Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

FERTILIDAD DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA PARA LOS ULTIMOS 130 AÑOS: PRESERVACION, CALIBRACION Y RECONSTRUCCION BASADA EN FORAMINIFEROS PLANCTICOS EN SEDIMENTOS LAMINADOS EN LA CUENCA DE SAN LAZARO

TESIS
MAESTRIA EN CIENCIAS

BRANLY OLIVIER SALOME

Ensenada, Baja California, Mexico, Octubre de 1998

TESIS DEFENDIDA POR

BRANLY OLIVIER SALOMÉ

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITE

Dr. Juan Carlos Herguera García

Director del Comité

Dr. Horacio Jesús de la Cueva Salcedo

Miembro del Comité

Dr. Jesús Arturo Martín Barajas

Miembro del Comité

Dr. Jaime Färber Lorda

Jefe del Departamento de Ecología

Dr. Federico Graef Ziehl

Director de Estudios de Posgrado

5 de octubre de 1998

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA.

DIVISIÓN DE OCEANOLOGÍA.
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA.

FERTILIDAD DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA PARA LOS ÚLTIMOS 130 AÑOS: PRESERVACIÓN, CALIBRACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN BASADA EN FORAMINIFEROS PLÁNCTICOS EN SEDIMENTOS LAMINADOS DE LA CUENCA DE SAN LÁZARO.

TESIS
que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS presenta:

BRANLY OLIVIER SALOMÉ

Ensenada, Baja California, México. Octubre de 1998.

RESUMEN de la Tesis de **Branly Olivier Salomé**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de **MAESTRO EN CIENCIAS** en **ECOLOGÍA MARINA**. Ensenada, Baja California. México. Octubre de 1998.

FERTILIDAD DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA PARA LOS ÚLTIMOS 130 AÑOS: PRESERVACIÓN, CALIBRACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN BASADA EN FORAMINIFEROS PLÁNCTICOS EN SEDIMENTOS LAMINADOS DE LA CUENCA DE SAN LÁZARO.

Resumen aprobado por:

Dr. Juan Carlos Herguera G.
Director de tesis.

Los análisis de la composición de foraminíferos plánctícos y patrones de preservacion de calcita en sedimentos laminados de tres núcleos recogidos en diferentes localidades de la Cuenca de San Lázaro (CSALA), en el margen continental de Baja California Sur (25.3°N y 112.83°W) muestran como los patrones de acumulación y preservación de las asociaciones de foraminíferos plánctícos reflejan escalas de tiempo interanual e interdecadal.

Se comparó un registro instrumental de temperatura obtenido de la base de datos COADS para los 45 años recientes (1946-1990), con la temperatura derivada de las asociaciones de foraminíferos plánctícos. El resultado de esta calibración se utilizó para reconstruir la temperatura del mar superficial para periodos anteriores al registro instrumental.

La correlación entre los datos observados de temperatura promedio del mar superficial para el periodo de primavera durante los últimos 45 años y la reconstrucción de temperatura derivada de las asociaciones de foraminíferos plánctícos sugiere que la máxima acumulación de foraminíferos plánctícos transcurre durante el periodo de surgencias costeras en el margen continental de Baja California.

La señal que transfieren los foraminíferos plánctícos acumulados y preservados en los sedimentos de la CSALA en términos de paleotemperaturas, abundancia absoluta, diversidad y dominancia de especies cálidas y frías se encontró modulada por la variabilidad característica del Océano Pacifico Nororiental en escalas de tiempo interanual a interdecadal la que a su vez esta asociada con los patrones de circulación oceánica (eventos de gran escala El Niño, la Circulación del giro subtropical del Pacifico Norte e irradiación solar).

Los foraminíferos proveen una señal coherente con los cambios climatológicos de gran escala en el Océano Pacifico Norte como la intensificación del sistema de baja presión Aletuiano (como resultado de la inestabilidad en la interacción océano-atmósfera) documentados durante los últimos 40 años. Posiblemente éste sea el mecanismo que provocó el descenso en la biomasa de zooplancton en la Corriente de California y la disminución en la acumulación de foraminíferos plánctícos en los sedimentos de la CSALA, asociado a el calentamiento de las aguas superficiales de la Corriente de California.

La preservación de las asociaciones de foraminíferos plánctícos se encontró relacionada con las fluctuaciones en la productividad deducida a partir de las tasas de acumulación de foraminíferos plánctícos que a su vez estaría modulada por los patrones de circulación oceánica con escalas de tiempo interanual e interdecadal.

Palabras clave: foraminíferos plánctico, variabilidad interanual e interdecadal, patrones de circulación oceánica.

ABSTRACT of the Thesis of Branly Olivier Salomé, presented as partial requirement to obtain the MASTER IN SCIENCES grade in MARINE ECOLOGY. Ensenada, Baja California, México. October 1998.

CALIFORNIA CURRENT FERTILITY FOR THE LAST 130 YEARS: PRESERVATION, CALIBRATION, AND RECONSTRUCTION BASED ON PLANKTIC FORAMINIFERA FROM SAN LÁZARO BASIN LAMINATED SEDIMENTS

Analysis from sediment assemblages of planktic foraminifera and calcite preservation patterns in laminated sediments of three cores from San Lázaro basin (CSALA), located in the southern margin of the Baja California (25.3°N to 112.83°W) show, patterns of interannual to decadal variability.

We first compared the instrumental record for the last 45 years, COADS database (1946-1990), with the temperature derived from the assemblages of planktic foraminifera. We then used the results of this calibration to derive the sea surface temperature for periods prior to the instrumental record. These changes are apparent in the nature of the assemblages and in their total flux to the sediments a fact that allows as to infer on the controls of planktic foraminifera production at this site.

The close correlation observed between the reconstructed temperatures derived from assemblages of planktic foraminifera, and the average temperature spring sea surface during the last 45 years suggests that the accumulation of planktic foraminifera correspond to a period of upwelling in the continental margin of Baja California.

The accumulation and preservation of planktic foraminifera in the laminated sediments from CSALA its paleotemperature, absolute abundance, diversity and dominance is modulated by the oceanographic variability characteristic of the North Pacific on interannual to decadal scales. This variability is associated with patterns of oceanic circulation (large-scale events El Niño, the circulation of the subtropical gyre of the North Pacific and solar radiation).

The foraminifers provide a signal that is coherent with large scale climate changes in the North Pacific Ocean as is the intensification of the Aleutian low system (a result of the unstable interaction ocean-atmosphere) documented for the past 40 years. Possibly this is the main mechanism to cause the decrease in the biomass of zooplankton in the California Current and the decrease in the accumulation of planktic foraminifera in the sediments from CSALA, associated with a heating of the surface waters of the California Current.

The preservation of the assemblages of planktic foraminifera are related to the fluctuations in productivity, as deduced from rates of accumulation de planktic foraminifers in turn modulated by the patterns of oceanic circulation on interannual and decadal time scales.

Keywords: planktic foraminifera, interannual and decadal variability, patterns of oceanic circulation.

DEDICATORIA

A mis padres Rafael Olivier Torres y Raquel Salomé Navarrete.

A mis hermanos Edna, Rafael y Said.

A mi Sha.... Jacky'e "TE AMO BEBA".

A mi tío Abraham Salomé Navarrete†.

A mi tía Margarita Olivier Torres.

A Tere†.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Juan Carlos Herguera García por su apoyo, así como su paciencia para la realización de la tesis y el otorgamiento de una beca para la culminación de la misma.

A los miembros de mi comité de tesis: Dr. Juan Carlos Herguera García, Dr. Horacio de la Cueva Salcedo y Dr. Arturo Martín Barajas por sus comentarios y sugerencias en las revisiones de la tesis.

Al Dr. Julio Candela por su ayuda y comentarios en los análisis de series de tiempo.

A M.C. Gladys Bernal por su ayuda en el manejo del paquete estadístico MATLAB.

A mis compañeros de laboratorio: Rosa, Bertha, Ma. Auxilio, Gabriela y Gladys.

A mis compañeros de generación.

A Elia y Ariana.

A mi tío Roberto Olivier Torres.

A la familia Zeferino Torres muy especialmente a Doña Chave.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

CONTENIDO

		Página
I	INTRODUCCIÓN.	1
	OCEANOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.	4
	ANTECEDENTES.	8
II	OBJETIVOS.	10
	HIPÓTESIS DE TRABAJO.	10
III	MATERIALES Y MÉTODOS.	11
	III.1 Descripción del área de estudio.	
	III.2 Muestreo.	14
	III.2.1 Obtención de los sedimentos laminados.	
	III.2.2 Obtención de losas y niveles estratigraficos (láminas y/o muestras).	
	III.3 Dataciones.	15
	III.3.1 Método ^{210}Pb.	
	III.4 Preparación de muestras.	16
	III.4.1 Determinación del peso de las muestras.	
	III.4.2 Secado de las muestras.	
	III.4.3 Lavado de las muestras.	
	III.4.4 Tamizado de las muestras.	
	III.5 Cuantificación e identificación taxonómica.	17
	III.6 Determinación de las propiedades físicas y texturales de los sedimentos.	
	VI.6.1 Porcentaje de agua y arenas.	
	III.7 Correlación de índices relativos.	18
	III.7.1 Correlación de propiedades físicas y texturales de los sedimentos.	
	III.7.2 Correlación del índice faunístico relativo.	
	III.7.3 Correlación de índices de preservación (disolución).	19
	III.8 Relación del flujo de foraminíferos plánctícos con la temperatura.	22
	III. 8.1 Perfil de temperatura.	23
	III.9 Análisis de la composición faunística de foraminíferos plánctícos acumulados y preservados en los sedimentos de la CSALA.	
	III.10 Análisis de datos.	24
	III.10.1 Análisis de series de tiempo.	
	III.10.2 Determinación de la tendencia lineal de las series.	26

CONTENIDO (Continuación)

		Página
IV	RESULTADOS.	27
	IV.1 Correlación de índices relativos.	
	IV.1.1 Correlación de propiedades físicas y texturales de los sedimentos.	
	IVI.1.2 Correlación del índice faunístico relativo.	32
	IV.1.3 Correlación de índices de preservación.	38
	IV.2 Análisis de series de tiempo para los índices de preservación.	58
	IV.3 Calibración del flujo de foraminíferos plánctícos acumulados y preservados en los sedimentos de la CSALA con el registro instrumental COADS y la variabilidad física oceanografica de la región meridional de la Corriente de California.	62
	IV.3.1 Correlación entre el registro instrumental de temperatura COADS, y el registro biótico de temperaturas.	
	IV.3.2 Análisis espectral.	73
	IV.3.3 Relación entre el registro biogénico de temperaturas y la variabilidad física oceanografica.	78
	IV.4 Análisis de la composición faunística de foraminíferos plánctícos acumulada y preservada en los sedimentos de la CSALA con la variabilidad física oceanografica (temperatura).	82
	IV.4.1 Correlación de la abundancia, diversidad y dominancia de foraminíferos plánctícos con temperatura.	
V	DISCUSIONES.	102
VI	CONCLUSIONES.	116
	LITERATURA CITADA.	118

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Representación esquemática de la climatología del Océano Pacífico Nor-Oriental, del sistema de corrientes oceánicas y posición de los principales centros de presión (Baja Aletuiana y Mexicana, y la alta del Pacífico Norte. (a) vientos superficiales flechas vacias, las corrientes superficiales flechas llenas, (b) Corriente Nor-Ecuatorial (CNE), Contra-corriente Nor-Ecuatorial (CCNE), Rama oriental del giro del Pacífico Norte-Corriente de California (ROGPN-CC) Pares *et al.*, (1997).	7
2	Localización del área de estudio y batimetría de la cuenca de San Lázaro (Soutar e Isaacs,1969).	12
3	Probabilidad de precipitación media anual en el margen continental de baja California "Bahía Magdalena" (García *et al.*, 1975). P= Probabilidad de precipitación y mm = milímetros.	13
4	Correlación del porcentaje en agua a nivel de láminas entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. De 0 a 128 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.	29
5	Correlación del contenido en arenas en las láminas entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. De 0 a 128 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.	30
6	Correlación del porcentaje en agua entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. Línea continua es la línea de regresión, las líneas discontinuas muestran la banda de confianza al 95%.	31
7	Media, error estándar y desviación estándar del porcentaje (a) en agua, (b) de arenas, para los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. Estimaciones al (95%) de confianza. ±1 desviación estándar y error estándar.	32
8	Correlación del índice Fb/(Fp+Fb) a nivel de láminas entre los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC. De 0 a 143 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.	36
9	Correlación del índice relativo Fb/(Fp+Fb) (a) entre los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K (b) entre los núcleos BAP96J-6C y CH94-IC. Línea continua es la línea de regresión, las líneas discontinuas muestran la banda de confianza al 95%.	37

