde al número de especie que se indica en la Tabla 2.

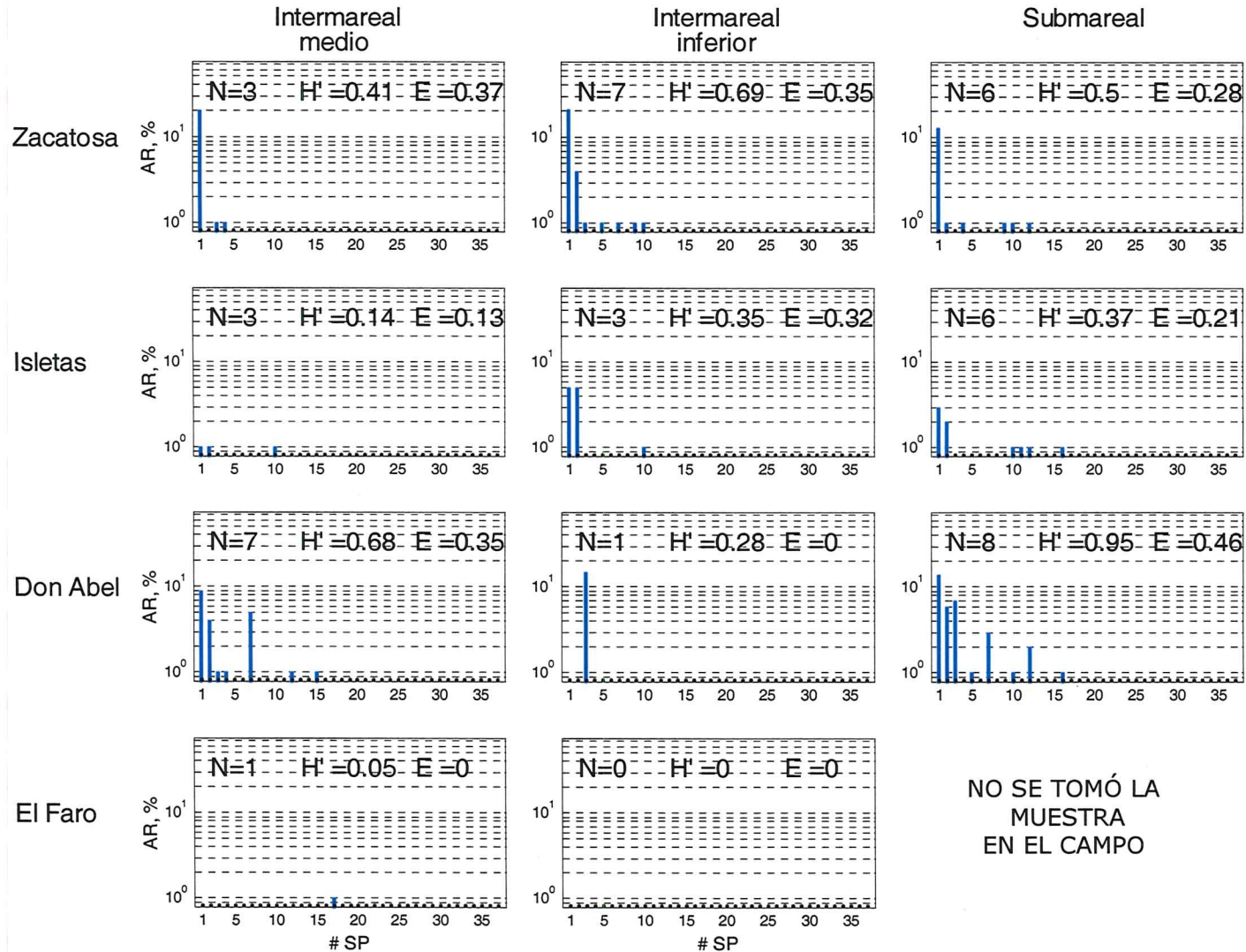


Figura 8. Abundancia Relativa de la biocenosis de foraminíferos bentónicos en **invierno** en las cuatro localidades: Zacatosá, Isletas, Campo Don Abel y El Faro. La letra N indica el número de especies en cada estación de muestreo; H' el índice de diversidad y E la equidad, ambos de Shannon Wiener. El # SP corresponde al número de especie que se indica en la Tabla 2.

3.3.2 Biocenosis – promedio anual

El promedio anual de la biocenosis en cada una de las localidades de muestreo (Figura 9) es muy ilustrativo porque independientemente de la variabilidad temporal es un indicador de la presencia o ausencia de los conjuntos de foraminíferos en los diferentes ambientes. A su vez, el promedio anual es un equivalente de lo que cabría esperar en una tanatocenosis. En este caso, el promedio anual de la biocenosis permite diferenciar cualitativamente a dos ambientes, al ambiente de El Faro, en extremo sur del área de estudio, y al ambiente del norte que agrupa a Campo Don Abel, a las Isletas y a Zacatosa, lo cual implica que en promedio las condiciones ambientales son las mismas en la zona de influencia deltaica.

El ambiente deltaico promedio, muestra un patrón de distribución de especies muy homogéneo en donde *Ammonia*, es consistentemente el género dominante en la zona intermareal y submareal en la mayoría de las localidades, lo que resulta en valores de equidad muy bajos, (entre 0.20 y 0.35). En tanto en El Faro, donde no existe influencia deltaica, el número especies disminuye significativamente y los valores de equidad son aún menores (entre 0 y 0.14). La alta dominancia de *Ammonia*, se puede explicar por ser una especie euritópica infaunal, que puede prosperar en aguas de salobres a hipersalinas en ambientes litorales y neríticos, en temperaturas de 0 a 30 °C (Murray, 1991; Devenay, 1998).

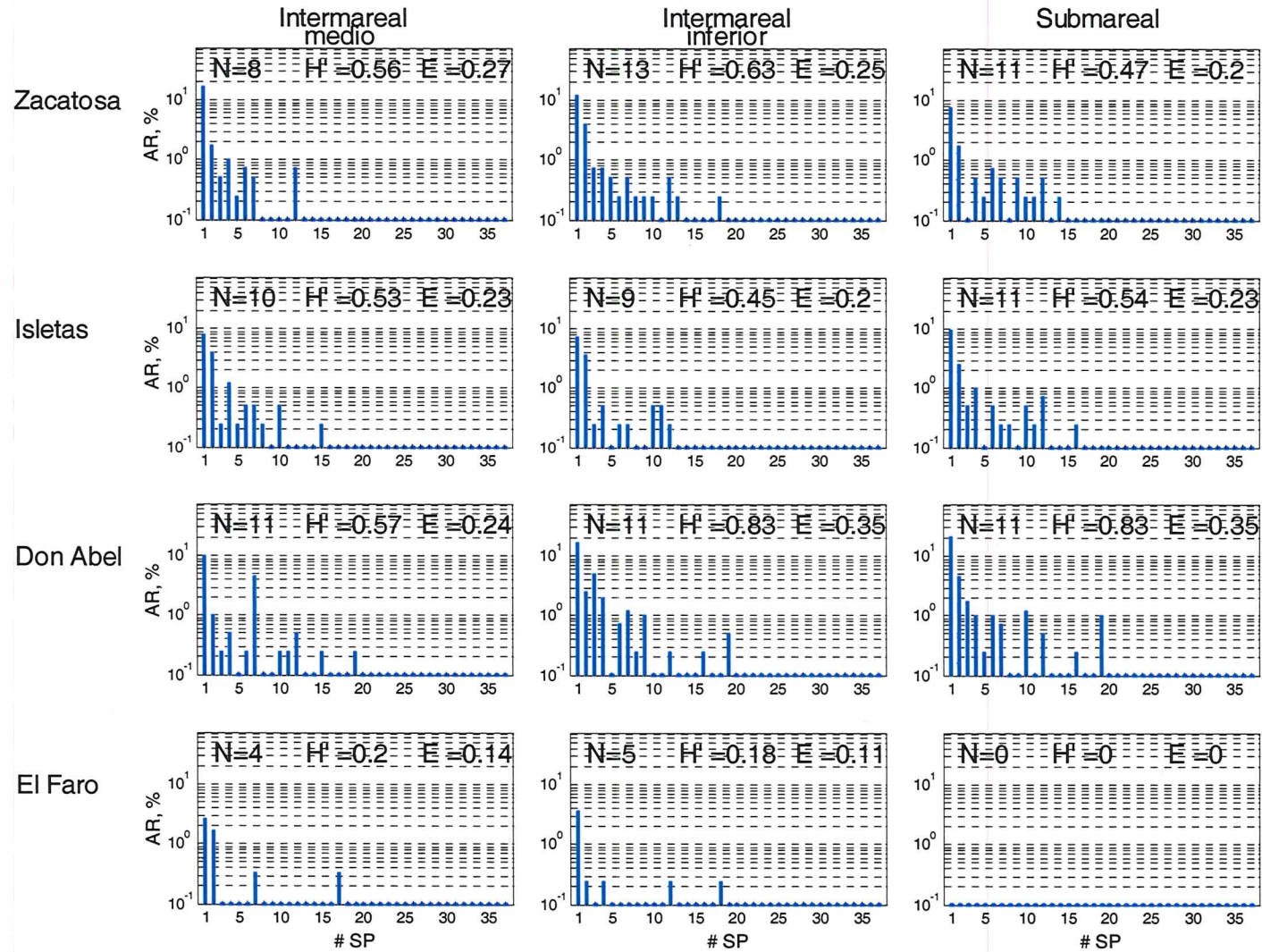


Figura 9. **Promedio anual** de la Abundancia Relativa de foraminíferos bentónicos en la biocenosis en las cuatro localidades: Zacatosa, Isletas, Campo Don Abel y El Faro. La letra N indica el número de especies en cada estación de muestreo; H' el índice de diversidad y E el índice de equidad, ambos de Shannon Wiener, el # SP corresponde al numero de especie que se indica en la Tabla 2.

En el área de influencia deltaica se observa que tanto el número de especies encontradas como el índice de diversidad son similares entre las localidades y notablemente mayores que en El Faro, al menos en un 50%. A su vez, Campo Don Abel se distingue del resto de las localidades deltaicas por presentar la mayor diversidad. Aún cuando el número de especies es aproximadamente igual que en el resto de las localidades, el índice de diversidad en los ambientes intermareal inferior y submareal en Campo Don Abel ($H'=0.83$), es el mayor del resto de las localidades, donde el valor máximo es $H'=0.6$. Esta alta diversidad pudiera explicarse por la presencia de un estero en Campo Don Abel, en donde se practica la acuicultura. Cabe la posibilidad de que la eutroficación sea la responsable del mayor índice de diversidad en Campo Don Abel. La presencia de *Eponides babsae* (sp #19), que aparece exclusivamente en campo Don Abel, está indicando un ambiente único y en Campo Don Abel que pudiera deberse también a la influencia del estero.