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura		Página
10	Media y desviación estándar de la abundancia absoluta de foraminíferos plánctícos(Fp) y bénticos(Fb) (a) entre los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K para la sección de láminas (29 a 54), (b) entre los núcleos BAP96J-6C y CH94-IC para la sección de láminas (113 a 128). Estimaciones al (95%) de confianza. ±1 desviación estándar y error estándar.	38
11	Distribución temporal de los índices de fragmentación (IEFRAG) y paleoecológico *IPA* (IEIPA) previamente estándarizados mediante una transformación Z para el núcleo BAP96J-6C. De 0 a 128 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.	41
12	Distribución temporal del índice de pterópodos para el núcleo BAP96J-6C. De 0 a 128 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.	42
13	Distribución temporal de los índices de fragmentación (IEFRAG), paleoecológico *IPA* (IEIPA) y de pteropódos (IEPTROP) previamente estándarizados mediante la transformación Z para el núcleo BAP96J-6C. Los valores del índice de petrópodos fueron multiplicados por un valor de -1. De 0 a 128 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.	46
14	Distribución de frecuencias para los índices de disolución promediados para los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC. La línea vertical continua representa la media, y la líneas verticales discontinuas representan (± 1) desviación estándar. Nota que las escalas son diferentes debido a que el número de láminas muestreadas para cada núcleo es diferente.	47
15	Distribución temporal del índice de preservación promediado para el Núcleo BAP96J-6C. Los valores por arriba de la línea horizontal discontinua superior (+1 desviación estándar) son aquellas muestras relativamente mal preservadas, los valores alrrededor de la línea horizontal continua (media) son aquellas muestras bien preservadas, y los valores por debajo de la línea horizontal discontinua inferior (-1 desviación estándar) son aquellas muestras muy bien preservadas. De 0 a 128 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.	48

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura		Página
16	Distribución temporal de los índices de fragmentación (IEFRAG) y paleoecológico *IPA* (IEIPACA) estándarizados mediante una transformación Z para el núcleo CA94-8K. De 0 a 101 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.	50
17	Distribución temporal del índice de preservación promediado para el Núcleo CA94-8K. Los valores por arriba de la línea horizontal discontinua superior (+1 desviación estándar) son aquellas muestras relativamente mal preservadas, los valores alrededor de la línea horizontal continua (media) son aquellas muestras bien preservadas, y los valores por debajo de la línea horizontal discontinua inferior (-1 desviación estándar) son aquellas muestras muy bien preservadas. De 0 a 101 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.	51
18	Distribución temporal de los índices de fragmentación (IEFRAGCH) y paleoecológico *IPA* (IEIPACH) estándarizados mediante la transformación Z para el núcleo CH94-IC. De 0 a 78 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.	53
19	Distribución temporal del índice de preservación promediado para el Núcleo CH94-IC. Los valores por arriba de la línea horizontal discontinua superior (+ desviación estándar) son aquellas muestras relativamente mal preservadas, los valores alrededor de la línea horizontal continua (media) son aquellas muestras bien preservadas, y los valores por debajo de la línea horizontal discontinua inferior (- desviación estándar) son aquellas muestras muy bien preservadas. De 0 a 78 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.	54
20	Correlación de Indices de Preservación promediados para los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K, CH94-IC. El intervalo de láminas A no mostraron diferencias significativas en sus promedios. De 0 a 143 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.	57
21	Correlación del índice de preservación promediado entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. Línea continua es la línea de regresión, las líneas discontinuas muestran la banda de confianza al 95%.	58

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura		Página
22	Densidad espectral de poder para el índice de preservación promediado del núcleo BAP96J-6C (a) con valores transformados de pterópodos, (b) sin valores transformados de pterópodos (c) del núcleo CA94-8K. Línea continua es la distribución del espectro de frecuencias, las líneas superior e inferior discontinuas son los intervalos de confianza al 90%. Decibeles (db).	60
23	Densidad espectral de poder cruzado para los índices de preservación promediados de los núcleos BAP96J-6C (sin valores transformados de pterópodos) y CA94-8K. Decibeles (db).	61
24	Función de trasferencia de magnitud (a), función de coherencia (b); para los índices de preservación promediados de los núcleos BAP96J-6C (sin los valores trasformados de pterópodos) y CA94-8K. Decibeles (db).	61
25	Distribución temporal de las series de paleotemperaturas CBP y ThSp-CBP para el núcleo BAP96J-6C. Intervalos de confianza al 95% en la regresión lineal que muestra la tendencia en el registro CBP.	65
26	Distribución temporal de las series de paleotemperatura CBP del núcleo BAP96J-6C y los promedios de temperatura anual y de primavera del registro COADS. Intervalos de confianza del 95% en la regresión lineal que muestra la tendencia en el registro COADS de primavera.	66
27	Distribución temporal de las series de paleotemperatura ThSp-CBP del núcleo BAP96J-6C y los promedios de temperatura anual y de primavera del registro COADS. Intervalos de confianza del 95% en la regresión lineal que muestra la tendencia en el registro COADS de primavera.	67
28	Media, caja error estándar y líneas verticales superior e inferior desviación estándar. Estimaciones al 95% de confianza. (a) de las series de paleotemperatura CBP, (b) ThSp-CBP, del núcleo BAP96J-6C con los promedios de temperatura anual y de primavera del registro COADS. Los invervalos (Inter) son agrupamiento de temperatura de tres años para cada serie.	68

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura		Página
29	Densidad espectral de poder para la series de paleotemperaturas 45 años de registro (a) CBP, (b) ThSp-CBP. Línea continua distribución del espectro de frecuencias, líneas superior e inferior discontinuas intervalos de confianza del 90%. Decibeles (db).	69
30	Correlación de las series de paleotemperatura CBP y ThSp-CBP del núcleo BAP96J-6C con el índice de preservación promediado y los promedios de temperatura de primavera del registro COADS. Valores del índice de disolución promediado por arriba de la línea horizontal discontinua muestra asociaciones de foraminíferos relativamente menos preservados.	71
31	Distribución vertical de temperatura en la Cuenca de San Lazáro. Línea vertical discontinua muestra la temperatura promedio en toda la columna de agua, la línea vertical continua muestra la temperatura promedio a 100 m de la columna de agua.	72
32	Densidad espectral de poder cruzado para las series de paleotemperaturas y temperaturas (a) CBP y COADS promedio anual,. (b) ThSp-CBP y COADS promedio anual, (c) CBP y COADS promedio de primavera, (d) ThSp-CBP y COADS promedio de primavera. Decibeles (db).	75
33	Función de trasferencia de magnitud para las series, (a) CBP y COADS promedio anual, (b) ThSp-CBP y COADS promedio anual, (c) CBP y COADS promedio de primavera, (d) ThSp-CBP y COADS promedio de primavera. Decibeles (db).	76
34	Función de coherencia para las series (a) CBP y COADS promedio anual, (b) ThSp-CBP y COADS promedio anual (c) CBP y COADS promedio de primavera, (d) ThSp-CBP y COADS promedio de primavera.	77
35	Densidad espectral de poder para la series de paleotemperaturas (a) CBP, (b) ThSP-CBP. Línea continua distribución del espectro de frecuencias, líneas superior e inferior discontinuas intervalos de confianza del 90%. Decibeles (db).	80

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura		Página
36	Modos oscilatorios del registro de paleotemperatura CBP obtenidos por demodulación de la señal en cuadratura por el método qam. Los ciclos de 21 años y 6 años, muestran una amplitud estable a lo largo del registro. Los ciclos de 11 y 3 años respectivamente, muestran un incremento en su amplitud alrededor de 60 y ≈20años. Radianes (Rad).	81
37	Distribución de frecuencias de foraminíferos plánctícos para los núcleos BA96J-6C, CA94-8K y CH94-IC.	83
38	Proporción de especies para el núcleo BAP96J-6C para los núcleos BA96J-6C, CA94-8K y CH94-IC.	84
39	Distribución temporal de foraminíferos plánctícos en los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC. Intervalos de confianza al 95% en la regresión lineal que muestra la tendencia en el registro CBP.	85
40	Distribución temporal de la diversidad y dominancia de foraminíferos plánctícos para el núcleo BAP96J-6C. Líneas verticales discontinuas A, B y C respectivamente, muestran eventos de cambios climatológicos en el Pacífico Norte Durante los años 50, 60 y 80.	86
41	Densidad espectral de poder (a) para la abundancia absoluta de foraminíferos plánctícos, (b) para el índice de diversidad, (c) para el índice de dominancia del núcleo BAP96J-6C. Línea continua distribución del espectro de frecuencias, líneas superior e inferior discontinuas intervalos de confianza 90%. Decibeles (db).	88
42	Funciones de correlación cruzada (a) entre la abundancia absoluta de foraminíferos plánctícos y la serie de paleotemperatura CBP, (b) entre el índice de diversidad de (Fp) y la serie de paleotemperatura CBP, (c) entre el índice de dominancia de (Fp). Líneas verticales discontinuas muestran el error estándar al 95%. Lags (retrasos 6.7 años^{-1}).	89
43	Modos oscilatorios del registro de la abundancia de FP en el núcleo BAP96J-6C obtenidos por demodulación de la señal en cuadratura por el método qam.. Muestra como para todos los ciclos la amplitud de la señal ha disminuido durante los primeros 60 años de registro. Radianes (rad).	92

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura		Página
44	Modos oscilatorios del registro de diversidad y dominancia de FP en el núcleo BAP96J-6C obtenidos por demodulación de la señal en cuadratura por el método qam.. Muestra como para todos los ciclos la amplitud de la señal es estable para todo el registro excepto para el ciclo de 21 años en la dominancia de FP que exhibe un incremento en su amplitud a partir de los 60 años de registro. Radianes (rad).	93
45	Densidad espectral de poder (a) para el índice de dominancia de especies de foraminíferos plánctícos de aguas frías, (b) para el índice de dominancia de especies de foraminíferos plánctícos de aguas cálidas del núcleo BAP96J-6C. Línea continua distribución del espectro de frecuencias, líneas superior e inferior discontinuas intervalos de confianza 90%. Decibeles (db).	95
46	Función de correlación cruzada entre el índice de dominancia (a) de especies de aguas frías (b) de especies de aguas cálidas de foraminíferos plánctícos y la serie de paleotemperatura CBP. Líneas verticales discontinuas muestran el error estándar al 95%. Lags (retrasos 6.7 años^{-1}).	96
47	Modos oscilatorios para los ciclos (a) del índice de dominancia de FP de aguas frías. obtenido por demodulación de la señal en cuadratura por el método qam. Muestra como para todos los ciclos la amplitud de la señal era menor durante los primeros 60 años de registro. Radianes (rad).	97
48	Modos oscilatorios para los ciclos del índice de dominancia de FP de aguas cálidas obtenido por demodulación de la señal en cuadratura por el método qam. Muestra como para todos los ciclos 13 y 2 años la amplitud de la señal se incrementa durante los primeros 40 años de registro. El ciclo de 8 años muestra un incremento en su amplitud ≈20 años Radianes (rad).	98
49	Distribución temporal de la dominancia de foraminíferos plánctícos fríos y cálidos para el núcleo BAP96J-6C. Líneas verticales discontinuas A, B y C respectivamente, muestran eventos de cambios climatológicos en el Pacífico Norte Durante los años 50, 70 y 80.	99

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Descripción del origen de los sedimentos laminados estudiados.	14
II	Descripción de aspectos relacionados, con el submuestreo de los núcleos de sedimentos laminados.	15
III	Resumen del análisis de regresión lineal simple del porcentaje de agua entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. La prueba t muestra que $\beta_0=0$, la prueba F muestra que $\beta_1 \neq 0$. $p<.05$= zona de rechazo para la hipótesis (Ho): nula. (Ha): Hipótesis alternativa. Estimaciones al 95% de confianza. F(gl), t(gl); gl: grados de libertad.	28
IV	Resumen del análisis de regresión lineal simple del índice relativo Fb/(Fp+Fb) entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. La prueba t muestra que $\beta_0=0$, la prueba F muestra que $\beta_1 \neq 0$. $p<.05$= zóna de rechazo para la hipótesis (Ho): nula. (Ha): Hipótesis alternativa. Estimaciones al 95% de confianza. F(gl), t(gl); gl: grados de libertad.	33
V	Resumen del análisis de regresión lineal simple del índice Fb/(Fp+Fb) entre los núcleos BAP96J-6C y CH94-IC. La prueba t muestra que $\beta_0 \neq 0$, la prueba F muestra que $\beta_1 \neq 0$. $p<.05$= zona de rechazo para la hipótesis (Ho): nula. (Ha): Hipótesis alternativa. Estimaciones al 95% de confianza. F(gl), t(gl); gl: grados de libertad.	34
VI	Contribución porcentual de foraminíferos y sus respectivos fragmentos a la cantidad total de constituyentes calcíticos en la fracción ≤ 125 μm láminas^{-1} muestreadas^{-1} en los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC.	39
VII	Rango del orden de resistencia de las especies de foraminíferos plánctícos a la disolución selectiva (menor a mayor). Berger 1971a Berger (1981), y su distribución latitudinal. * Especies presentes en los sedimentos de la CSALA.	43
VIII	Valor promedio del índice *IPA* y la proporción de especies con valores superiores al promedio del rango de disolución selectiva 3.5 normalizado con respecto a uno en los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC.	44

LISTA DE TABLAS (Continuación)

Tabla		Página
IX	Muestras con valores superiores a + una desviación estándar en los índices de preservación promediado de los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC y consideradas mal preservadas.	48
X	Resumen del análisis de regresión lineal simple del índice de preservación promediado entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. La prueba t muestra que $\beta_0 \neq 0$, la prueba F muestra que $\beta_1 \neq 0$. $p<.05$= zona de rechazo para la hipótesis (Ho): nula. (Ha): Hipótesis alternativa. Estimaciones al 95% de confianza. F(gl), t(gl); gl: grados de libertad.	56

FERTILIDAD DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA PARA LOS ÚLTIMOS 130 AÑOS: PRESERVACIÓN, CALIBRACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN BASADA EN FORAMINIFEROS PLÁNCTICOS EN SEDIMENTOS LAMINADOS DE LA CUENCA DE SAN LÁZARO.

I INTRODUCCIÓN.