En El Faro, la localidad que se encuentra fuera de la influencia deltaica, el sedimento es relativamente más grueso y la diversidad y equidad son las más bajas, lo cual puede ser debido a que la zona intermareal es estrecha y con mayor influencia del oleaje que en el ambiente deltaico. Cabe mencionar que en el ambiente submareal de El Faro, aun cuando solamente se muestreó en verano, no se encontraron foraminíferos.

La sola presencia o ausencia de especies distingue a su vez a Campo Don Abel del resto de las localidades. En este caso, *Eponides babsae* aparece únicamente en otoño en los tres ambientes (intermareal medio, intermareal inferior y submareal) de Campo Don Abel, y no se encuentra en ninguna de las otras localidades de muestreo. Esta especie que coincide con el ambiente más sureño de influencia deltaica, prospera principalmente en temperaturas templadas y frías.

3.4 Tanatocenosis

La estructura de la tanatocenosis es particularmente importante porque equivale a un promedio temporal de la biocenosis (Staf *et al.*, 1986). Esto no significa que las testas de los foraminíferos muertos se acumulan indefinidamente en una localidad a través del tiempo. La mayoría de las testas de los foraminíferos muertos, además de estar sujetas al transporte litoral, se degradan continuamente por efectos mecánicos y/o químicos, y solamente se preserva una fracción de aquellas testas que hayan sido rápidamente sepultadas en el sedimento y que potencialmente formarán parte del registro fósil, ya sea inalteradas o cuando debido a los procesos diagenéticos sus testas hayan sido reemplazadas por minerales (Martin, 1999).

Para interpretar adecuadamente la estructura de la tanatocenosis es necesario establecer un intervalo de confianza a las observaciones de abundancia relativa de cada espécimen. Los métodos comúnmente empleados en este tipo de estudios son los propuestos por Dryden (1931), y Patterson y Fishbein (1989), en donde el intervalo de confianza depende del número de especímenes contados y de la abundancia relativa de cada espécimen. Ambos métodos teóricos (Figuras 10 y 11) difieren considerablemente conforme disminuye la abundancia relativa de los especímenes. El método de Dryden (1931), en conteos de 300 testas, no permite observar variaciones significativas en especímenes con abundancia relativa menor a 10%. En otras palabras, el error estimado es mayor que la AR para especímenes con AR menor a 10%,

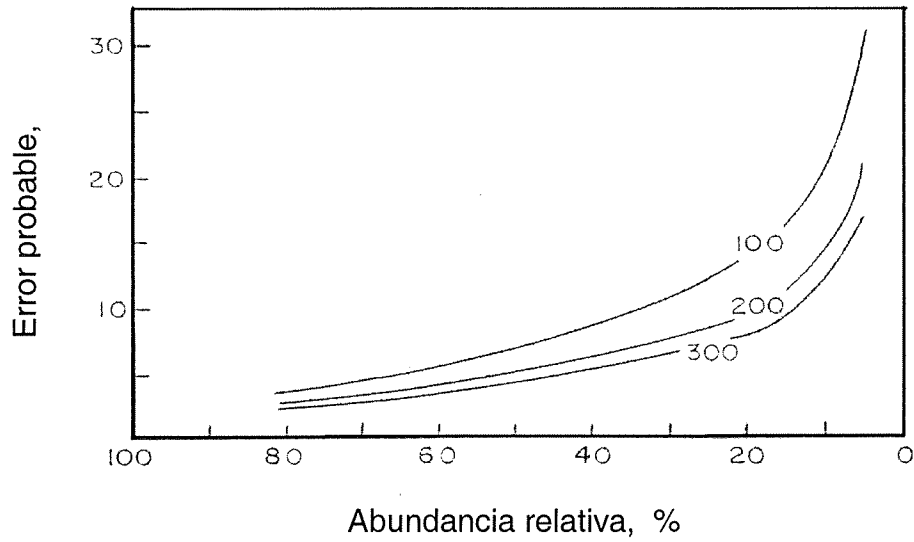


Figura 10. Error probable en la abundancia relativa de un espécimen, para conteos de 100, 200 y 300 especímenes. Adaptada de Dryden (1931).

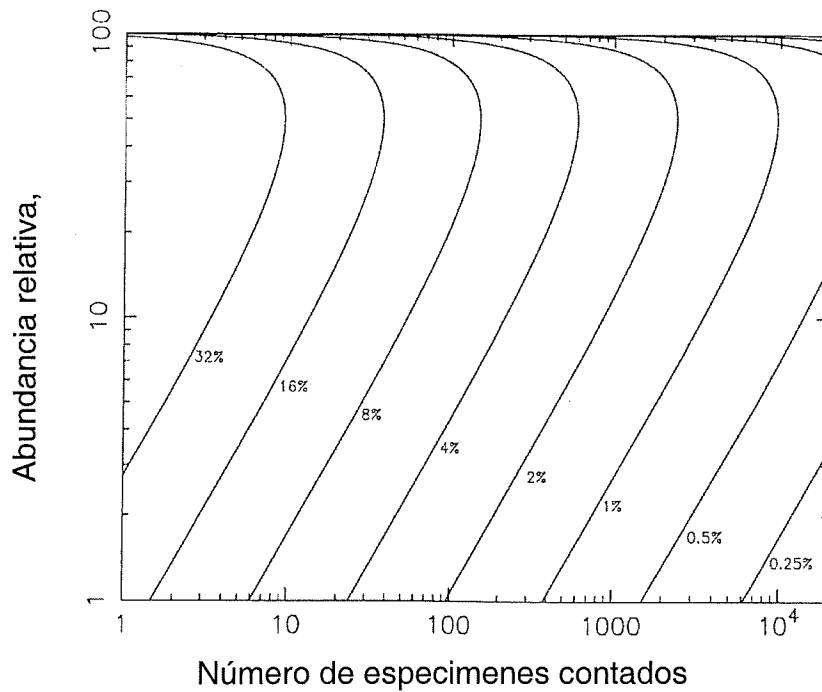


Figura 11. Error probable en la abundancia relativa de un espécimen calculado al 95% de confianza. Adaptada de Patterson y Fishbein (1989).

mientras que el método de Patterson y Fishbein (1989), permite observar variaciones significativas en especímenes con abundancia relativa de hasta 3%. En nuestro caso, el método de Patterson y Fishbein (1989), es el más adecuado debido a que tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis, solamente 3 especies, además de la especie dominante, sobrepasan esporádicamente una abundancia relativa mayor a 10%. Sin embargo, otorgando el beneficio de la duda al método de Dryden (1931), se empleó en este trabajo un “método directo” para estimar el intervalo de confianza de especímenes con abundancia mayor y menor al 10%.

El método directo en este trabajo se fundamenta en la hipótesis de que las diferencias en abundancia relativa de una misma especie de foraminífero, en una misma muestra de sedimento, conformarán una variable aleatoria con distribución de probabilidad normal o gaussiana. Este método directo se aplicó a la especie dominante (*Ammonia becarii parkinsoniana*), en la localidad Zacatosa-submareal, en primavera. Se obtuvo su abundancia relativa “ x_i ” en 4 conteos de 100 foraminíferos cada conteo: $x = [47\%, 56\%, 51\%, 47\%]$; la abundancia relativa promedio de esta muestra es $\bar{x} = 50.25\%$, y su desviación estándar es $s = 4.27\%$; por lo que el intervalo de confianza al 90%, empleando la distribución de probabilidad *t-student*, es: $\bar{x} \pm 2.353 \times 4.27 / \sqrt{4} = \bar{x} \pm 5\%$. Para la especie *Criboelphidium gunteri*, la abundancia relativa es: $x = [3\%, 4\%, 6\%, 1\%]$; $\bar{x} = 3.5\%$; $s = 2.08\%$, por lo que el intervalo de confianza es $\bar{x} \pm 2\%$. En la mayoría de las muestras en este trabajo la abundancia relativa se calculó en

base a conteos de 300 foraminíferos, por lo que es de esperarse un intervalo de confianza mayor que el anterior. Por ejemplo, al considerar únicamente los 3 primeros conteos en los ejemplos anteriores, los intervalos de confianza se modifican respectivamente: $\bar{x} \pm 8\%$ y $\bar{x} \pm 3\%$.

Es evidente que este método directo para calcular el intervalo de confianza no es práctico cuando se analiza una gran cantidad de muestras. Sin embargo, su utilidad en este trabajo consistió en comparar estos intervalos con los intervalos de confianza teóricos propuestos por Dryden (1931), y Patterson y Fishbein (1989). En este caso, los intervalos de confianza estimados con ambos métodos teóricos para especímenes con abundancias relativas de 50% son consistentes con los obtenidos con el método directo, sin embargo, únicamente el método de Patterson y Fishbein (1989), es consistente con el método directo para especímenes con abundancia relativa menor al 10%.

3.4.1 Tanatocenosis – variabilidad espacial y estacional

La estructura espacial y estacional de la tanatocenosis se muestra en las Figuras 12 a 15. Las barras en azul en estas figuras indican la abundancia relativa de las primeras 19 especies que se encuentran tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis (ver Tabla 2) y que en su conjunto representan una abundancia relativa de aproximadamente el 97%, mientras que las barras en rojo indican la abundancia relativa de las últimas 17 especies que no tienen

contraparte en la biocenosis (ver Tabla 2) y cuya abundancia relativa es el restante 3%.

La estructura espacial de la tanatocenosis en las diferentes estaciones del año es notablemente similar al promedio anual de la biocenosis, un hecho que soporta la hipótesis de que la tanatocenosis equivale a un promedio temporal de la biocenosis, con la salvedad de que en la tanatocenosis aparecen algunas especies que no tienen contraparte en la biocenosis. En las cuatro estaciones del año es notable una distribución de abundancia relativa muy uniforme y semejante en las tanatocenosis de las Isletas y Zacatosa y del ambiente submareal de Campo Don Abel, las cuales son muy distintas de la estructura que se observa tanto en el ambiente intermareal de Campo Don Abel como en El Faro.

Al igual que en las biocenosis, resalta el hecho de que en todas las estaciones del año, en casi todas las localidades de muestreo, la especie más abundante es *Ammonia beccarii parkinsoniana*, comprendiendo aproximadamente un 50% de la abundancia total, seguida por *Ammonia beccarii tepida*, con aproximadamente un 13%, la cual no aparece en algunos ambientes de las localidades del sur: Campo Don Abel y El Faro, Figs 12-15.

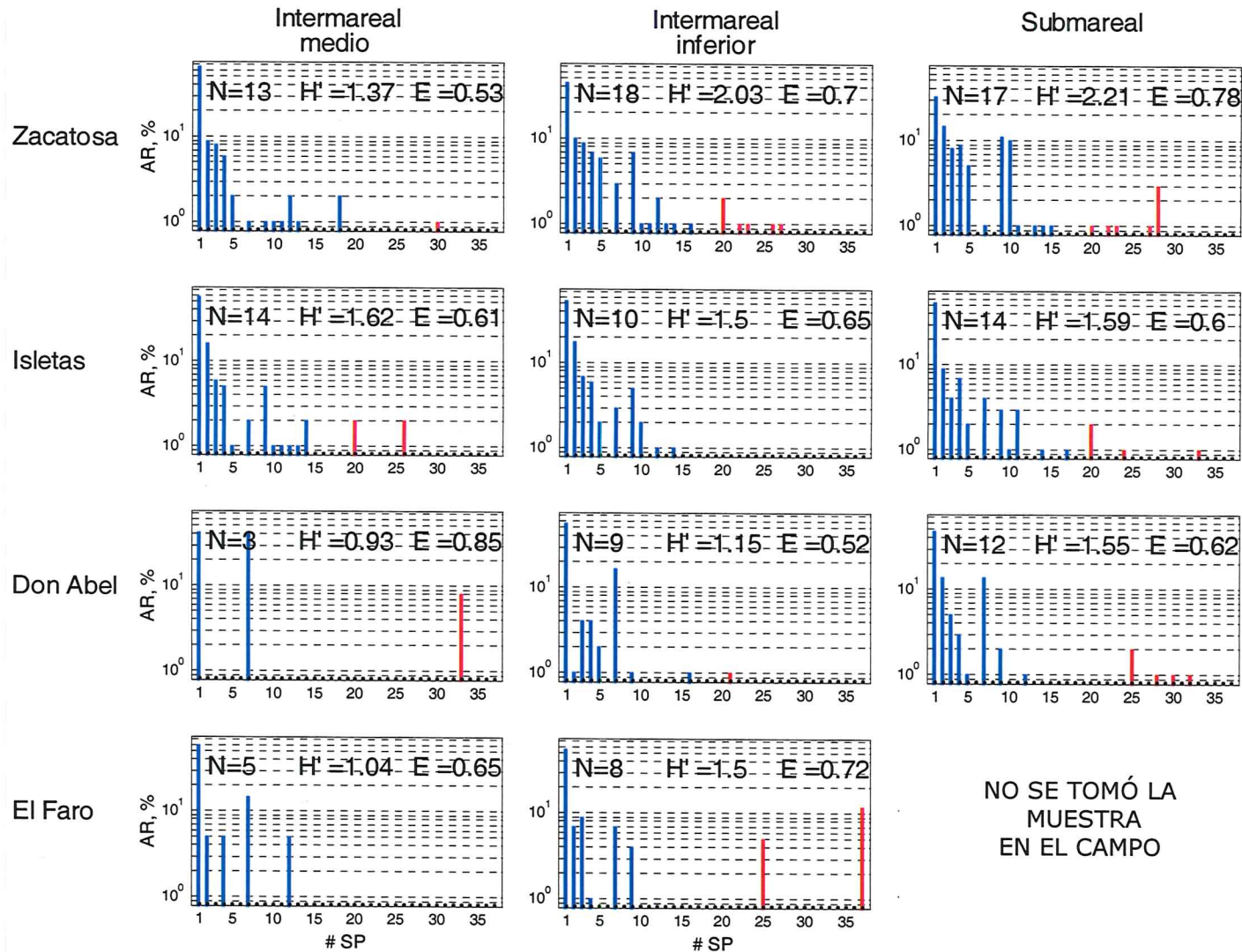


Figura 12. Abundancia Relativa de la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en **primavera** en las cuatro localidades: Zacatosa, Isletas, Campo Don Abel y El Faro. La letra N indica el número de especies en cada estación de muestreo; H' el índice de diversidad y E el índice de equidad, ambos de Shannon Wiener. El # SP corresponde al número de especie que se indica en la Tabla 2. Las barras azules indican las especies que se encuentran tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis y las barras rojas indican las especies que solo se encuentran en la tanatocenosis.

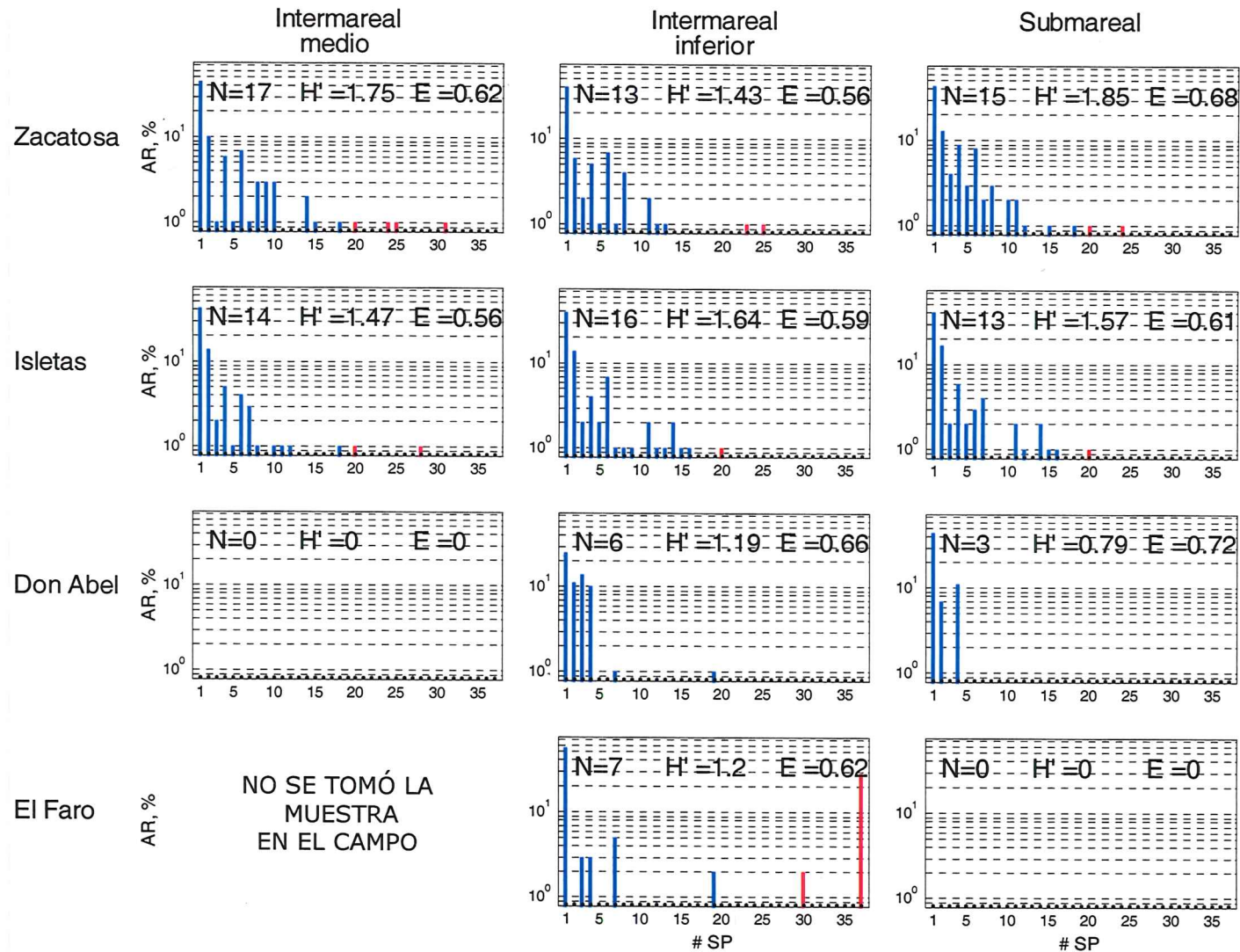


Figura 13. Abundancia Relativa de la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en **verano** en las cuatro localidades: Zacatosá, Isletas, Campo Don Abel y El Faro. La letra N indica el número de especies en cada estación de muestreo; H' el índice de diversidad y E el índice de equidad, ambos de Shannon Wiener. El # SP corresponde al número de especie que se indica en la Tabla 2. Las barras azules indican las especies que se encuentran tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis y las barras rojas indican las especies que solo se encuentran en la tanatocenosis.

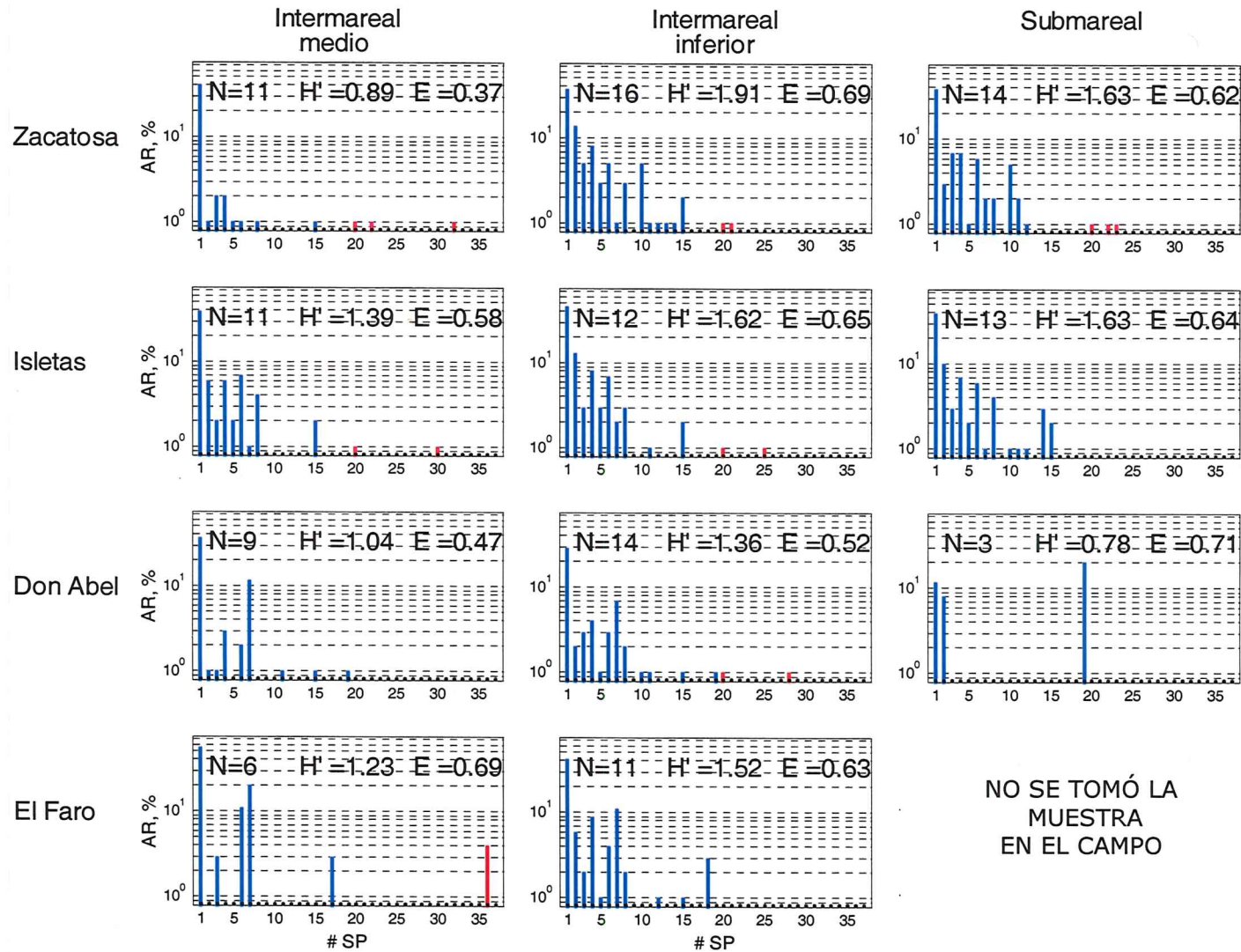


Figura 14. Abundancia Relativa de la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en **otoño** en las cuatro localidades: Zacatosa, Isletas, Campo Don Abel y El Faro. La letra N indica el número de especies en cada estación de muestreo; H' el índice de diversidad y E el índice de equidad, ambos de Shannon Wiener. El # SP corresponde al número de especie que se indica en la Tabla 2. Las barras azules indican las especies que se encuentran tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis y las barras rojas indican las especies que solo se encuentran en la tanatocenosis.