Los foraminíferos son una parte del componente biogénico en una gran variedad de ambientes sedimentarios submarinos. En el océano se localizan en dos grandes ambientes el plánctico y el béntico. En el ambiente planctónico presentan una distribución latitudinal representada por cinco provincias biogeográficas en base a la temperatura y la fertilidad de sus masas de agua (Murray, 1897; Schott, 1935; Phleger, 1945; Parker, 1954; Bé, 1959; en Hemleben *et al.*, 1989).

De las 40 especies descritas de foraminíferos plácticos (FP) en los océanos modernos, la mayor parte vive en las provincias Tropicales y Subtropicales ocupando un 30 y 32% del área total, respectivamente, la provincia Transicional con un 17 %, las provincias Subantárticas y Subárticas con un 8.5% y las provincias Árticas y Antárticas con un 12.5% representan el resto de la distribución de especies. Aunque su abundancia varia con la fertilidad, ésta presenta valores promedios de 1 a 100 especímenes mayores de 150μm por m^3 de agua superficial. Altas densidades de individuos se presentan a profundidades de 100 m. A profundidades de 100 a 400 m su densidad disminuye y es el 10% de la densidad encontrada a los 100 m. Muy rara vez se encuentran a profundidades mayores de 1000 m (Vincent y Berger, 1981).

Los FP son un grupo minoritario del zooplancton marino. Sin embargo, el constante depósito de sus testas de carbonato de calcio (calcita), en el piso oceánico en regiones de alta productividad llegan a constituir más del 30 % de sedimento y forman el llamado barro de Globigerinas o "Globigerina ooze" (Vincent y Berger, 1981). En conjunto con el aporte de otros organismos de composición calcítica como los cocolitofóridos y opalina como los radiolarios y

diatomeas representan menos del 50% del promedio global de sedimento en el piso oceánico. (Broecker y Peng, 1982).

Los patrones de distribución de estos componentes biogénicos en el sedimento se relaciona con su producción en la columna de agua (Coulbourn *et al.*, 1980; Vincent y Berger, 1981y Broecker y Peng, 1982). Por lo que su abundancia en los sedimentos refleja sus tasas de producción en la zona fótica, la cual esta en función de la fertilidad, la temperatura y la salinidad, que a su vez están en función de los cambios en los regímenes hidrográficos de las masas de agua en el océano (Takahashi, 1987; Samtleben y Bickert, 1990; Sautter y Thunnell, 1991 y Lange *et al.*, 1994).

Las fluctuaciones en la abundancia y composición faunística de las asociaciones de FP preservada en sedimentos laminados de la Cuenca de San Lazáro (CSALA), pueden ayudarnos a reconstruir su variabilidad y entender la variabilidad física oceanográfica. De esta forma podemos comprender la respuesta biológica de las comunidades planctónicas durante períodos de cambio climático.

Estas fluctuaciones espaciales y temporales en los ecosistemas marinos y su registro lo podemos encontrar en pares de laminas milimétricas, denominadas sedimentos varvados o laminados por su carácter anual como una analogía a los sedimentos varvados que están asociados a procesos glaciares (Calvert, 1966).

Bradley (1937 en Calvert, 1966), describe la composición de las varvas no glaciales (sedimentos laminados) como una alternancia de láminas de origen orgánico e inorgánico. Posteriormente se asume que las láminas con un grosor de igual orden de magnitud al de las varvas glaciares representan un depósito anual.

Las condiciones necesarias para la formación de los sedimentos laminados requieren de una serie especial de eventos biológicos, físicos y geoquímicos en el océano. Hülsemann y Emery (1961), describen las condiciones necesarias para la formación de los sedimentos laminados bajo

condiciones de alta productividad orgánica en las aguas superficiales, en conjunto con un bajo contenido de oxígeno en las aguas del fondo. También atribuyen su preservación al contenido de ácido sulfhídrico en la interfase agua sedimento lo que, según ellos, es la causa de los pocos organismos bentónicos.

En la actualidad los sedimentos laminados se ubican en áreas donde sus fondos son bañados por la capa de oxígeno mínimo y donde la alta productividad de sus aguas disminuye aun más los niveles de oxígeno lo cual, impide la bioturbación de los sedimentos laminados por organismos bentónicos.

Los sedimentos laminados se producen por la acumulación de pares de láminas milimétricas claras y oscuras que se depositan con periodicidades estacionales, interanuales y decadales. Las hipótesis en relación a la formación de las láminas son diversas y no totalmente claras. Algunas de las hipótesis presentadas sobre el origen de las láminas para las cuencas ubicadas en el Golfo de California son expuestas por Byrne (1957) y Calvert (1966): Byrne (1957), propone que los pares de láminas claro obscuras son el resultado de un pulso estacional de sedimentación biogénica asociado con el incremento en la producción de fitoplancton durante el invierno y la primavera, mientras el aporte de terrígenos se supone constante a lo largo de todo el año. Por otra parte, Calvert (1966) argumentó que la formación de los pares de láminas es el resultado de un incremento del aporte de material terrígeno por los ríos durante el verano, cuando existe alta precipitación pluvial, mientras que el aporte de material biogénico lo supone constante a lo largo del año. Posteriormente Baumgartner *et al.*, (1991) proponen para estas cuencas que el aporte del material detrítico es de origen eólico y no fluvial como lo requiere el modelo de Calvert (1966).

Estudios realizados en la cuenca de Santa Barbara frente a las costas de California por Souter y Crill, (1977) y Reimers *et al.*, (1990) proponen que el origen de los pares de laminas son resultado de la variación estacional en la composición del flujo de partículas al fondo de la cuenca y

de cambios en las condiciones de las aguas del fondo asociados con el flujo estacional de la Corriente de California.

La formación de los sedimentos laminados se encuentra en debate pero está basado en el flujo estacional del material terrígeno y biogénico al sedimento.

Es así como la formación de los sedimentos laminados contiene un registro indirecto de la variabilidad física en el océano y la atmósfera, que preserva la respuesta del planctón a las fluctuaciones oceanográficas (Calvert, 1966).

OCEANOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La circulación del Pacífico Norte transporta una masa de agua subártica mediante un sistema de corrientes oceánicas que constituyen el gran giro anticiclónico del Pacífico Norte (Figura 1a). Esta masa de agua presenta temperaturas promedio de 2°C a 4°C y una salinidad que en superficie suele ser de 32 ups (unidades prácticas de salinidad), pero que se incrementa hasta 34 ups a profundidades de pocos cientos de metros con un suave gradiente hacia el fondo de hasta 34.65 ups a los 50°N (Sverdrup *et al.*, 1942). Ya en la Corriente de California (CC), el calentamiento solar incrementa su temperatura y salinidad. Cerca de la costa frente a Baja California la temperatura superficial se incrementa hacia el sur de 15°C a 20°C en el invierno y de 20°C a 25°C en el verano. La salinidad superficial varia de 33.5 ups cerca de la frontera norte de México hasta 34.0 ups frente a Cabo San Lucas, con cambios estacionales mínimos (Badan, 1997).

La CC, como parte del brazo oriental del giro subtropical del Pacifico Norte, fluye lentamente hacia el sur desde las costas de Canadá hasta el extremo de la Península de Baja California, con una longitud superficial de 700 km y una velocidad promedio de 25 cm seg^{-1} (Reid y Schawarlose, 1962). En el Océano Pacifico Nororiental representa un tipo de corriente llamado

"sistema de corrientes de frontera oriental" con dos características fundamentales: la presencia de una frontera meridional y el estar controlada por el viento.

Este sistema esta constituido por una corriente superficial que fluye hacia el ecuador la CC y una contracorriente subsuperficial, la Contracorriente de California. La Contracorriente de California fluye desde la boca del Golfo de California hacia latitudes más altas. Variaciones locales, temporales y en la profundidad de esta contracorriente dan lugar a diferentes designaciones: Corriente de Davidson, si ocurre al norte de Punta Concepción y Contracorriente de California si ocurre al sur de Punta Concepción (Parés *et al.*, 1997).

Wooster y Reid 1963, en Parés *et al.* (1997), describen la circulación frente a Baja California de acuerdo al esquema clásico de una corriente limítrofe oriental. Donde una corriente se dirige hacia el Polo (Contracorriente de California), y que llega a alcanzar entre 100 a 120 km. de ancho, con una velocidad máxima a unos 20 km. del talud continental. Por otra parte (Chelton *et al.* 1982), mencionan que a profundidades de 600 m la Contracorriente de California se localiza a lo largo de toda la CC, con características hidrográficas de una agua subsuperficial relativamente cálida, salada, con nutrientes elevados y pobre en oxígeno.

El sistema de la CC, esta delimitada respectivamente al norte y al sur por la Corriente Subártica y la Corriente Norecuatorial. Sverdrup *et al.* (1942) mencionan que el agua subártica en la CC confluye con el agua ecuatorial cerca de los 23°N y hacia los 22°N soló está constituida por el agua ecuatorial. Sin embargo, varios autores (Barton y Argote, 1980; Gómez Valdés, 1984 en Badán, 1997), describen que por debajo de los 300 m de profundidad y a menos de 30 Km de la costa la CC tiene las características del agua ecuatorial, acarreada hacia el norte por la Contracorriente de California.

En la CC los vientos están dominados por el centro de alta presión o anticiclón del Pacífico Norte, por el centro de baja presión de las Aleutianas y por una baja presión térmica que se

desarrolla al sureste de Norteamérica (Figura 1b). El ajuste estacional de esta baja presión térmica al centro de alta presión del Pacifico Norte controla la variación estacional de los vientos en esta región (Reid *et al.* 1958; en Parés y O'Brien, 1989).

En las costas de California y Baja California entre los 25°N y los 40°N la dirección del viento mensual promedio es hacia el ecuador, lo que favorece a las surgencias costeras características de la CC. El inicio de la época de surgencias costeras esta dado por el término de una transición en las variaciones de intensidad de los sistemas de presión atmosférica en la región de la CC, durante marzo y abril, cuando el viento sopla persistentemente hacia el sureste.

En general los vientos que impulsan las surgencias costeras ocurren durante los meses de primavera y tienen un papel preponderante en la dinámica del sistema de la CC, obliterando en la superficie a la Contracorriente de California (Badán, 1997). Los vientos del Norte y las surgencias asociadas provocan que la CC sea una de las regiones mas productivas de los océanos, lo que a su vez tiene importantes implicaciones biológicas.

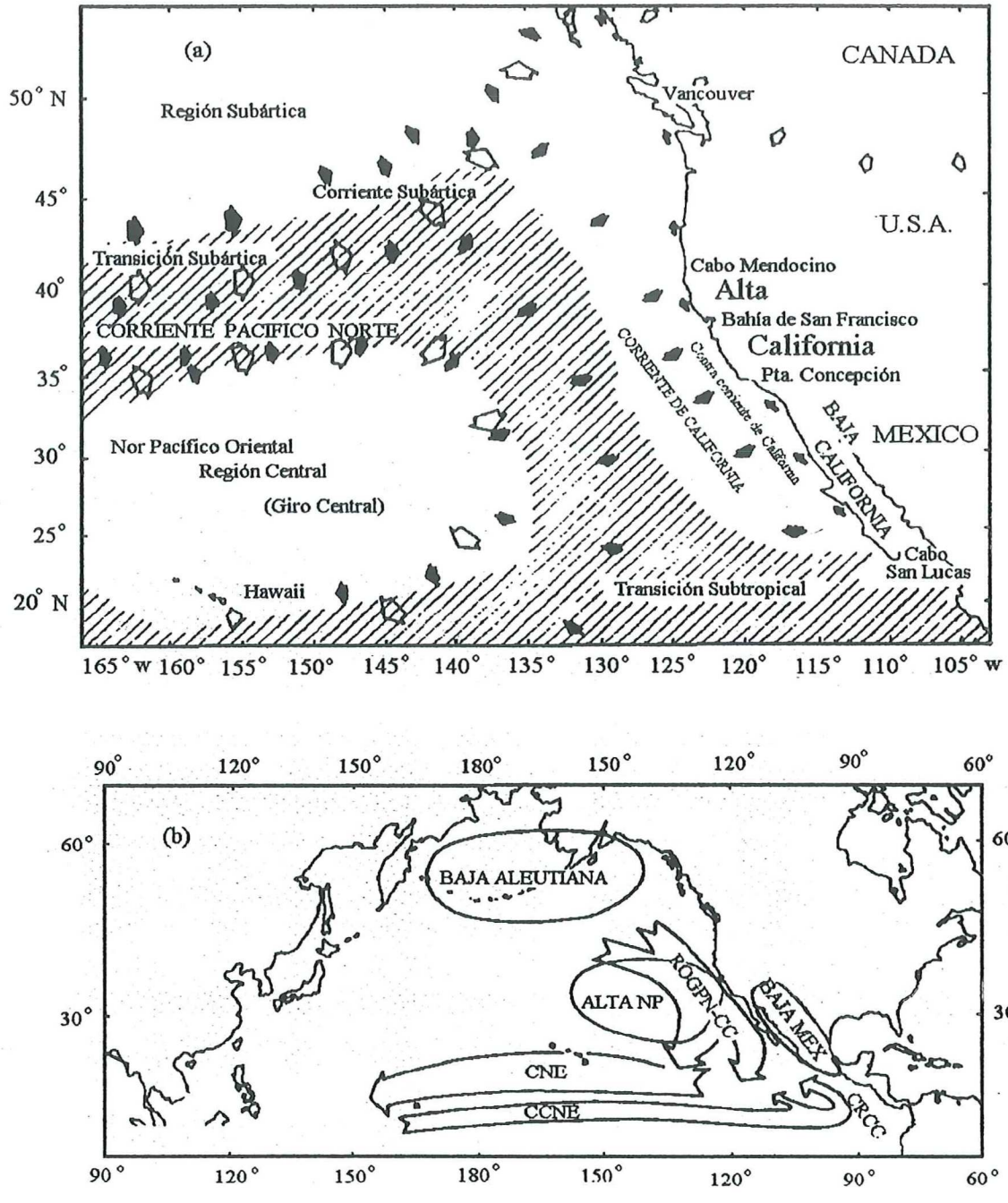


Figura 1. Representación esquemática de la climatología del Océano Pacífico Nor-Oriental, del sistema de corrientes oceánicas y posición de los principales centros de presión (Baja Aletuiana y Mexicana, y la alta del Pacífico Norte. (a) vientos superficiales flechas vacias, las corrientes superficiales flechas llenas, (b) Corriente Nor-Ecuatorial (CNE), Contra-corriente Nor-Ecuatorial (CCNE), Rama oriental del giro del Pacífico Norte-Corriente de California (ROGPN-CC) Pares *et al.*, (1997).