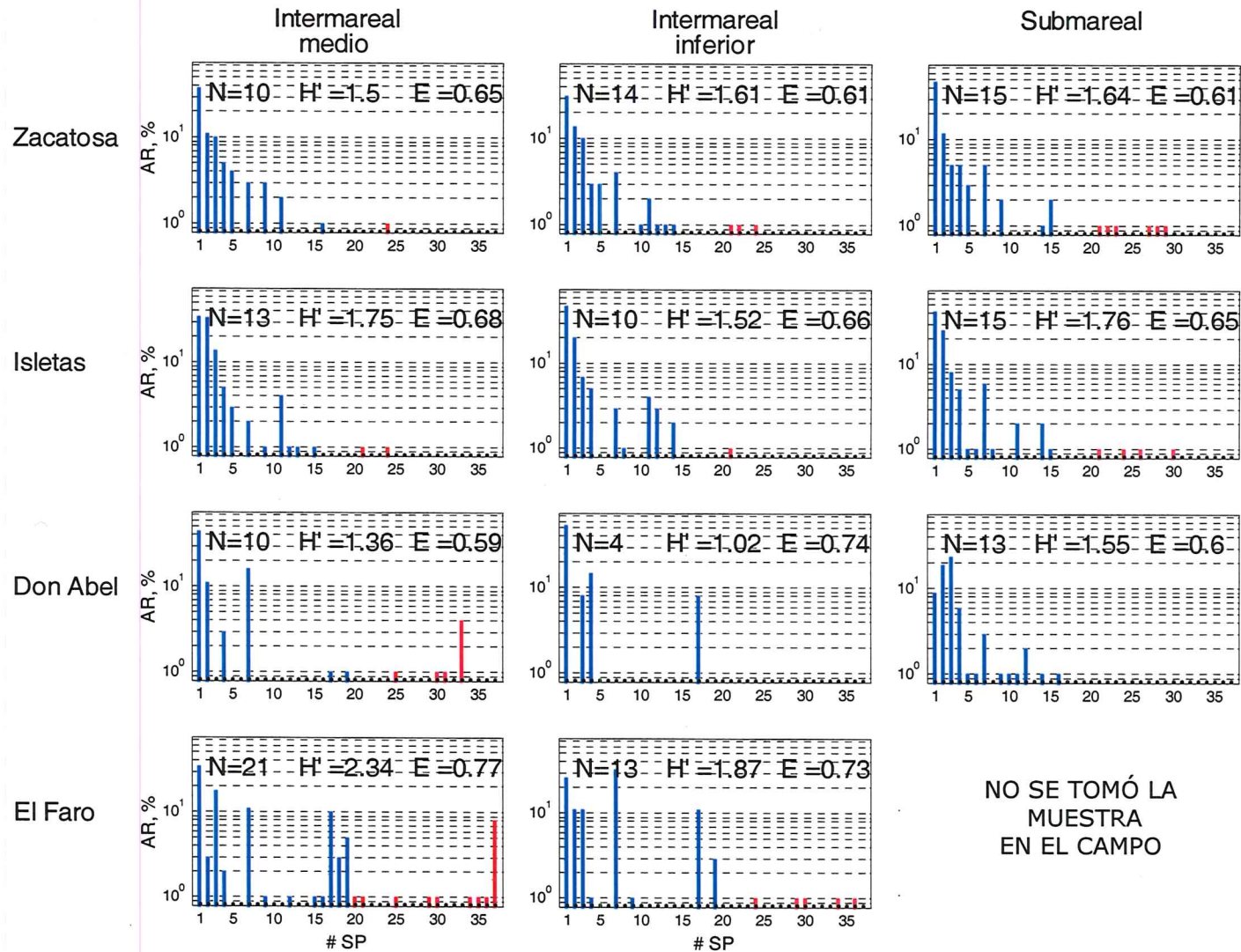


Figura 15. Abundancia Relativa de la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en **invierno** en las cuatro localidades: Zacatosa, Isletas, Campo Don Abel y El Faro. La letra N indica el número de especies en cada estación de muestreo; H' el índice de diversidad y E el índice de equidad, ambos de Shannon Wiener. El # SP corresponde al número de especie que se indica en la Tabla 2. Las barras azules indican las especies que se encuentran tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis y las barras rojas indican las especies que solo se encuentran en la tanatocenosis.

Entre las especies dominantes se encuentra también *Criboelphidium gunteri* (Figs. 12-15), cuya mayor abundancia relativa se observa en Campo Don Abel y El Faro. Esta especie prefiere principalmente ambientes lagunares con pastos marinos (Murray, 1991), y considerando que en la actualidad no existen pastos marinos en estas localidades, su presencia se explica por transporte y promediado en el tiempo. Particularmente, en El Faro, pudo haber derivado de los cantiles adyacentes del Pleistoceno, los cuales se caracterizan por la abundancia de icnofosiles de pastos marinos (Ruvalcaba, 2005).

La especie aglutinada, *Haplophragmoides canariensis mexicana*, aparece en todas las estaciones del año preferentemente en la zona deltaica (Figs.12-15), en especial en Zacatosa. Su mayor abundancia relativa (10%) se presenta en primavera y disminuye hacia el invierno. En invierno solo se encuentra en el ambiente intermareal inferior de Zacatosa con una abundancia relativa del 1%. El hecho de que esta especie sea más abundante en Zacatosa indica claramente que ésta se desarrolla preferentemente en ambientes de plataforma interna a costero, con salinidades de salobres a marinas en sustratos de granos muy finos como los limos y en temperaturas de templadas a frías (Murray,1991).

La localidad El Faro se distingue por la abundancia de las especies que no se pudieron identificar, algunas debido a su pobre estado de conservación, y otras por encontrarse recristalizadas. La abundancia de estas especies es

persistente en las cuatro estaciones del año. Con seguridad, estas especies provienen de la terraza del Pleistoceno localizada en la costa adyacente al transecto, de donde debieron ser desprendidas e incorporados a la playa por la acción erosiva del oleaje, la marea y el viento. Por lo tanto, en El Faro tenemos un enriquecimiento en el número y abundancia de especies por el aporte de organismos provenientes de rocas preexistentes, y en consecuencia, un rango de promediado en el tiempo de varios miles de años.

Con la finalidad de discriminar de manera cuantitativa los medios ambientes en el área de estudio, se obtuvieron las Componentes Principales (Yamane, 1973) de la matriz de covarianza de la estructura espacial de la tanatocenosis por cada una de las estaciones del año. En este análisis no se consideró a la especie más dominante, *Ammonia beccarii parkinsoniana*, debido a que es un factor común en todas las localidades en todas las estaciones del año.

Los resultados del análisis de Componentes Principales son consistentes con los obtenidos cualitativamente de las tanatocenosis y del promedio estacional de la biocenosis. Aún cuando la estructura de las Componentes Principales de la tanatocenosis varía con las estaciones del año (Figura 16), en general, la primera componente principal agrupa consistentemente a los tres

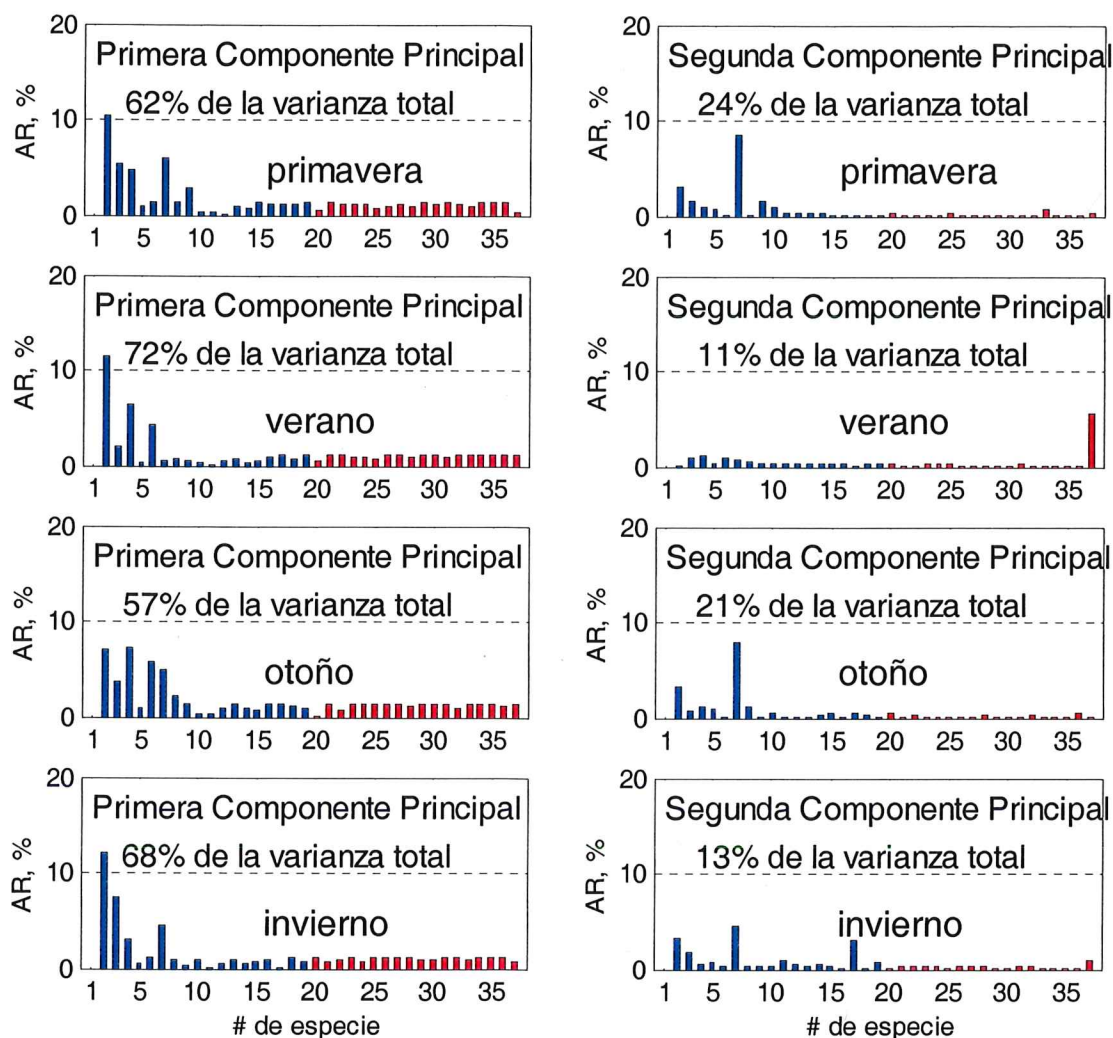


Figura 16. Primera y Segunda Componentes Principales de la tanatocenosis en cada una de las estaciones del año, sin considerar a la especie dominante. Las barras azules indican las especies que se encuentran tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis y las barras rojas indican las especies que solo se encuentran en la tanatocenosis. El # de especie corresponde al número de especie que se indica en la Tabla 2.

ambientes (intermareal medio, intermareal inferior y submareal) de las Isletas y Zacatosa y al ambiente submareal de Campo Don Abel. La segunda componente principal agrupa consistentemente a los ambientes intermareal medio e intermareal inferior de El Faro y de Campo Don Abel.

Las especies que mayormente contribuyen a la primera componente principal en forma decreciente en las 4 estaciones del año son: *Ammonia b. tepida*, *Criboelphidum excavatum lidoense*, *Bucella tenerrima* y *Criboelphidum gunteri*. En menor magnitud, pero de manera consistente, la primera componente principal agrupa también a las especies que no tienen contraparte en las biocenosis.

La especie que mayormente contribuye a la segunda componente principal es *Criboelphidum gunteri*, y solamente en verano es diferente debido a que predomina el taxa de las especies no identificadas.

Las agrupaciones ambientales se ilustran con el área sombreada en las Tablas 4 a 7, en donde se indica la correlación entre la estructura de la abundancia relativa de cada una de las localidades, con la primera y la segunda componentes principales, respectivamente. Evidentemente estas agrupaciones discriminan diferencias ambientales entre las localidades del norte y del sur, debidas respectivamente a la cercanía y alejamiento con el delta del Río Colorado, donde el tipo de sustrato en el norte es un sustrato de material hacia granos finos típicos de los ríos, a diferencia del sur del delta, que es un material hacia los granos gruesos y típico de playas.

Tabla 4. Coeficientes de correlación de la estructura espacial de la tanatocenosis con las dos primeras componentes principales en **primavera**. El área sombreada indica la mejor correlación.

	Coeficientes de correlación con la Primera Componente Principal			Coeficientes de correlación con la Segunda Componente Principal		
	<i>Intermareal medio</i>	<i>Intermareal inferior</i>	<i>Submareal</i>	<i>Intermareal medio</i>	<i>Intermareal inferior</i>	<i>Submareal</i>
<i>Zacatosa</i>	0.86	0.89	0.80	-0.34	-0.29	-0.44
<i>Isletas</i>	0.90	0.93	0.93	-0.35	-0.30	-0.13
<i>Don Abel</i>	0.38	0.60	0.90	0.90	0.77	0.34
<i>El Faro</i>	0.64	0.62	-----	0.70	0.13	-----

Tabla 5. Coeficientes de correlación de la estructura espacial de la tanatocenosis con las dos primeras componentes principales en **verano**. El área sombreada indica la mejor correlación.

	Coeficientes de correlación con la Primera Componente Principal			Coeficientes de correlación con la Segunda Componente Principal		
	<i>Intermareal medio</i>	<i>Intermareal inferior</i>	<i>Submareal</i>	<i>Intermareal medio</i>	<i>Intermareal inferior</i>	<i>Submareal</i>
<i>Zacatosa</i>	0.92	0.86	0.98	-0.09	-0.07	-0.01
<i>Isletas</i>	0.96	0.95	0.94	-0.01	-0.08	0.01
<i>Don Abel</i>	-----	0.75	0.80	-----	0.20	0.13
<i>El Faro</i>	-----	-0.03	-----	-----	0.98	-----

Tabla 6. Coeficientes de correlación de la estructura espacial de la tanatocenosis con las dos primeras componentes principales en **otoño**. El área sombreada indica la mejor correlación.

	Coeficientes de correlación con la Primera Componente Principal			Coeficientes de correlación con la Segunda Componente Principal		
	<i>Intermareal medio</i>	<i>Intermareal inferior</i>	<i>Submareal</i>	<i>Intermareal medio</i>	<i>Intermareal inferior</i>	<i>Submareal</i>
<i>Zacatosa</i>	0.71	0.85	0.81	-0.35	-0.41	-0.12
<i>Isletas</i>	0.90	0.90	0.89	-0.28	-0.32	-0.37
<i>Don Abel</i>	0.57	0.84	0.12	0.80	0.48	-0.14
<i>El Faro</i>	0.49	0.86	-----	0.80	0.39	-----

Tabla 7. Coeficientes de correlación de la estructura espacial de la tanatocenosis con las dos primeras componentes principales en **invierno**. El área sombreada indica la mejor correlación.

	Coeficientes de correlación con la Primera Componente Principal			Coeficientes de correlación con la Segunda Componente Principal		
	<i>Intermareal medio</i>	<i>Intermareal inferior</i>	<i>Submareal</i>	<i>Intermareal medio</i>	<i>Intermareal inferior</i>	<i>Submareal</i>
<i>Zacatosa</i>	0.94	0.97	0.94	-0.07	-0.12	-0.11
<i>Isletas</i>	0.93	0.93	0.95	-0.33	-0.29	-0.24
<i>Don Abel</i>	0.67	0.36	0.90	0.30	0.37	-0.03
<i>El Faro</i>	0.54	0.61	-----	0.70	0.66	-----

3.4.2 Tanatocenosis – promedio anual

Debido a que al analizar depósitos antiguos de sedimento no es posible observar cambios estacionales en la tanatocenosis de los foraminíferos, el promedio anual de la tanatocenosis constituye la analogía más cercana a la tanatocenosis de foraminíferos en depósitos antiguos de sedimento, y a su vez constituye un modelo ecológico actual que puede ser comparado con tanatocenosis antiguas.

En este caso, el promedio anual de la tanatocenosis es muy ilustrativo porque además de la estructura de la abundancia relativa, la presencia o ausencia de diferentes especies de foraminíferos permite discriminar medios ambientes. Una inspección visual del promedio anual de la tanatocenosis (Figura 17) permite discriminar cualitativamente tres ambientes: El Faro fuera del área deltaica; Campo Don Abel donde termina el área deltaica, y el ambiente propiamente deltaico que agrupa a las Isletas y a Zacatosa. En las Isletas y en Zacatosa se observa un patrón muy similar en la estructura de la abundancia relativa de las primeras 19 especies y distinto al que se observa en Campo Don Abel y en El Faro. Particularmente notorio en estas dos últimas localidades es el aumento en la abundancia de *Criboelphidium gunteri* y la presencia de *Eponides babsae* en Campo Don Abel.

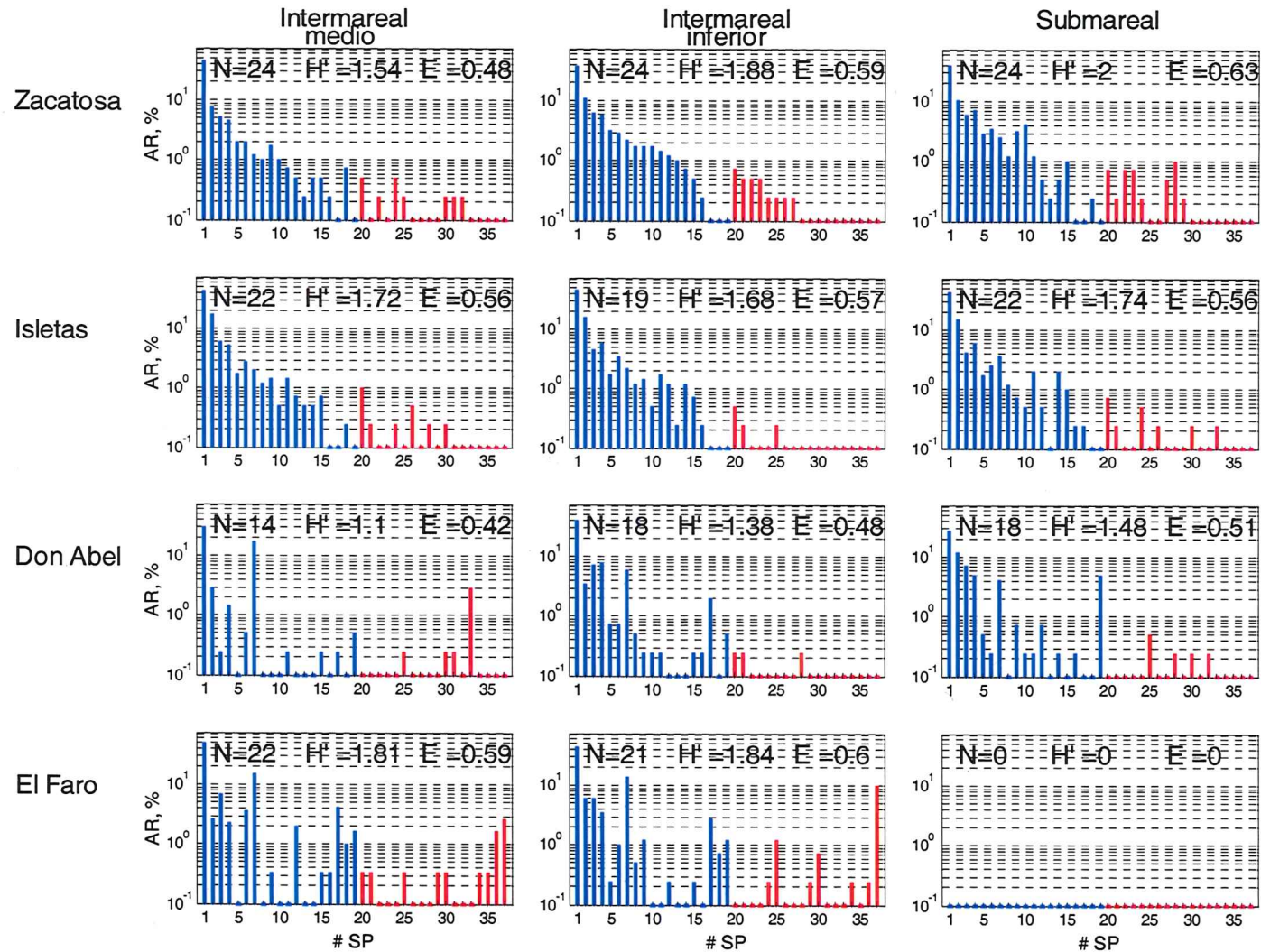


Figura 17. **Promedio anual** de la Abundancia Relativa de foraminíferos bentónicos en la tanatocenosis en las cuatro localidades: Zacatosa, Isletas, Campo Don Abel y El Faro. La letra N indica el número de especies; H' el índice de diversidad y E indica el índice de equidad ambos de Shannon Wiener, el # SP corresponde al número de especie que se indica en la Tabla 2. Las barras azules indican las especies que se encuentran tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis y las barras rojas indican las especies que solo se encuentran en la tanatocenosis.