ANTECEDENTES.

Después del colapso de la pesquería de la sardina del Pacífico en las costas de California, La California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation (CalCOFI) implementó un monitoreo de la reproducción del stock pelágico en esta región. Desde 1949 CalCOFI recopila registros de variables físicas y biológicas en el Sistema de la CC.

Análisis de datos generados por este programa revelan fluctuaciones de período largo, y registros de mareógrafos en las costas desde 1900 proveen una documentación de cambios de gran escala y de baja frecuencia en la CC. Algunos de estos cambios de baja frecuencia que transcurren en escalas de tiempo interanual han sido identificados como una respuesta al fenómeno El Niño (Enfield y Allen, 1980; Chelton y Davis, 1982; en Pares et al., 1997).

O'Brien y Pares (1989), demuestran como gran parte de la energía contenida en las bajas frecuencias de registros del nivel del mar en las costas de California y Baja California es introducida al océano en latitudes bajas pero transmitida hacia los polos en forma de ondas costeras de Kelvin.

Diferentes regímenes de variabilidad climática en el Océano Pacifico Norte y en el Sistema de la CC se han asociado con la interacción océano-atmósfera. (Huang, 1972; Miller *et al.*, 1994; Graham, 1994); en su gran mayoría estos regímenes presentan periodicidades decadales e interdecadales.

Latif y Barnet (1994) atribuyen estos regímenes de variabilidad climática a la interacción inestable entre la circulación del giro subtropical del Pacífico Norte y el sistema de baja presión Aleutiano.

Biondi *et al.* (1997) muestran cómo el patrón de variación interdecadal de las varvas de los sedimentos de la cuenca de Santa Barbara es coherente con el ciclo del giro subtropical del Pacífico Norte. La repuesta biológica a estas fluctuaciones se ha descrito en diversos trabajos: Bernal (1981), determinó cual es la respuesta de la biomasa de zooplancton a las fluctuaciones de baja frecuencia,

asociándolas con cambios interanuales en el patrón de circulación de toda la Corriente del Margen Oriental.

Chelton (1981) argumenta que la advección de gran escala parece jugar un papel importante en el control de la variabilidad del zooplancton a través de escalas de tiempo interanuales.

Roemmich y McGowan (1995) han descrito el decrecimiento de la biomasa de zooplanton en relación al calentamiento de las aguas de la Corriente de California a partir de 1951.

Estudios en sedimentos finamente estratificados de las fosas anaeróbicas frente a las costas de California muestran fluctuaciones en las abundancias de peces y componentes del zooplancton; estas se han producido regularmente durante los últimos 200 años (Soutar e Isaacs, 1969 y 1974 en Bernal, 1983).

La finalidad de este estudio es establecer la relación entre el registro del flujo de FP al sedimento y el registro instrumental de temperatura de la región meridional de la Corriente de California a partir de tres núcleos de sedimento en la cuenca de San Lazáro. El objetivo es reconstruir las condiciones de temperatura y ecológicas para períodos anteriores al registro instrumental que nos permita tener una mejor comprensión de la respuesta biológica durante períodos de cambio climático.

II OBJETIVOS.

Objetivo General:

1.- Determinar las causas de la variabilidad en la abundancia y composición especifica de foraminíferos plánctícos a partir de los restos biogénicos preservados en los sedimentos laminados de la cuenca de San Lázaro para los últimos 130 años. Se relacionarán la temperatura, recopilada del registro histórico y la reconstrucción a partir de las asociaciones de foraminíferos plánctícos.

Objetivos Específicos:

a.). Establecer la coherencia espacial de la cuenca San Lázaro a partir de las láminas en los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC apoyado por las correlaciones cronológicas basadas en dataciones radiométricas.

b.) Establecer la coherencia en la preservación de los componentes calcíticos mediante un índice de preservación.

HIPÓTESIS DE TRABAJO.

1. Las fluctuaciones en abundancia y preservación relativa de foraminíferos plánctícos en los sedimentos laminados de la cuenca de San Lazáro tienen una coherencia temporal y espacial en la cuenca.

2. Las fluctuaciones en la abundancia y composición especifica de foraminíferos plánctícos preservados en los sedimentos laminados se encuentran moduladas por la variabilidad física oceanográfica.

III MATERIALES Y MÉTODOS.

III. 1 Descripción del área de estudio.

La Cuenca de San Lazáro (CSALA) se localiza al Noroeste de Bahía Magdalena y Cabo San Lázaro frente a las costas de Baja California Sur, con una profundidad media de 540 m (Figura 2).

La masa de agua superficial de la CSALA se localiza en la zona de predominio de la masa de agua ecuatorial dentro del sistema de la CC. La alta productividad orgánica en esta zona disminuye aun más los niveles de oxígeno a profundidades intermedias en la columna de agua por lo que ejerce un importante control sobre las condiciones anóxicas en el fondo de la cuenca. Estas condiciones de oxígeno bajas permiten la formación de los sedimentos laminados en esta región.

Debido a estas características, los sedimentos de la CSALA ofrecen un registro paleoceanográfico de la variabilidad del régimen hidrográfico del margen oriental del Pacifico Norte, a saber: intrusión de masas de agua de la Contracorriente Ecuatorial del Norte, así como procesos oceanográficos de gran escala como es el evento El Niño y por ende de la respuesta del comportamiento planctónico y pelágico.

Los patrones climatológicos dominantes en las costas de Baja California Sur (Bahía Magdalena, Las Cruces), presentan una menor precipitación pluvial durante los meses de mayo a junio con una media mensual de 0.066 mm. El mes más lluvioso es septiembre con una media mensual de 30.98 mm. La precipitación media anual presenta un valor de 89.96 mm (García *et al.*, 1975), (Figura 3), por lo que podemos derivar que los patrones de precipitación de esta región son dominados por la climatología del subtrópico.

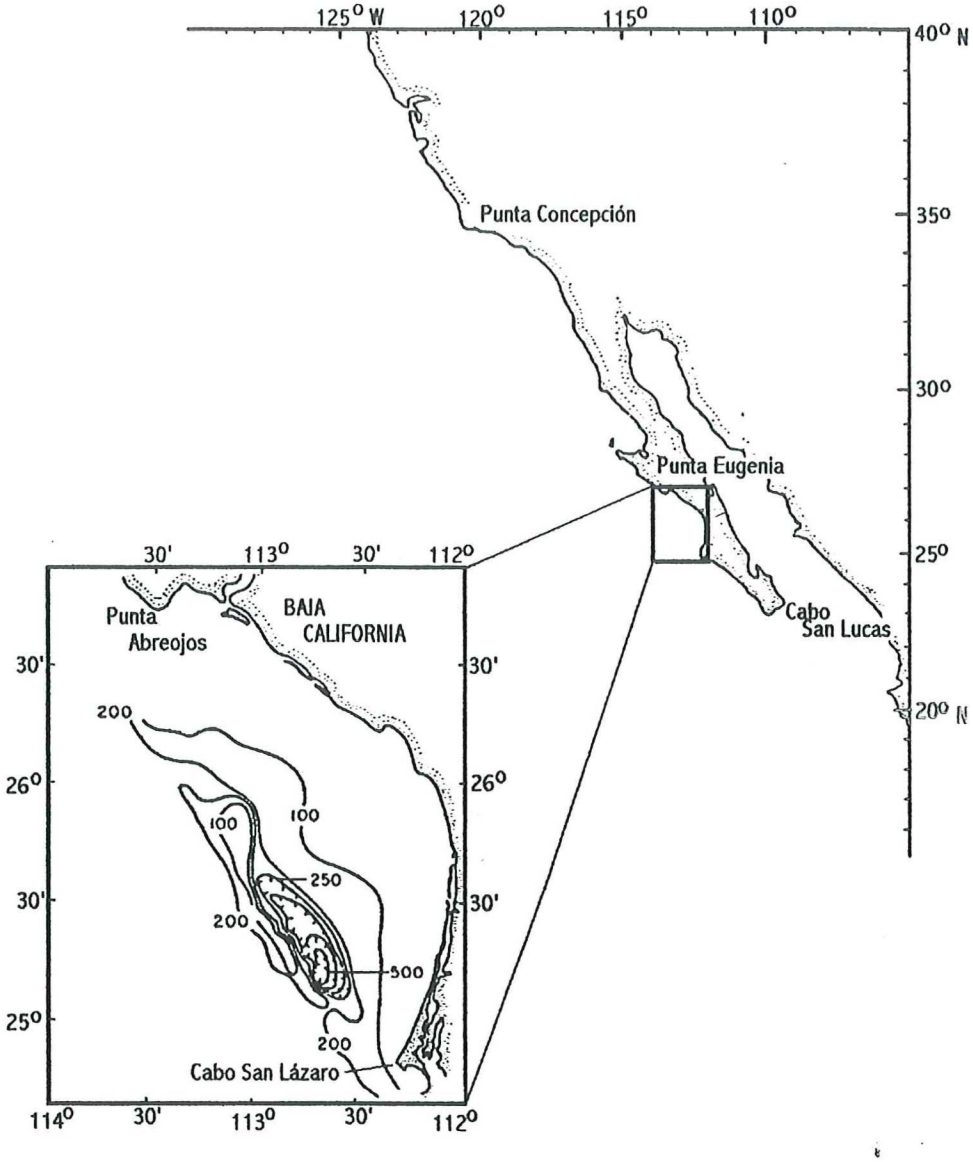
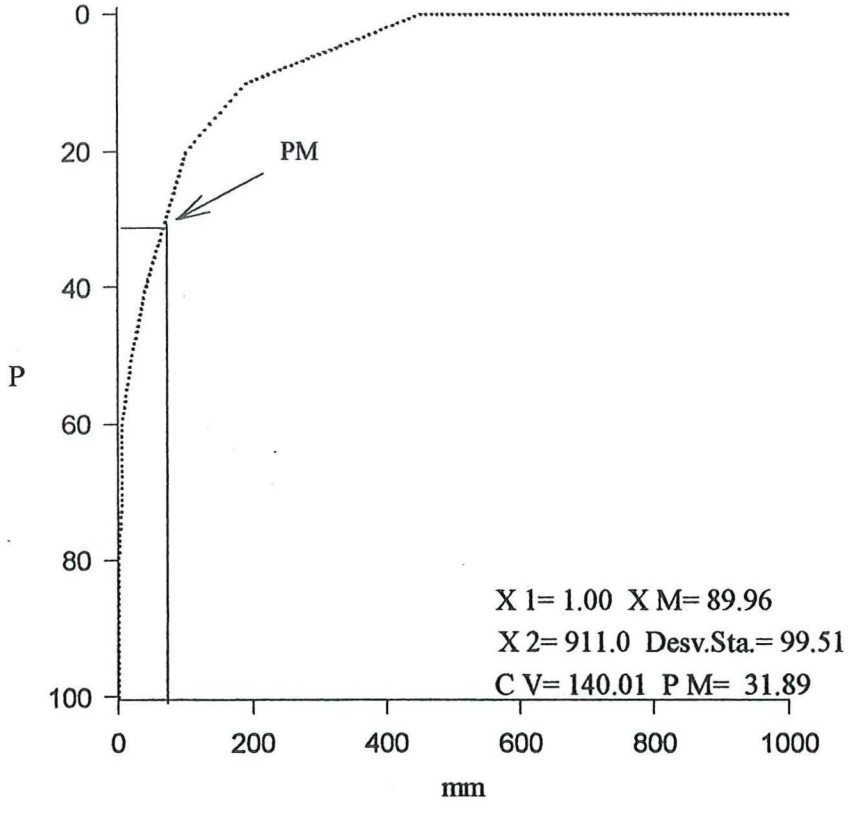


Figura 2. Localización del área de estudio y batimetría de la Cuenca de San Lázaro (Soutar e Isaacc 1969).

Probabilidad de Precipitación Anual.



X 1 =Cantidad mínima de lluvia registrada para el periodo considerado.
X 2 =Cantidad máxima.
X M = Precipitación media
Desv.sta. = Desviación estándar.
P M = Probabilidad de tener una precipitación igual o mayor a la media.

Figura 3. Probabilidad de precipitación media anual en el margen continental de Baja California Bahía Magdalena (García *et al.*, 1975). P = Probabilidad de precipitación y mm = milímetros.

III 2 Muestreo.

III 2.1 Obtención de los sedimentos laminados.

Con la finalidad de establecer la coherencia espacial y temporal de la CSALA y de los índices que nos van a ayudar en la reconstrucción, se colectaron varios núcleos de sedimento a profundidades y localidades diferentes. De una colección de varios núcleos elegimos a CH-94-IC, CA94-8K y BAP96J-6C. Estos núcleos se extrajeron mediante nucleadores tipo Kasten y Caja (Reineck, Souter), durante las campañas oceanográficas CHUBASCO-94, CARNAVAL-94 y BAP96J-PaleoVIII en los buques oceanográficos EL PUMA y FRANCISCO DE ULLOA en 1994 y 1996 (Tabla I).

Tabla I.- Descripción del origen de los sedimentos laminados estudiados.

Campaña	Fecha	Embarcación	Núcleo de sedimento	Localización de muestreo	Profundidad
CHUBASCO-94	Julio-94	B/O El Puma	CH94-IC	25.10°N-112.42°W	540m
CARNABAL-94	Feb-94	B/O F. Ulloa	CA94-8K	25.12°N-112.42°W	538m
BAP96J-PaleoVIII	Junio-96	B/O El Puma	BAP-96J-6c	25.13°N-112.44°W	528m

III. 2.2 Obtención de losas y niveles estratigráficos (laminas y muestras).

Los núcleos de 14x14x50cm, se submuestrearon en cortes longitudinales y paralelos a la longitud mayor obteniéndose losas de 2 cm de espesor. Una de estas losas se utilizó para radiografías con el objetivo de caracterizar la laminación de los sedimentos. Para realizar un segundo submuestreo de alta resolución utilizamos una losa adyacente (cortes transversales de grosor milimétrico), Tabla II. Cabe mencionar que las diferentes losas fueron submuestreadas con diferente longitud y resolución y solo la del núcleo BAP96J-6C-3, tiene la resolución anual buscada y es la que nos sirve de guía para las correlaciones con las otras losas (Tabla II).

Tabla II. Descripción de aspectos relacionados, con el submuestreo de los núcleos de sedimentos laminados.

Núcleo de sedimento	Losa	Longitud de submuestreo
CH94-IC	Ch94-Ic-2	12.5cmm
CA94-8K	Ca94-8k-2	15cm
BAP96J-6C	Bap96j-6c-3	18.2cm

III.3 Dataciones.

III. 3.1 Método ^{210}Pb.

Consiste en medir la actividad del exceso de ^{210}Pb a varias profundidades del núcleo. El radioisótopo ^{210}Pb es un miembro intermedio en la cadena de desintegración del ^{238}U. El ^{226}Rn y ^{222}Rn son transportados por la atmósfera al agua de mar, los que se desintegran a ^{210}Pb, el cual es absorbido por la materia particulada y eventualmente acumulada en el piso oceánico (Joshi y Ku, 1979). El ^{210}Pb tiene una vida media de 22 años y su actividad decrece exponencialmente con la profundidad de enterramiento de los sedimentos. El decrecimiento es interpretado como la desintegración radioactiva de ^{210}Pb en las capas sucesivas del núcleo (Joshi & Ku, 1979). El exceso de la actividad de ^{210}Pb es calculada de la diferencia entre el ^{214}Pb y ^{210}Pb que decrece con la profundidad. La pendiente de la desintegración permite calcular la tasa de sedimentación (Joshi y Ku, 1979).

La asignación de edades relativas al núcleo BAP96J-6C se realizó de acuerdo a las evidencias aportadas por el elemento radiactico ^{210}Pb, suponiendo una tasa de sedimentación constante de 1.6 mm año^{-1} derivada de la pendiente del contenido de ^{210}Pb en exceso para toda la losa. Las dataciones del núcleo BAP96J-6C nos sirvieron para atribuir edades a los otros dos núcleos basando las correlaciones en el aspecto y textura de las láminas obtenidas por radiografías.

III.4 Preparación de muestras.

III. 4.1 Determinación del peso de las muestras.

Para obtener las variables que denotan las características físicas de los sedimentos se pesaron las muestras en húmedo y después de un proceso de liofilización, se pesó en seco constante con una precisión de 0.001 g.

III 4.2 Secado de muestras.

El secado de las muestras se realizó en una liofilízadora LABCONCO por medio de un proceso de sublimación y/o evaporación del agua congelada de las muestras al vacío.

III 4.3 Lavado de muestras.

Para lavar y disgregar el contenido de limos y arcillas en las muestras se agregó una solución de Calgon (Hexametafosfato de Sodio), y se agitó durante 20 minutos. Posteriormente, se les sometió a baños con peróxido de hidrógeno (H_20_2) con intervalos de 3 minutos para oxidar la materia orgánica. Después de cada aplicación con agente dispersante (Calgon) y peróxido se realizaron lavados con agua corriente en un tamiz de luz de malla de 64μm. La frecuencia de aplicación de cada uno de los procesos mencionados anteriormente fue variable de acuerdo a la cantidad de limos, arcillas y materia orgánica contenida en cada una de las muestras.

III. 4.4 Tamizado de muestras.

Ya libre de limos, arcillas y materia orgánica las muestras secas fueron tamizadas en tres fracciones >250μm, 250-125μm y <125μm

III.5 Cuantificación e identificación taxonómica de foraminíferos.

La identificación del taxon de foraminíferos plánctícos se apoyó en la colección de referencia de Frances L. Parker del Instituto de Oceanografía Scripps. Así como de las publicaciones de Parker, (1962), Vincent y Berger, (1981), y los libros de Loeblich y Tappan, (1978) y Hemleben *et al.* (1989).

En cada muestra se cuantificaron los Foraminíferos plánctícos, Foraminíferos bénticos y Pterópodos, así como sus respectivos fragmentos en la fracción <125μm. El contaje de foraminíferos plánctícos se realizó bajo el criterio de un preconteo ≤ a 300 organismos para cada fracción en base a resultados de técnicas estadísticas descritas por Patterson y Fishbein (1989).

III 6 Determinación de las propiedades físicas y texturales de los sedimentos.

III. 6.1 Porcentaje de agua y arenas.

Para determinar el porcentaje de agua y el porcentaje en arenas en las láminas se utilizó el peso total de la muestra húmeda y seca y el peso de la fracción ≤ 64 μm de la muestra en las siguientes ecuaciones:

$$PTMH / (PTMH - PTMS) \qquad \text{(Ec. 1)}$$

PTMH= Peso total de la muestra humeda.
PTMS= Peso total de la muestra seca.

$$PTMS / (PTMS - PFM) - 1 \qquad \text{(Ec. 2)}$$

PTMS= Peso total de la muestra seca.
PFM= Peso de la fracción ≤ 64 μm de la muestra.

III 7. Correlación de índices relativos.

Con el objetivo de correlacionar y establecer la coherencia espacial y temporal de los componentes físicos y biogénicos en las láminas de la CSALA se correlacionaron índices relativos entre los núcleos estudiados:

III 7.1 Correlación de propiedades físicas y texturales de los sedimentos.

La correlación del porcentaje de agua y el porcentaje de arenas entre cada uno de los niveles estratigráficos se realizo únicamente entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K ya que para el núcleo CH94-IC no se determinó el peso total de las muestras en húmedo y en seco.

III 7.2 Correlación del índice faunístico relativo.

Se correlacionaron los índices de la dominancia de foramíferos bénticos (FB) versus foraminíferos plángicos (FP).

Índice:

$$Fb / (Fp + Fb) \qquad \text{(Ec. 3).}$$

que muestra la dominancia de FB sobre FP.

Fp: Foraminíferos plángicos.
Fb: Foraminíferos bénticos.

Este índice nos proporciona información relativa a los procesos de disolución y de la productividad de los foraminíferos preservados en el fondo de la cuenca, ya que los FB presentan una mayor resistencia a los procesos de disolución en un factor de 3 con respecto a los FP en el mar profundo (Arrehenius 1952); aunque desconocemos si esta relación se mantiene en cuencas subóxicas como la de San Lázaro.

Debido a que la cuantificación del grupo de foraminíferos bénticos no se realizó para conocer su composición específica lo que nos permitiría determinar su respuesta parcial a otros

procesos ecológicos. No se consideró este índice para establecer el grado de preservación de las asociaciones de foraminíferos en los sedimentos, sólo fue considerado como un criterio para establecer la coherencia espacio-temporal en la CSALA.

III. 7.3 Correlación de índices de preservación (disolución).

Con la finalidad de establecer la fidelidad del registro sedimentario o de la asociación de foraminíferos enterrada (taphocenosis), primero debimos asegurarnos que los procesos geoquímicos durante y después de la sedimentación de las asociaciones de FP no han alterado su abundancia y composición. Uno de los procesos que pueden alterar la asociación en vida, biocenosis, son los procesos de disolución de carbonatos. Por ello, una de los primeros pasos fue definir un índice de preservación para asegurarnos: 1.- que las asociaciones no han sido alteradas de una forma importante por fenómenos de disolución y 2.- que los patrones de preservación son coherentes para toda la cuenca.

Los índices de preservación que fueron utilizados en este estudio son:

1. Índice de fragmentación.

$$Fragf \Big/ (Fp + Fb + Fragf) \qquad \text{(Ec. 4).}$$

Fragf: Fragmentos de foraminíferos.
Fp: Foraminíferos plánctcos.
Fb:Foraminíferos bénticos.

expresa la cantidad de fragmentos con respecto a la cantidad de calcita presente en la fracción >125μm de las muestras analizadas. Este índice nos proporciona una medida indirecta del estado de preservación de las asociaciones de foraminíferos en términos del grado de fragmentación que se observa en las muestras.

2. Índice de pterópodos

$$Pterp / (Fragf + Fp + Fb + Pterp) \qquad \text{(Ec. 5).}$$

Pterp: Pterópodos.
Fragf: Fragmentos de foraminíferos.
Fp: Foraminíferos plánctico.
Fb: Foraminíferos bénticos.

expresa la cantidad de aragonita con respecto a la cantidad de calcita contenida en las fracciones de las muestras analizadas. Este índice muestra el estado de preservación de las asociaciones de foraminíferos con una mayor susceptibilidad al proceso de disolución que el índice de fragmentación. Los pterópodos construyen sus caparazones con cristales de aragonita, una forma metaestable de $CaCO_3$, que presenta una mayor susceptibilidad a la disolución que la calcita (Broecker y Peng, 1982).

3. Índice de preservación paleoecólogico *IPA*.

$$IPA = \frac{\sum Piri}{\sum Pi} \qquad \text{(Ec. 6).}$$

expresa el peso promedio del rango de un grupo de especies en términos de su resistencia a la disolución. Donde *Pi* es la proporción del taxon *i* y *ri* es su posición en el rango de disolución según Berger, (1968) en Vincent y Berger, (1981).

Los valores obtenidos de los índices de preservación aplicados para cada uno de los núcleos fueron estandarizados mediante una transformación Z.

$$Zi = \frac{Xi - \bar{x}}{s} \qquad \text{(Ec. 7).}$$

donde:

Zi= Valores estandarizados de los índices de disolución empleados para cada muestra.
Xi= Valores de los índices de disolución empleados para cada muestra.
x = Media de los valores de índices de disolución estimados.

s= Desviación estándar de los valores de índices de disolución estimados.

Para comparar los patrones temporales de cada uno de los índices de preservación los valores estandarizados del índice de preservación de pterópodos fueron multiplicados por un valor de (-1) debido a que los pterópodos se comportan de manera inversa a los parámetros de los índices de fragmentación y paleoecológico *IPA*.

La obtención del índice de preservación de las asociaciones de FP, se logró mediante un promedio de los valores de cada índice de preservación, previamente estandarizados mediante la transformación Z de la Ec. 7, ya que los parámetros de los índices de fragmentación, pterópodos y paleoecólogico asociados con los procesos de disolución de carbonatos también se encuentran en función de otros procesos como la productividad, la temperatura y el transporte lateral (Thunell 1976).

Antes de realizar el promedio de los tres índices los valores del índice de pterópodos fueron transformados por un valor que oscila entre 1 para aquellas muestras en las que no había pterópodos de 0 para aquellas muestras con pocos pterópodos y de -1 para aquellas muestras que contenían grandes abundancias relativas. El criterio empleado en la designación de los valores arbitrarios mencionados anteriormente esta basado en aquellas muestras que no presentan pterópodos proveen una mejor respuesta al proceso de disolución que las muestras que presentan abundancias relativas grandes y pequeñas; ya que estas abundancias se encuentran en función tanto de procesos de disolución como a procesos dinámicos y paleoecológicos en la zona fótica.

Cabe mencionar que la cuantificación de pterópodos se realizo únicamente en BAP96J-6C por lo que las interpretaciones del promedio de los tres índices solo se realizo en este núcleo. (Ecuación 8).

$$\bar{x}Zi = \frac{ZiIfrag + ZiIpter + ZiIDA}{3} \qquad \text{(Ec. 8).}$$

Con la finalidad de correlacionar los patrones espaciales de preservación en la cuenca, se correlacionó el resultado del promedio de los índices (1,3), para cada uno de los núcleos Ecuación (9).

$$\bar{x}Zi = \frac{ZiIfrag + ZiIDA}{2} \qquad \text{(Ec. 9).}$$

xZi= media de los índices (1,2,3) con valores estandarizados.
ZiIfragf= Valores estandarizados del índice de fragmentos (1).
ZiPterp= Valores estandarizados del índice de pterópodos (2).
ZiIDA= Valores estandarizados del índice de preservación de foraminíferos plánctícos (3).

III 8 Relación del flujo de foraminíferos plánctícos con la temperatura.

Con la finalidad de reconstruir una serie de paleotemperatura para la región meridional de la CC para periodos anteriores al registro instrumental se generó un registro biogénico de temperaturas el cual se calibró con las series de temperatura del mar superficial medidas instrumentalmente durante los años 1946 a 1990 en está región.