La mayor abundancia relativa de *Criboelphidium gunteri* en Campo Don Abel y en El Faro pudiera estar relacionada con el tamaño de grano que es similar en ambas localidades y diferente al de las localidades del norte.

Un aspecto distintivo de El Faro es que entre las especies que no tienen contraparte en la biocenosis, 4 de ellas, de la 34 a la 37, no están presentes en las otras localidades, estas especies son *Trochamina sp.*, *Bolivinopsis*, *Trochamina hadai* y *especies sin identificar*. Las especies sin identificar se encontraron recristalizadas y corresponden a fósiles que deben provenir de las terrazas costeras del Pleistoceno adyacentes a la playa en donde se localizó el transecto de los muestreos.

Cabe mencionar que las especies de la 20 a la 33 pudieran estar indicando el cambio de un medio ambiente estuarino a antiestuarino, considerando que estos foraminíferos no tienen contraparte en las biocenosis debido a que provienen de depósitos más antiguos de sedimento y que han sido incorporados al medio debido a la erosión del delta.

El análisis de las Componentes Principales (Figura 18) del promedio anual de la tanatocenosis, excluyendo a la especie dominante, es consistente con el análisis cualitativo anterior. La primera Componente Principal agrupa a las Isletas, a Zacatosa y al ambiente submareal de Campo Don Abel y la segunda

Componente Principal agrupa a los ambientes intermareales de El Faro y de Campo Don Abel.

Las especies que mayormente contribuyen a la primera componente principal en forma decreciente son: *Ammonia b. tepida*, *Criboelphidum excavatum lidoense*, *Bucella tenerrima* y *Criboelphidum gunteri*. En menor magnitud, pero de manera consistente, la primera componente principal agrupa también a las especies que no tienen contraparte en las biocenosis.

La especie que mayormente contribuye a la segunda componente principal es *Criboelphidum gunteri* y con menor abundancia *Ammonia b. tepida* y el taxa de las especies no identificadas.

En la Tabla 8 se muestra el coeficiente de correlación de la estructura espacial del promedio estacional de la tanatocenosis con las dos primeras componentes principales correspondientes.

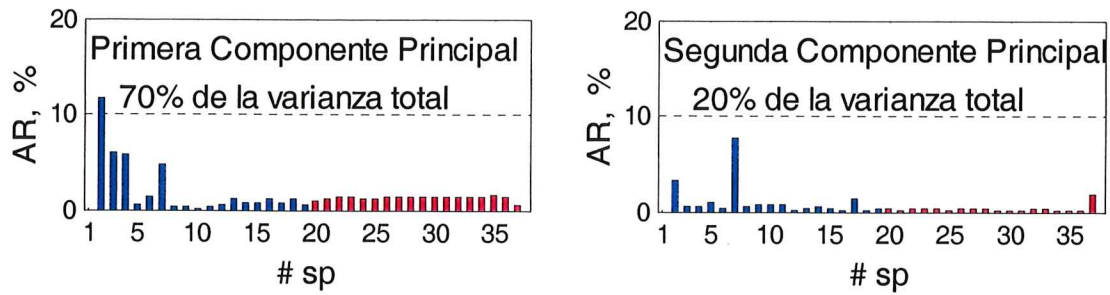


Figura 18. Primera y Segunda Componentes Principales del promedio anual de tanatocenosis, excluyendo a la especie dominante. Las barras azules indican las especies que se encuentran tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis y las barras rojas indican las especies que solo se encuentran en la tanatocenosis. Los números de las abscisas corresponden al número de las especies de la Tabla 2.

Tabla 8. Coeficientes de correlación de la estructura espacial del promedio anual de tanatocenosis con la primera y con la segunda componentes principales correspondientes. El área sombreada indica la mejor correlación.

	Coeficientes de correlación con la Primera Componente Principal			Coeficientes de correlación con la Segunda Componente Principal		
	Intermareal medio	Intermareal inferior	Submareal	Intermareal medio	Intermareal inferior	Submareal
Zacatosa	0.95	0.96	0.93	-0.25	-0.24	-0.23
Isletas	0.93	0.94	0.95	-0.29	-0.28	-0.20
Don Abel	0.43	0.79	0.92	0.80	0.33	-0.03
El Faro	0.55	0.61	-----	0.80	0.68	-----

El hecho de que consistentemente, tanto la variabilidad estacional como el promedio anual de la tanatocenosis, agrupan al ambiente submareal de Campo Don Abel con las Isletas y Zacatosa, es un indicador de que las condiciones ambientales son semejantes en estas localidades, y se caracterizan por la abundancia de sedimento fino que es transportado del ambiente deltaico al ambiente submareal de Campo Don Abel. En tanto, El Faro y el ambiente intermareal de Campo Don Abel, caracterizados por sedimento relativamente mas grueso, indican la transición del ambiente deltaico al marino costero.

3.5 Análisis de Isótopos $\delta^{18}\text{O}$

Las razones isotópicas $\delta^{18}\text{O}$ obtenidas de las testas de *Ammonia becarii parkinsoniana* no muestran claramente patrones de variación espacial y temporal en el contenido de $\delta^{18}\text{O}$ y tampoco se observa una relación de éstas con la temperatura (Figura 19). Sin embargo, es notable que los valores más negativos tanto en la biocenosis como en la tanatocenosis ocurran durante el invierno en la Isla Zacatosa con valores de hasta -4.1‰ en la biocenosis y de -5.5‰ en la tanatocenosis.

De acuerdo a los datos obtenidos de $\delta^{18}\text{O}$ en moluscos en las cercanías de esta localidad antes del control de las aguas del río, los valores por la presencia de agua dulce son de hasta -6‰, y los valores atribuidos exclusivamente a la variación de la temperatura en ausencia de agua dulce son de hasta -2.5‰. Cabe la posibilidad de que los valores de $\delta^{18}\text{O}$ encontrados en invierno en los foraminíferos indiquen la presencia de agua dulce proveniente del Río Colorado.

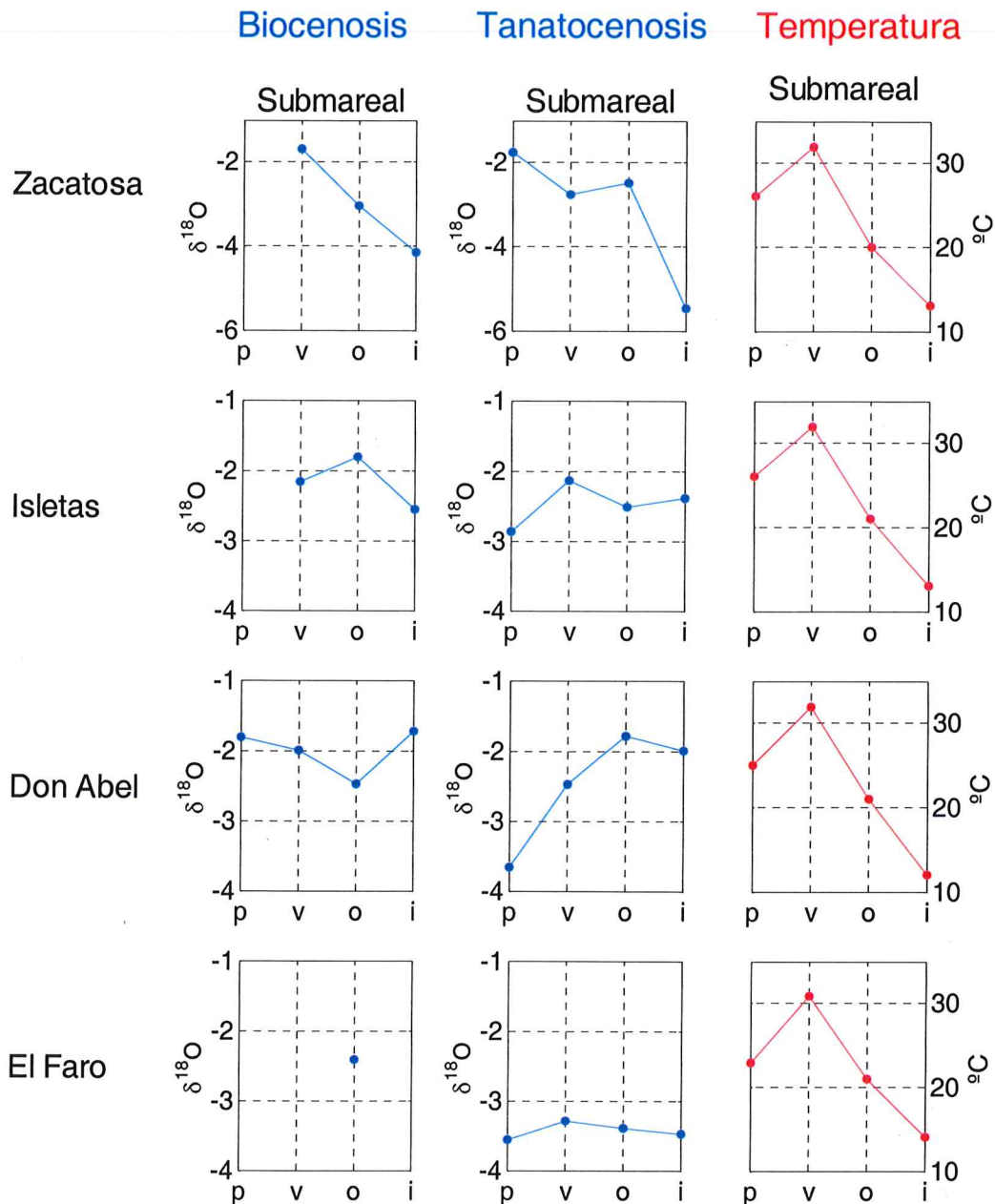


Figura 19. Variación estacional de la temperatura y del contenido de isótopos $\delta^{18}\text{O}$ de la biocenosis y de la tanatocenosis de *Ammonia becarii parkinsoniana* durante primavera (p), verano(v), otoño (o) e invierno (i), en el ambiente submareal de las cuatro localidades de muestreo.

De acuerdo a los reportes de CONAGUA de desfogues por el Canal Barrote hacia el río (Figura 20), existieron flujos tanto en invierno 2003-2004 como en otoño 2004 (ver Tabla 9). Y aunque no existe la certeza de que éstos hayan llegado hasta la desembocadura, es coincidente con los valores más negativos en el área y época del año. Fuera del área de influencia de la desembocadura, el rango del $\delta^{18}\text{O}$ en la biocenosis es de -1.81‰ a -2.47‰ en un rango de temperatura de 12°C a 32°C. Estos rangos son similares a los reportados para *Chione fluctifraga* de 0.79‰ a -2.48‰ en ausencia de agua dulce.

En la tanatocenosis (Figura 19), en el lugar más lejano a la desembocadura, en El Faro, el rango de variación del $\delta^{18}\text{O}$ es bastante estrecho, entre -3.47‰ y -3.55‰, estos valores podrían sugerir la presencia de agua dulce, sin embargo, debemos considerar que en esta localidad existe un cantil costero del Pleistoceno donde las testas de foraminíferos fósiles presentan rangos de variación de -2.5‰ a -7.36‰ (Ruvalcaba, 2005), por lo que es muy probable que el promediando en el tiempo ocurra con foraminíferos fósiles, los que al mezclarse con los recientes promedien valores más negativos de $\delta^{18}\text{O}$. Cabe aclarar que el estado de conservación de los foraminíferos fósiles es excelente, lo que los hace prácticamente indistinguibles de los recientes.

En el resto de las localidades, en la tanatocenosis, los valores isotópicos variaron en un rango de -1.76‰ a -3.57‰, sin mostrar un patrón definido. Este

comportamiento puede ser producto del promediado en el tiempo, es decir, de la mezcla de varias generaciones de foraminíferos en tiempos variables (Martin, 1999), los cuales pueden estar siendo continuamente mezclados por los flujos y reflujos de las mareas y por efecto del oleaje.

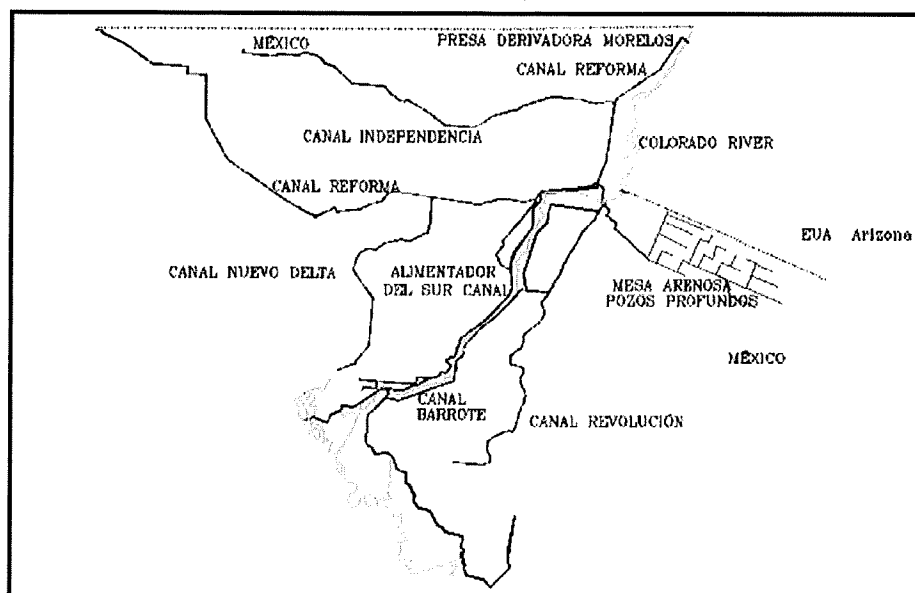


Figura 20. Red de canales de distrito de riego 014 Río Colorado, Baja California y Sonora. Figura tomada de Ruiz, *et al.*, 2004.

Tabla 9. Desfogues al Río Colorado por el Canal Barrote. El área sombreada indica los desfogues en invierno y otoño. (MM3 = millones de metros cúbicos)

DISTRITO DE RIEGO 14 RÍO, COLORADO													
Canal Barrote Km.18+380													
DESFOGUES AL RÍO (MM3):													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL (MM3)
2003	108	3,524	776	3,277	4,752	108	221	0	0	0	1,617	360	14,743
2004	1,225	0	0	0	0	0	0	0	0	1,833	747	0	3,805

Fuente: Comunicación personal con autoridades de la Comisión Nacional del Agua y registros de información del Departamento de Estadística Agrícola del Distrito de Riego 014 del Río Colorado.

4. Conclusiones

El análisis de la estructura de la abundancia relativa tanto de las biocenosis como de las tanatocenosis de los foraminíferos bentónicos en el la región occidental del delta del Río Colorado discrimina dos grandes medios ambientes. Un ambiente deltaico que agrupa a Zacatosa, a las Isletas y al ambiente submareal de Campo Don Abel y un ambiente con menor influencia del delta que agrupa a El Faro y al ambiente intermareal de Campo Don Abel. Estos dos grandes medios ambientes coinciden consistentemente con los ambientes caracterizados por la textura de los sedimentos.

La estructura promedio de la abundancia relativa de la biocenosis representa un modelo ecológico actual, que al compararse con la estructura promedio de la tanatocenosis permite identificar cambios en el medio ambiente empleando como indicadores a los especímenes que no tienen contraparte en la biocenosis.

El hecho de que coincidan los dos medios ambientes, tanto los identificados con la estructura espacial de la tanatocenosis, como los caracterizados por la textura de los sedimentos, no significa que la estructura de la abundancia relativa de los foraminíferos bentónicos esté únicamente correlacionada con la textura del sedimento. Se debe tomar en consideración

que el sedimento del área deltaica es más rico en nutrientes que el sedimento fuera de la influencia deltaica.

Las razones isotópicas $\delta^{18}\text{O}$ obtenidas de las testas de la biocenosis de *Ammonia becarii parkinsoniana* no mostraron una relación clara con los cambios estacionales de temperatura. Sin embargo, el rango de variación encontrado en las estaciones alejadas de la desembocadura del río, donde actualmente no existe influencia de agua dulce, fue de -1.67‰ a -2.55‰ , el cual puede considerarse como efecto solo de la temperatura. Solo en Isla Zacatosa, cerca de la desembocadura del río, se encontraron valores de hasta -4.13‰ , probablemente por las descargas de agua dulce provenientes de los drenajes agrícolas del valle de Mexicali.

Aún con el hecho de que los foraminíferos se encuentran promediados en el tiempo, las razones isotópicas $\delta^{18}\text{O}$ obtenidas de las testas de la tanatocenosis de *Ammonia becarii parkinsoniana* reflejaron la influencia de agua dulce, por lo que pueden ser utilizados como indicadores de cambios ambientales en el delta del Río Colorado.

5. Bibliografía

- Álvarez-Borrego, 1983. Gula of California. En: Ketchum, B.H. (Ed) Ecosystems of the World 26: Estuaries and Enclosed Seas. Cap. 17. p. 427-449. Elsevier Sci. Pub. Co. New York.
- Bandy Orville L., 1961. Distribución of foraminifera, radiolaria and diatoms in sediments of the Gula of California. *Micropaleontology*, vol 7, no. 1, pp.1-26.
- Barbieri, R., 1996. Syndepositional taphonomic bias in foraminifera from fossil intertidal deposits, Colorado delta (Baja California, Mexico). *Journal of Foraminiferal Research*, 26: 331-341.
- Barbieri, R., 2001. Taphonomic implications of foraminiferal composition and abundance in intertidal mud flats, Colorado River Delta (Mexico) *Micropaleontology*, Vol.47, no. 1, pp. 73-86
- Basson Philip W y Murray John W., 1995. Temporal variations in four species of intertidal foraminiferal, Bahrain, Arabian Gulf. *Micropaleontology*, vol. 41, no.1. pp. 69-76
- Boltoyskoy E., Carter W.R., 1976. Recent foraminifera, Ed. The Hague:Junk, 515pp
- Bray, N.A. y Robles, J.M., 1991. Physical oceanography of the Gula of California. In: J.P. Dauphin yB.R.T. Simoneit, Amer. Assoc. Petr. Geol. Memoir, 47: 511-533
- Brower, James E., Jerrold H. Zar, 1979. Field and laboratory methods for general ecology. Dubugue, IA: W.C. Brown Publishers
- Carriquiri 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. pp. 125-145
- Chang Yi-Maw, 1967. Accurary of Fossil Percentage Estimation. *Journal of Paleontology*, Vol. 41, No. 2 (Mar.,1967), pp. 500-502
- Chávez López S., Álvarez Arellano A., 2006. Batrimetría, sedimentos y ambientes de depositos en la laguna costera de Guásimas Sonora, México. *Investigaciones Geograficas, Boletín del Istituto de Geografía,UNAM. IISNO188, Num. 60, pp 7-21*

- Debenay J-P., Zhang J., Beneteau E., Stouff V., Geslin E., Redois F. & Fernandez-Gonzalez M., 1998. *Ammonia beccarii* and *Ammonia tepida* (Foraminifera): morphofunctional arguments for their distinction. *Marine Micropaleontology*, v 34, p. 235-244.
- Dryden, A. L., 1931, Accuracy in percentage representation of heavy mineral frequencies: *Proc. Natl. Acad. Sci.*, v. 17, p. 233-238.
- Flessa ,K.W., 1993. Time-averaging and temporal resolution in Recent marine shelly faunas. In: S.M. Kidwell and A. K. Behrensmeier (Editors). *Taphonomic Approaches to Time Resolution in Fossil Assemblages*. *Paleontol. Soc. Short Courses Paleontol.*, 6: 9-33.
- Jorissen, F. J. and I. Wittling, 1999. Ecological evidence from the live-dead comparisons of benthic foraminiferal faunas off Cape Blanc (northwest Africa) *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 149; 151-170
- Kleinpell R.M., 1980. *The Miocene Stratigraphy of California Revisited*. The American Association of Petroleum Geologists .Edward Brothel, Inc. Ann Arbor, Michigan, U.S.A. 349 pp
- Lankford, R.R. Phleger, F.B., 1973. Foraminifera from the nearshore turbulent zone Westrn North America. *Journal of Foraminiferal Research* Number 3, pp.101-132
- Lavín, M.F, Godínez, V.M. y Álvarez, L.G., 1998. Inverse-estuarine features of the Upper Gulf of California: *Estuarine, Coastal and shelf Science*, 47: 769-795
- Lewis, K.B., 1970. A key to the Recent Genera of the Foraminiferida. New Zealand Department of Scientific and Industial Research.. *Bulletin* 196.
- Loeblich, A. R., and Tappan, H., 1987. *Foraminiferal genera and their classification*. Von Nostrand Reinhold Co., New York
- Marron Cabrera Melisa, 2003. Determinación de patrones de corrientes por medio de estructuras primarias (ondulitas) en las planicies de marea al Noroeste del Golfo de California. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B. C. 53pp
- Martin, R.E., 1999. *Taphonomy A Process Approach*. Cambridge University Press, Cambridge. 508 pp.