El registro instrumental de temperaturas se extrajo de la base de datos COADS en un rango geográfico de 26°N a 24°N y 114°W a 112°W. El registro biogénico de temperaturas se obtuvo mediante una función de transferencia propuesta por Berger, (1969) en Berger (1981), descrita por la siguiente ecuación.

$$Tav = \frac{\sum p_i t_i}{\sum p_i} \qquad \text{(Ec. 10).}$$

Tav = Temperatura.
pi = Proporción de la especie *i* de foraminíferos plánctícos.
ti = temperatura optima para las especies *i*.

Se reconstruyeron dos registros de paleotemperaturas utilizando diferentes valores óptimos de temperatura para las asociaciones de FP. Para el primer registro se utilizaron valores óptimos de temperatura generados por Coulbourn *et al.* (1980) CBP. Estos valores óptimos y la dispersión de las temperaturas de las especies de FP se obtuvieron a partir de un análisis de las asociaciones encontradas en los primeros centímetros de sedimento de una colección extensa de núcleos de sedimentos oceánicos colectados en la región del Pacífico Norte.

El segundo registro de paleotemperaturas se realizo combinado valores óptimos de temperaturas derivados de las asociaciones de foraminíferos colectados en trampas de sedimento en la cuenca de San Pedro al sur de la alta California por Sauter y Thunell, (1991) y los generados por Coulbourn *et al.* (1980) (ThSp-CBP).

III 8.1 Perfil vertical de temperatura.

Con el objetivo de encontrar una relación entre la profundidad de hábitat de los FP, los cuales presentan una distribución vertical en la columna de agua de 500 m de profundidad (Vincent y Berger 1981) y las temperaturas reconstruidas a partir del registro biogénico, se procedió a comparar la temperatura promedio de nuestros registros de paleotemperatura CBP y ThSp-CBP con los promedios de un perfil de temperatura de 483 m de profundidad de la columna de agua de la CSALA, medida a los 26° 11' N y 112° 42'W.

III. 9 Análisis de la composición faunística de foraminíferos plánctico acumulados y preservados en los sedimentos de la CSALA.

El análisis de la composición faunística se realizó mediante el cálculo de índices de diversidad y de dominancia.

1 Índice diversidad de Shannon Weaner.

$$H = -\sum\left(\frac{ni}{N}\right)\log\left(\frac{ni}{N}\right) \quad \text{o} \quad -\sum pi \log pi \qquad \text{(Ec. 11).}$$

ni = Valor relativo de importancia para cada especie.
N = Total de valores relativos de importancia.
pi = Probabilidad de importancia para cada especie = *ni/N*.

2 Índice de Dominancia

$$c = \sum \left(\frac{ni}{N} \right)^2 \qquad \text{(Ec. 12).}$$

ni = valor relativo de importancia para cada especie.
N = Total de valores relativos de importancia.

VI. 10 Análisis de datos.

Las series de los índices relativos que se correlacionaron se les aplicó la prueba de normalidad de Kolmogov-Smirnoff y de homogeneidad de varianza de Barttlet (Zar, 1984) para realizar un análisis de regresión simple. Las series que no se ajustaron a la curva de distribución normal o que no mostraron homogeneidad de varianza, se transformaron logarítmicamente Log (X+1).

Debido a que la correlación de algunas series no todos sus valores eran pareados, el análisis de regresión simple se realizó únicamente entre los valores pareados entre cada una de las series.

La correlación del porcentaje de arenas entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K no mostró evidencias de una relación lineal, por lo que no se realizó el análisis de regresión simple entre estás dos variables.

VI. 10.1 Análisis de series de tiempo.

Con el objetivo de determinar la variabilidad de los FP en la CSALA en términos de su estado de preservación relativa, abundancia absoluta, diversidad y dominancia y peleotemperaturas, como respuesta al forzamiento físico en esta región meridional de la CC se calculó su espectro de potencia mediante el algoritmo de la transformada rápida de Fourier.

El cálculo del espectro de potencia de los índices de preservación promediados para el núcleo BAP96J-6C se realizó sin los valores transformados de pterópodos y con valores transformados de pterópodos (Ec. 8 y 9). La serie del índice de preservación promediado del núcleo BAP96J-6C utilizada para su comparación con la serie del núcleo CA94-8K fue la serie sin valores transformados de pterópodos. Cabe mencionar que para el registro de CH94-IC no se realizó el análisis espectral de poder ya que su registro no era contínuo, lo que impide realizar el análisis de densidad espectral de poder mediante el algoritmo de la transformada rápida de Fourier.

La coherencia temporal en la periodicidad de pares de series correlacionadas se determinó mediante las funciones de transferencia de magnitud y coherencia. La densidad espectral cruzada determina los ciclos comunes en pares de series mediante el suavizado de los valores de poder para cada una de sus frecuencias. La función de transferencia de magnitud es un sistema de identificación no paramétrico; estima la magnitud de un sistema invariante en tiempo para cada una de las frecuencias de las señales X y Y a partir de su densidad espectral cruzada. La transferencia de magnitud se traduce en el grado de covarianza de los componentes senos y cosenos de cada una de las frecuencias. El análisis de coherencia es una función de frecuencia con valores de 0 y 1 y expresa el coeficiente de correlación al cuadrado para cada una de las frecuencias en ambas series.

Para el cálculo del espectro de potencia cruzado de las series de temperaturas de 45 años el período de 25 años no fue considerado debido a que las series fueron divididas en secciones de longitud (n=2) para lograr significancia estadística en base al número de grados de libertad. Por lo que la longitud de la serie de 45 años nos limita determinar grados de libertad para este período. Los espectros de potencia determinados mediante el algoritmo de la transformada rápida de Fourier se estimaron con una banda de confianza del 90%.

Los modos oscilatorios de la amplitud de la señal se obtuvieron mediante la demodulación de la señal en cuadratura utilizando la función demog y el método qam en el paquete estadístico MATLAB.

El establecimiento de la naturaleza de las fluctuaciones de FP en términos de temperatura (variabilidad física oceanográfica), se determinó mediante correlaciones cruzadas entre la abundancia absoluta, diversidad y dominancia de FP con el registro de paleotemperatura CBP. El número de retrasos (lags) utilizados en las funciones de correlación cruzada fue de 19 lags en series de 128 años de registro, por lo que cada unidad de retraso en las funciones de correlación cruzada es alrededor de 6.7 años. La banda de las estimaciones de las funciones de correlación cruzada se determino al 95 % de confianza.

III 10.2 Determinación de la tendencia lineal en las series de temperatura.

Para establecer la tendencia lineal en la serie de paleotemperatura CBP, la serie de temperatura del registro instrumental COADS promedios de primavera y abundancia absoluta de FP, se ajusto una regresión lineal entre los valores adyacentes de cada una de las series. La significancia estadística de las regresiones lineales se determinó con intervalos de confianza al 95%.

Los análisis espectrales de poder y los análisis de las funciones de tranferencia de magnitud y las funciones de coherencia mencionados anteriormente se realizaron con el paquete estadístico MATLAB. Las funciones de correlación cruzada y el análisis de regresión simple se realizaron con el paquete estadístico STATISTICA.

IV RESULTADOS.

IV.1 Correlación de índices relativos.

IV1.1 Correlación de propiedades físicas y texturales de los sedimentos.

Uno de los criterios empleados para establecer la coherencia espacial de la CSALA, fue la correlación del porcentaje de agua y el de arenas de las láminas entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K (Figuras 4 y 5).

La correlación del porcentaje de agua entre las láminas de los dos núcleos fue baja ($r = 0.32$) por lo que no pudimos utilizar este parámetro como criterio de correlación. La baja correlación se debió a que las losas habían permanecido tiempos distintos desecándose por lo que su contenido de agua era diferente (Figura 6). El resumen del análisis de regresión simple del porcentaje de agua entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K se muestra en la tabla III.

El porcentaje promedio de agua para el núcleo BAP96J-6C fue del 67.78 ± 1.78 % (media ± desviación estándar). Para el núcleo CA94-8K el porcentaje de agua promedio fue 56.76 ± 8.15 %. El promedio de agua de la sección de láminas del núcleo BAP96J-6C que traslapaba con el núcleo CA94-8K presentó el 67.74 ± 1.99 % (Figura 7a). Las diferencias en porcentaje promedio de agua y en desviación estándar para la sección de láminas correlacionadas de ambos núcleos, muestra como el núcleo CA94-8K presenta un menor contenido en agua por haber estado desecándose más tiempo.

El porcentaje de arenas entre las láminas de los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K tampoco muestran una correlación de láminas entre ambos núcleos (Figura 5). La baja correlación de este parámetro se debió a un contenido variable de pellets en la fracción de arenas. La formación de pellets se asocia a un gran contenido de fosfato como producto de la disolución y mineralización de la materia orgánica, del alto contenido en fosfato en profundidad, y del aporte de fosfato detrítico ya que esta cuenca se encuentra cercana a unos depósitos de fosfatos en la costa (Seibold *et al.*, 1982).

El porcentaje promedio de arenas para el núcleo BAP96J-6C fue menor de un 10% y una desviación estándar (s)= 9.79. Mientras, para el núcleo CA94-8K fue menor de un 1% (s)=0.91. El promedio de arenas en la sección de láminas del núcleo BAP96J-6C que corresponde equivalente con el núcleo CA94-8K presento el 9.37 ± 10.23 % (Figura 7b). El núcleo BAP96J-6C presenta un mayor contenido en arenas con respecto al núcleo CA94-8K, debido al mayor contenido en pellets en el núcleo BAP96J-6C con un tamaño medio >64μm, los que enriquecen texturalmente el contenido en arenas.

Tabla III Resumen del análisis de regresión lineal simple del porcentaje de agua entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. La prueba t muestra que $\beta_0=0$, la prueba F muestra que $\beta_1 \neq 0$. $p<.05$= zona de rechazo para la hipótesis (Ho): nula. (Ha): Hipótesis alternativa. Estimaciones al 95% de confianza. F(gl), t(gl); gl: grados de libertad.

N= 78 Coeficiente de correlación	Coeficiente de determinación	Hipótesis	Pruebas estadísticas	Significancia p
r = 0.32790	r^2 = 0.10751	Ho: $\beta_0=0$ y Ha: $\beta_0 \neq 0$	t (77)= -0.0628	< 0.950
		Ho: $\beta_1=0$ y Ha: $\beta_1 \neq 0$	F(1,77)=9.2763	< 0.003

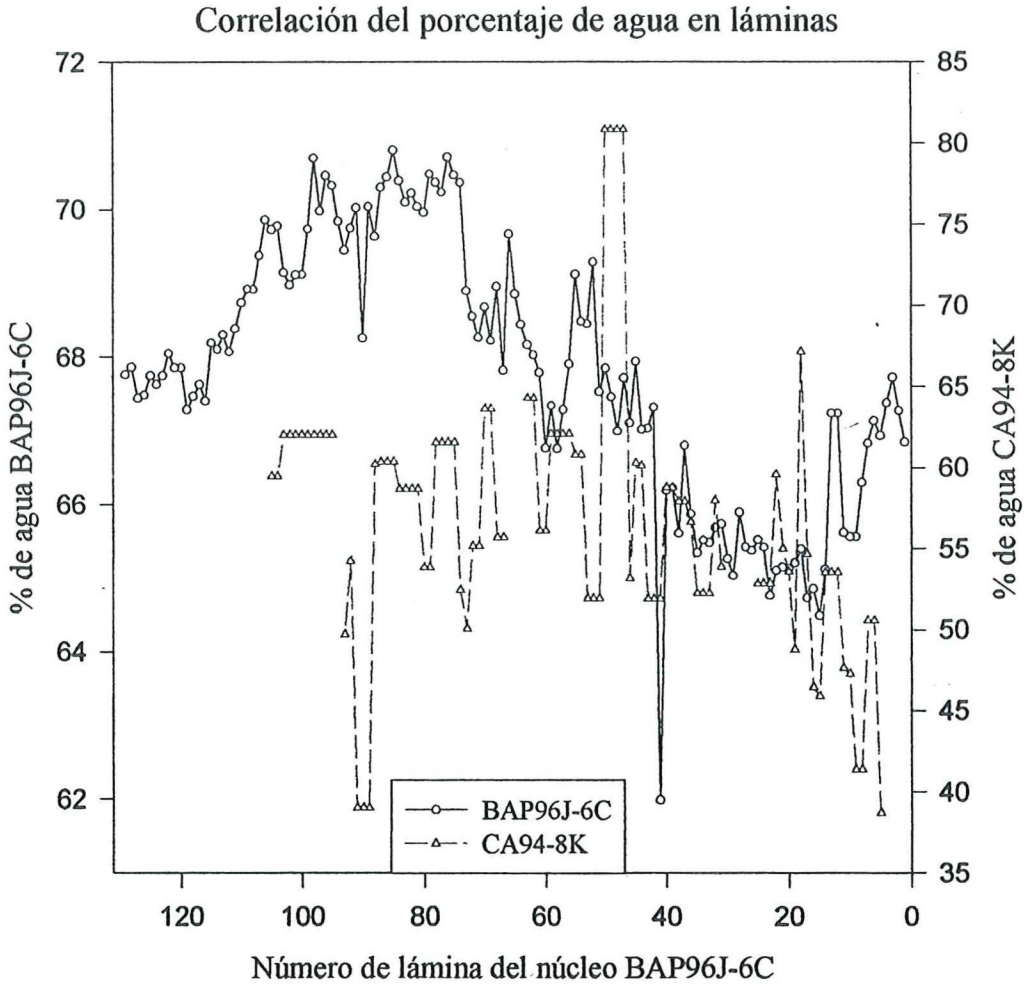


Figura 4. Correlación del Porcentaje en agua a nivel de láminas entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. De 0 a 128 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.

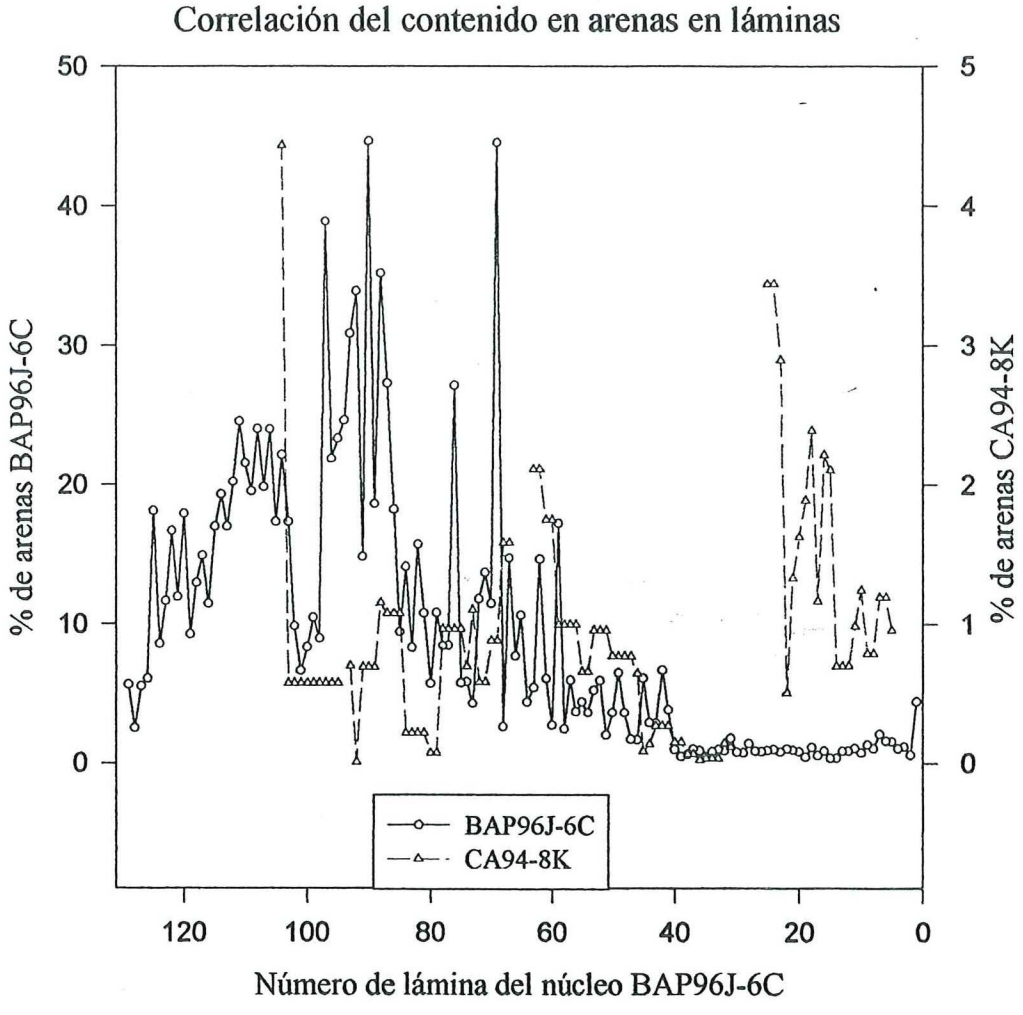


Figura 5. Correlación del contenido en arenas en las láminas entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. De 0 a 128 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.

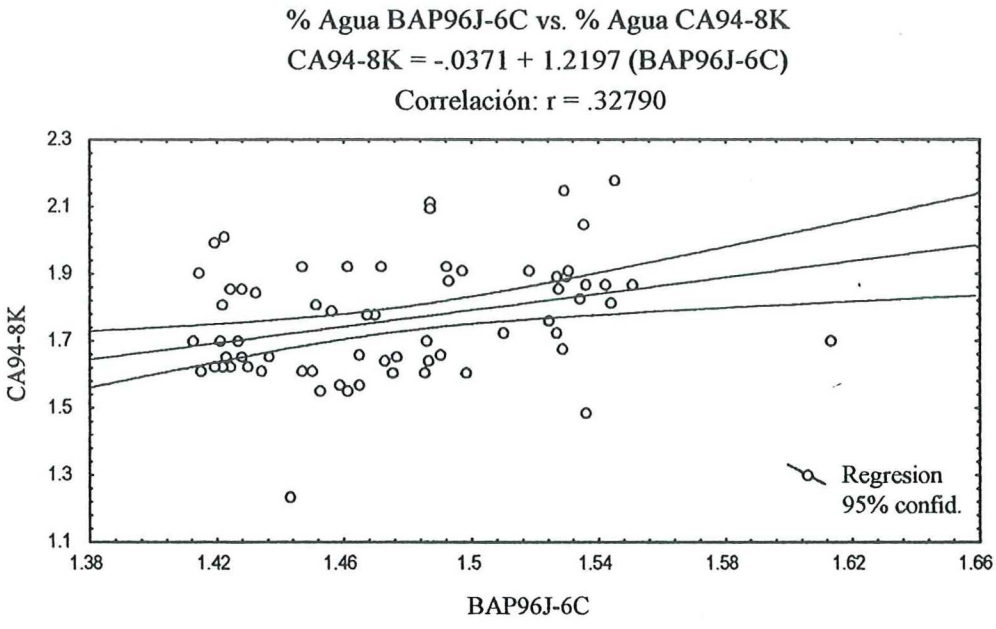


Figura 6. Correlación del porcentaje en agua entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. Línea continua es la línea de regresión, las líneas superior e inferior con respecto a la de regresión muestran la banda de confianza al 95%.

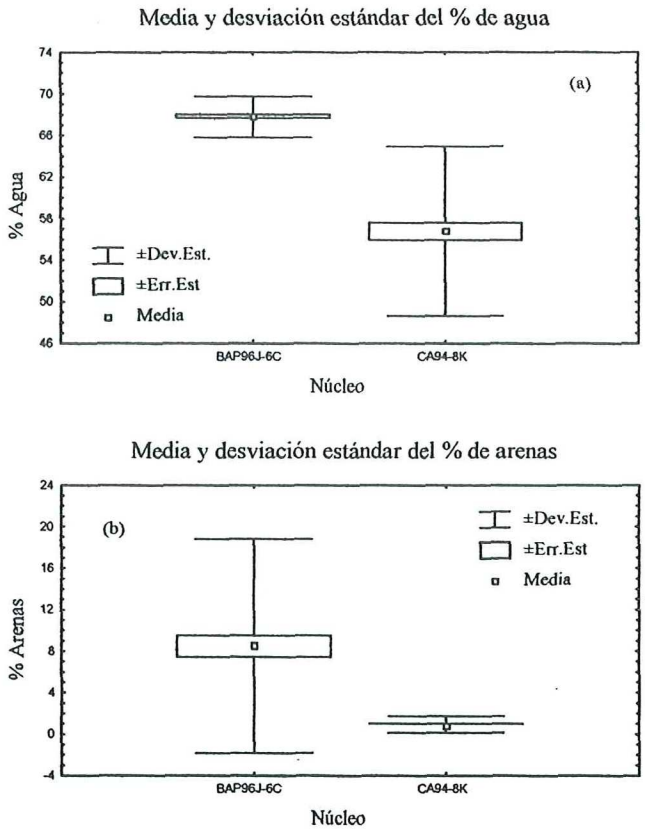


Figura 7. Media, error estándar y desviación estándar del porcentaje en agua y de arenas, para los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. Estimaciones al (95%) de confianza. ± 1 desviación estándar.

IV. 1.2 Correlación del índice faunístico relativo (Ec. 3).

Otro de los criterios utilizados para establecer la correlación espacial dentro de la CSALA, fue el índice relativo Fb/(Fp+Fb) entre los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC (Figura 8).

El factor principal que controla este índice relativo es la acumulación de testas de foraminíferos de los grupos plánctícos y bénticos al sedimento, que es función de las tasas de producción en la columna de agua para los foraminíferos plánctícos y en la interfase agua sedimento para los foraminíferos bénticos. Las tasas de producción del grupo plánctico se encuentran asociadas a la fertilidad y la temperatura en la columna de agua, mientras para el grupo béntico se encuentra

asociada a los pulsos de materia orgánica al sedimento y a la concentración de oxígeno disuelto en la interfase agua sedimento en el fondo de la cuenca.

No fue posible establecer de una manera consistente la coherencia espacio-temporal de la CSALA con este índice relativo. Los patrones observados en la variabilidad espacio-temporal en la relación FB sobre FP entre los tres núcleos solo muestran una coherencia en alrededor de 89 de las láminas correlacionadas. Mientras que no mostraron una coherencia espacial tres secciones de láminas del núcleo BAP96J-6C con el núcleo CA94-8K (6 a 13, 29 a 54, 94 a 106) y para los núcleos BAP96J-6C y CH94-IC en una sección de láminas (113 a 128) (Figura 8). Estos resultados evidencian diferencias en la variabilidad espacial de los FB y FP a nivel de láminas y no presentan correlación posiblemente por la dominancia de FB sobre FP entre núcleos.

La correlación del índice Fb/(Fp+Fb) entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K fue de r = 0.67, mientras la correlación entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K fue de r = 0.52 (Figuras 9a y 9b). El resumen del análisis de regresión simple se muestra en la tablas IV y V.

Tabla IV Resumen del análisis de regresión lineal simple del índice relativo Fb/(Fp+Fb) entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. La prueba t muestra que $\beta_0=0$, la prueba F muestra que $\beta_1\neq 0$. $p<.05$= zona de rechazo para la hipótesis (Ho): nula. (Ha): Hipótesis alternativa. Estimaciones al 95% de confianza. F(gl), t(gl); gl: grados de libertad.

N= 68		BAP96J-6C y CA94-8K		
Coeficiente de correlación	Coeficiente de determinación	Hipótesis	Pruebas estadísticas	Significancia p
r = 0.673	r^2 = 0.4524	Ho: $\beta_0=0$ y Ha: $\beta_0\neq 0$	t (67)= 0.7234	< 0.4719
		Ho: $\beta_1=0$ y Ha: $\beta_1\neq 0$	F(1,67)=55.36	< 0.0001

Tabla V Resumen del análisis de regresión lineal simple del índice Fb/(Fp+Fb) entre los núcleos BAP96J-6C y CH94-IC. La prueba t muestra que $\beta_0 \neq 0$, la prueba F muestra que $\beta_1 \neq 0$. $p<.05$= zona de rechazo para la hipótesis (Ho): nula. (Ha): Hipótesis alternativa. Estimaciones al 95% de confianza. F(gl), t(gl); gl: grados de libertad.

N= 40		BAP96J-6C y CH94-IC		
Coeficiente de correlación	Coeficiente de determinación	Hipótesis	Pruebas estadísticas	Significancia p
r = 0.526	$r^2 = 0.2767$	Ho: $\beta_0=0$ y Ha: $\beta_0 \neq 0$	t (39)= 9	< 0.0001
		Ho: $\beta_1=0$ y Ha: $\beta_1 \neq 0$	F (1,39)=14.92	0.00041

Aunque el factor fundamental que controla este índice relativo es la cantidad de testas de foraminíferos de ambos grupos en el sedimento, existen otros procesos que pueden modificar espacialmente la relación FB sobre FP. Estos procesos tienen un papel importante en la transferencia de sus respectivos hábitats a su acumulación en el sedimento tales como el transporte lateral y la disolución de las testas en la columna de agua y aún más importante en la interfase agua sedimento (Berger,1970; Berger y Soutar, 1970; Berger *et al.*, 1982; Seibold y Berger, 1982; Ingall y Jahnke, 1997). Otro de los factores que puede modificar esta relación son eventos de transporte por eventos turbidíticos.

Los índices de preservación para los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K para las secciones de láminas 6 a 13 y 29 a 54 son coherentes, por lo que no es posible explicar la falta de correlación en esta sección de láminas como resultado de diferencias en el grado de disolución entre estos dos registros (Figura 20). Por otro lado, comparando el número absoluto abundancias cm^{-2} $año^{-1}$ de FP y FB en estas secciones de láminas se observa como para el núcleo BAP96J-6C la abundancia absoluta media de FP en este intervalo de láminas tiene una diferencia de 8.4 FP cm^{-2} $año^{-1}$ con respecto al núcleo CA94-8K, mientras, que la abundancia absoluta media de FB tiene una diferencia de 5.3 FB cm^{-2} $año^{-1}$. Por lo que los números absolutos bajos de FP hacen que el índice relativo sea sensible a

diferencias entre números pequeños asociados con la disminución en la abundancia del grupo plánctico en esta sección de láminas del núcleo BAP96J-6C (Figura 10a).

Debido a que el análisis faunístico del grupo béntico no se realizo a nivel específico se carece de elementos para comprender la falta de correlación en esta sección de láminas.