- Martin, R.E., Harris, M. S., Liddell, W.D., 1995. Taphonomy and time-averaging of foraminiferal assemblages in Holocene tidal flat sediments, Bahía La Choya, Sonora, Mexico (northern Gulf of California). *Marine Micropaleontology*, 26: 187-206
- Murray, J. W., 1991. *Ecology and Paleoecology of Benthic Foraminifera*. Longman Scientific and Technical/Wiley, UK/New York, 397 pp.
- Murray, J. W., 2000. When does environmental variability become environmental change? The proxy record of benthic foraminifera. In R. E. Martin ed. *Environmental Micropaleontology*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New
- Patterson R. T., and E. Fishbein, 1989. *Journal of Paleontology*, 63(2), pp. 245-248.
- Rodriguez C.A., Flessa K. W., Tellez-Duarte M. A., Dettman D. L., Avila-Serrano G.A., 2001. Macrofaunal and isotopic estimates of the former extent of the Colorado River estuary, upper Gulf of California, Mexico. *Journal of Arid Environments* 49: 183-193.
- Ruiz V.M., Navarro J., Paredes M., Andrade B., Anguiano J., Delgado F., Begovich O., Iñiguez J. y Ramírez J.J., 2004. Medicion y operación remota en el distrito de riego 014 Rio Colorado, Baja California y Sonora. Anuario IMTA.
- Ruvalcaba-Baroni I., 2005. *Paleoecología de foraminíferos bentónicos del Pleistoceno en El Faro, Baja California, México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC.
- Sánchez-González, A., 1995. *Mineralogía de los sedimentos recientes en el Delta del Río Colorado*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC.
- Staff G. M., Stanton R. J., Powell E. N., Cummins G., 1986. Time-averaging, taphonomy and their impact on the paleocommunity reconstruction: death assemblages in Texas bays, *Bulletin of the Geological Society of America* 97: 428-443
- Thompson, Robert Wayne., 1968. *Tidal flat sedimentation on the Colorado River Delta, northwestern Gulf of California*. Boulder, Colo:Geological Society of America

Walton, W.R., y Sloan, B.J., 1990. The genus *Ammonia* Brünnich, 1772: its geographic distribution and morphologic variability: *Journal of Foraminiferal Research*. v.20, p.128-156.

Yamane, Taro, 1973. *Estadística*. 3a ed., México: Harla, 1973. 771 p. ISBN: 006-3197-75-8.

Anexos

	PRIMAVERA											
Parámetros texturales	Zacatosá			Isletas			Campo Don Abel			El Faro		
	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>
Media ($M\phi$)	4.5	4.4	4.6	3.3	4.1	3.4	2.1	2.2	1.7	7.1	2.8	-----
Desviación ($\delta\phi$)	1.2	0.8	1.0	0.7	1.6	0.7	0.7	1.7	1.1	0.7	1.1	-----
Asimetría ($A\phi$)	1.8	2.4	2.1	3.5	1.6	3.5	0.5	2.4	4.3	0.5	1.6	-----
Kurtosis ($K\phi$)	5.8	11.5	7.6	23.9	4.1	20.5	3.8	7.8	23.5	2.4	8.4	-----

	VERANO											
Parámetros texturales	Zacatosá			Isletas			Campo Don Abel			El Faro		
	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>
Media ($M\phi$)	5.6	4.5	4.4	3.7	3.5	3.4	7.0	1.8	7.0	-----	1.8	1.9
Desviación ($\delta\phi$)	1.4	0.6	0.7	0.5	0.6	0.5	0.8	0.6	0.9	-----	1.2	0.6
Asimetría ($A\phi$)	0.7	2.6	2.3	0.3	1.8	0.3	0.1	0.0	-0.2	-----	2.8	-1.7
Kurtosis ($K\phi$)	2.2	15.0	12.8	2.9	15.6	3.9	3.0	4.3	3.0	-----	13.3	3.9

Anexo I. Parámetros texturales media ($M\phi$), desviación ($\delta\phi$), asimetría ($A\phi$) y kurtosis ($K\phi$) en las cuatro localidades (Zacatosá, Isletas, Campo Don Abel y El Faro), en los ambientes intermareal medio e inferior y en el submareal en primavera y verano

	OTOÑO											
Parámetros texturales	Zacatosá			Isletas			Campo Don Abel			El Faro		
	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>
Media ($M\phi$)	4.6	4.0	4.3	3.9	3.7	3.3	2.1	2.6	1.8	2.0	2.1	-----
Desviación ($\delta\phi$)	0.9	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.9	2.0	0.6	0.7	1.0	-----
Asimetría ($A\phi$)	2.3	1.5	2.4	0.4	0.2	0.3	2.7	1.5	0.3	1.1	0.7	-----
Kurtosis ($K\phi$)	9.6	12.4	13.7	3.9	3.3	4.0	15.7	4.2	5.1	6.2	3.4	-----

	INVIERNO											
Parámetros texturales	Zacatosá			Isletas			Campo Don Abel			El Faro		
	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>	<i>int.medio</i>	<i>int.inf</i>	<i>submareal</i>
Media ($M\phi$)	4.8	4.2	4.5	3.9	3.8	3.4	1.9	1.8	7.0	2.2	2.5	-----
Desviación ($\delta\phi$)	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	1.0	0.5	0.9	0.7	0.9	-----
Asimetría ($A\phi$)	2.0	2.1	2.2	2.4	2.7	3.2	3.4	-0.4	0.1	2.8	1.8	-----
Kurtosis ($K\phi$)	6.7	9.2	8.8	11.6	13.5	21.0	19.9	3.5	3.0	19.3	11.3	-----

Anexo II. Parámetros texturales media ($M\phi$), desviación ($\delta\phi$), asimetría ($A\phi$) y kurtosis ($K\phi$) en las cuatro localidades (Zacatosá, Isletas, Campo Don Abel y El Faro), en los ambientes intermareal medio e inferior y en el submareal en otoño e invierno

Anexo III. Abundancia Relativa (%) de la Tanatocenosis de foraminíferos bentónicos encontrados en el área de estudio en primavera. El # sp corresponde al número de especie que se indica en la Tabla 2.

PRIMAVERA-TANATOCENOSIS												
sp #	El Faro			Campo Don Abel			Isletas			Zacatosa		
	<i>I_med</i>	<i>I_inf</i>	<i>Subm</i>	<i>I_med</i>	<i>I_inf</i>	<i>Subm</i>	<i>I_med</i>	<i>I_inf</i>	<i>Subm</i>	<i>I_med</i>	<i>I_inf</i>	<i>Subm</i>
1	60	55	*	42	55	47	58	54	54	66	44	33
2	5	7	*	0	1	14	16	18	9	9	10	15
3	0	9	*	0	4	5	6	7	4	8	9	8
4	5	1	*	0	4	3	5	6	7	6	7	9
5	0	0	*	0	2	1	1	2	2	2	6	5
6	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	7	*	42	17	14	2	3	4	1	3	1
8	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	4	*	0	1	2	5	5	3	1	7	11
10	0	0	*	0	0	0	1	2	1	1	1	10
11	0	0	*	0	0	0	1	0	3	1	1	1
12	5	0	*	0	0	1	1	1	0	2	2	0
13	0	0	*	0	0	0	1	0	0	1	1	1
14	0	0	*	0	0	0	2	1	1	0	1	1
15	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	1
16	0	0	*	0	1	0	0	0	0	0	1	0
17	0	0	*	0	0	0	0	0	1	0	0	0
18	0	0	*	0	0	0	0	0	0	2	0	0
19	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	*	0	0	0	2	0	2	0	2	1
21	0	0	*	0	1	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	1	1
23	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	1	1
24	0	0	*	0	0	0	0	0	1	0	0	0
25	0	5	*	0	0	2	0	0	0	0	0	0
26	0	0	*	0	0	0	2	0	0	0	1	0
27	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	1	1
28	0	0	*	0	0	1	0	0	0	0	0	3
29	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	*	0	0	1	0	0	0	1	0	0
31	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	*	0	0	1	0	0	0	0	0	0
33	0	0	*	8	0	0	0	0	1	0	0	0
34	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	12	*	0	0	8	0	0	0	0	6	0

Anexo VIII. Abundancia Relativa (%) de la Biocenosis de foraminíferos bentónicos encontrados en el área de estudio en verano. El # sp corresponde al número de especie que se indica en la Tabla 2.

VERANO- BIOCENOSIS												
sp #	El Faro			Campo Don Abel			Isletas			Zacatosa		
	<i>I_med</i>	<i>I_inf</i>	<i>Subm</i>	<i>I_med</i>	<i>I_inf</i>	<i>Subm</i>	<i>I_med</i>	<i>I_inf</i>	<i>Subm</i>	<i>I_med</i>	<i>I_inf</i>	<i>Subm</i>
1	*	0	0	0	22	38	14	11	15	11	19	6
2	*	0	0	0	6	1	9	8	0	3	8	1
3	*	0	0	0	4	0	0	0	1	0	1	0
4	*	0	0	0	6	0	2	1	1	0	1	0
5	*	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	0
6	*	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
7	*	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
8	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	*	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
11	*	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
12	*	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0
13	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
14	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
15	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	*	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Anexo IX. Abundancia Relativa (%) de la Biocenosis de foraminíferos bentónicos encontrados en el área de estudio en otoño. El # sp corresponde al número de especie que se indica en la Tabla 2.

OTOÑO- BIOCENOSIS												
sp #	<i>El Faro</i>			<i>Campo Don Abel</i>			<i>Isletas</i>			<i>Zacatosa</i>		
	<i>I_med</i>	<i>I_inf</i>	<i>Subm</i>	<i>I_med</i>	<i>I_inf</i>	<i>Subm</i>	<i>I_med</i>	<i>I_inf</i>	<i>Subm</i>	<i>I_med</i>	<i>I_inf</i>	<i>Subm</i>
1	3	15	*	32	32	32	18	10	14	37	8	12
2	0	1	*	0	4	12	6	1	6	4	4	5
3	0	0	*	0	1	0	1	1	1	1	0	0
4	0	1	*	1	2	4	3	1	3	2	1	1
5	0	0	*	0	0	0	1	0	0	1	0	1
6	0	0	*	1	3	4	1	0	1	3	0	3
7	1	0	*	6	3	0	2	1	0	1	1	1
8	0	0	*	0	1	0	1	0	1	0	1	0
9	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	*	1	0	4	0	0	0	0	0	0
11	0	0	*	1	0	0	0	1	0	0	0	1
12	0	1	*	1	1	0	0	0	1	1	1	1
13	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	*	0	0	0	1	0	0	0	0	0
16	0	0	*	0	1	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	1	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	*	1	1	4	0	0	0	0	0	0