Por otra parte, las divergencias en los patrones de variabilidad de la proporción FB sobre FP para la sección de láminas 113 a 128 entre los núcleos BAP96J-6C y CH94-IC se encuentran relacionadas con las diferencias en la abundancia del grupo béntico entre estos dos registros, debido a las diferencias en el grado de preservación para esta sección de láminas en los dos núcleos (Figura 20). Comparando las abundancias absolutas totales (cm^{-2} $año^{-1}$) de FP y FB en esta sección de láminas se observan patrones de variabilidad consistente con sus números absolutos con una diferencia promedio de 3.1 FP y FB cm^{-2} $año^{-1}$ entre los FP y FB del núcleo BAP96J-6C y los del núcleo CH94-IC (Figura 10b). Lo que evidencia que para esta sección de láminas la disminución absoluta de ambos componentes biogénicos en ambos núcleos no constituyen un artefacto.

De acuerdo a estos resultados la variabilidad espacio-temporal en la dominancia de FB versus FP presentan una buena correlación temporal en los sedimentos de la CSALA (Figura 8).

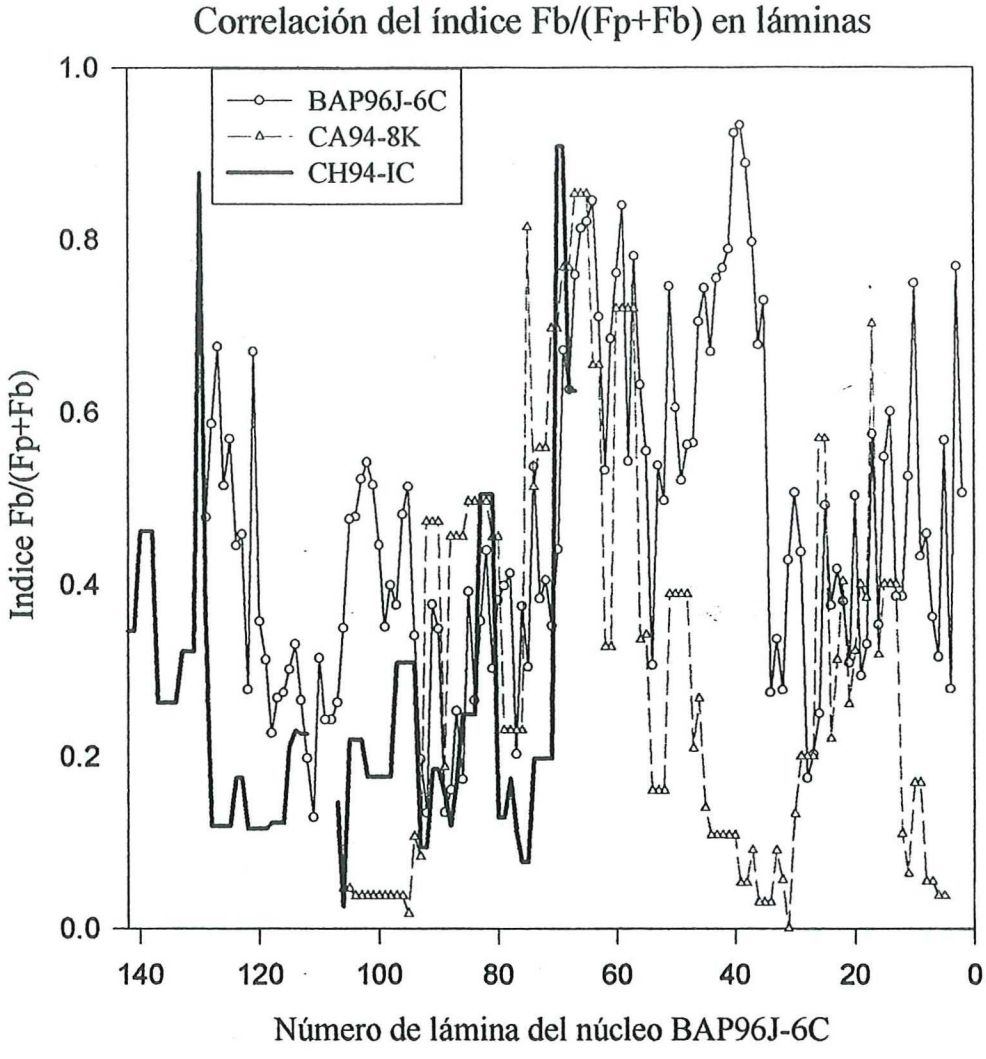


Figura 8. Correlación del índice Fb/(Fp+Fb) a nivel de láminas entre los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC. De 0 a 143 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.

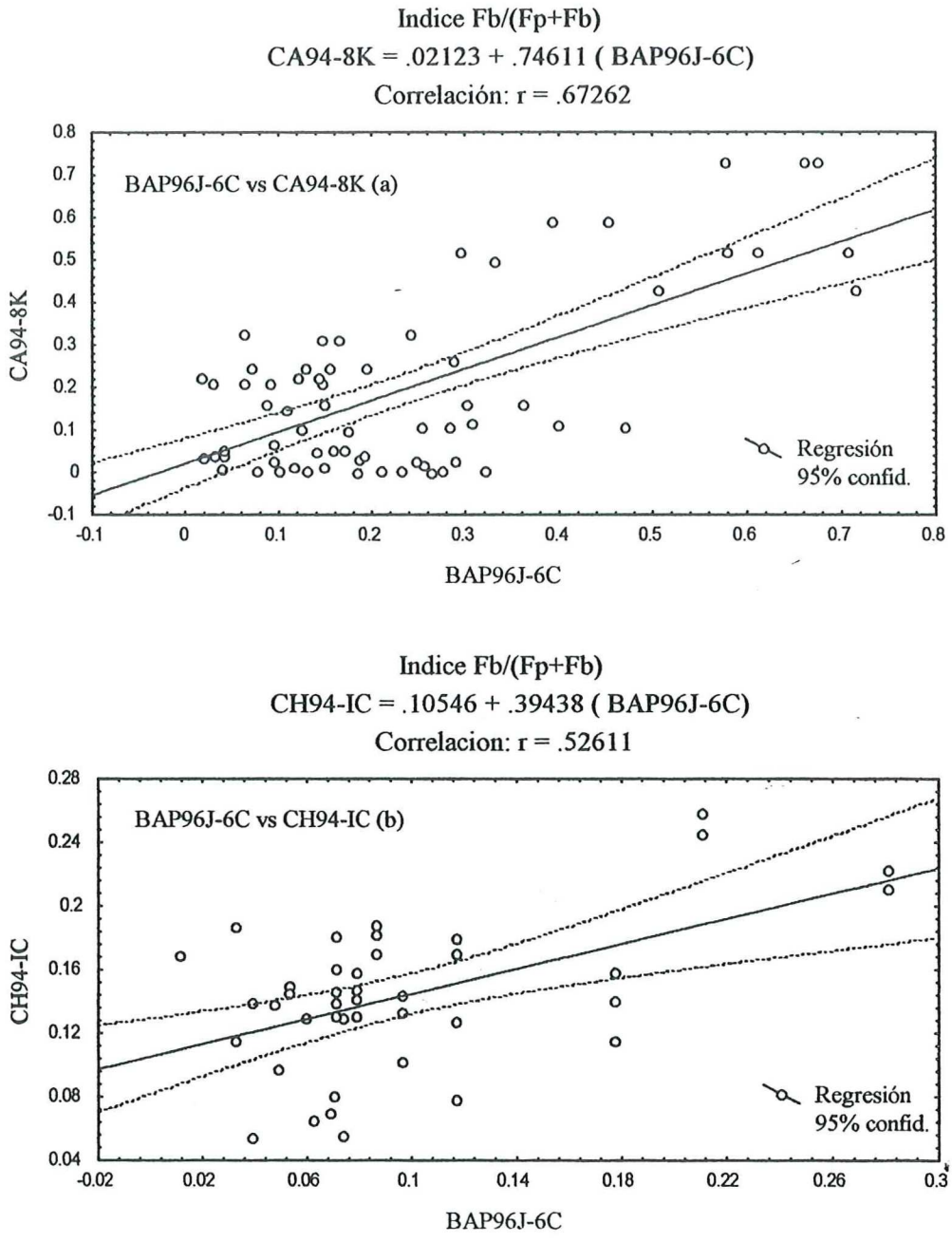
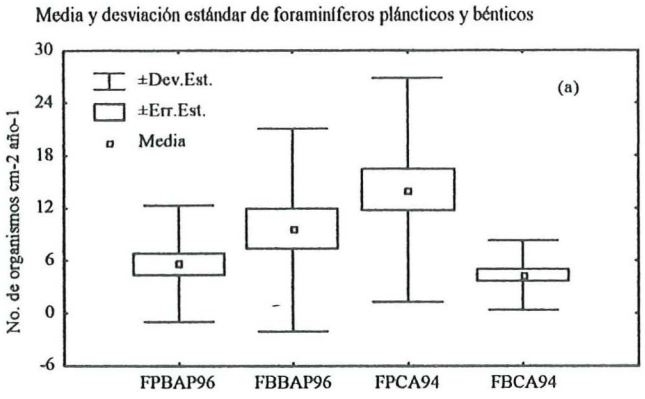


Figura 9. Correlación del índice relativo Fb/(Fp+Fb) (a) entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K, (b) entre los núcleos BAP96J-6C y CH94-IC. Línea continua es la línea de regresión, las líneas discontinuas muestran la banda de confianza al 95%.



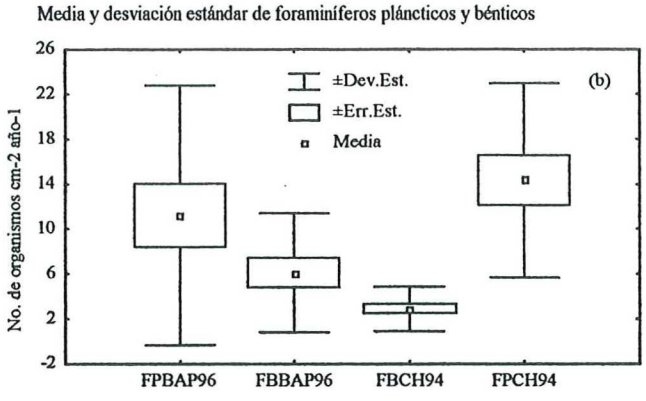


Figura 10. Media y desviación estándar de la abundancia absoluta de foraminíferos plánctícos (FP) y bénticos (FB) (a) entre los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K para la sección de láminas (29 a 54), (b) entre los núcleos BAP96J-6C y CH94-IC para la sección de láminas (113 a 128). Estimaciones al (95%) de confianza. ± 1 desviación estándar y error estándar.

IV 1.3 Correlación de índices de preservación.

Núcleo BAP96J-6C.

1. Índice de fragmentación (Ec. 4).

El índice de preservación es el porcentaje de fragmentos con respecto a la cantidad total de constituyentes calcíticos en las fracciones ≥125μm en cada una de las muestras. Está fracción representa a los foraminíferos de los grupos plánctícos y bénticos y sus respectivos fragmentos. La

cantidad total de constituyentes calcíticos para el núcleo BAP96J-6C fue de 176,124 constituyentes calcíticos (128 láminas^{-1}), con un promedio entre muestras de 2709.7 constituyentes calcitícos (Figura 11). La contribución de foraminíferos y fragmentos con respecto a la cantidad total de constituyentes calcitícos se muestra en la Tabla VI.

Tabla VI. Contribución porcentual de foraminíferos y sus respectivos fragmentos a la cantidad total de constituyentes calcitícos en la fracción ≤ 125 μm /láminas muestreadas^{-1} en los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC.

Frag. de foraminíferos	Núcleo	FP	FB	No. de láminas muestreadas
13.49%	BAP96J-6C	49%	37%	128
16%	CA94-8K	58%	27%	101
8.6%	CH94-IC	72%	19%	77

2. Índice de pterópodos (Ec. 5).

El parámetro utilizado en este índice relativo fue el porcentaje de pterópodos con respecto al contenido total de constituyentes calcíticos en las fracciones ≥125μm en cada una de las muestras. El porcentaje de 0.70% de pterópodos con respecto al contenido total de constituyentes calcitícos ≥ 125μm en el núcleo BAP96J-6C fue muy bajo. Aún así se observan patrones de variabilidad temporal en sus valores relativos; valores que se pueden asociar a diferencias en el grado de disolución selectiva (Figura 12) ya que en este grupo aragonitíco los procesos de disolución son más importantes durante la transferencia de su biocenosis en la zona fótica a su thaphocenosis en el sedimento en comparación con el grupo calcitíco. Debido a que este grupo presenta valores mas elevados de saturación del ion carbonato a una profundidad y temperatura determinada (Haq y Boersma, 1978; Broecker y Peng, 1982). Así el índice de pterópodos determina con una mayor susceptibilidad el grado de preservación de la taphocenosis en los sedimentos de la CSALA con respecto al índice de fragmentación y al paleoecológico *IPA* (Ec 6).

3. Índice paleoecológico de preservación *IPA* (Ec 6).

El parámetro utilizado en este índice son las proporciones relativas de la composición especifica del taxón de FP en las muestras. Los FP preservados en el núcleo BAP96J-6C es de 50% respecto a la cantidad total de constituyentes calcitícos ≥125μ.

El índice paleoecológico *IPA* muestra el estado de preservación de una asociación de FP de acuerdo al rango de su resistencia a la disolución selectiva de cada una de las especies que le conforman (Figura 11). El rango de resistencia a la disolución selectiva puede verse en la Tabla VII. El valor promedio de este índice para el registro sedimentario BAP96J-6C y la proporción de especies con valor superior al promedio del rango de disolución selectiva (3.5), normalizado con respecto a uno se muestra en la Tabla VIII.

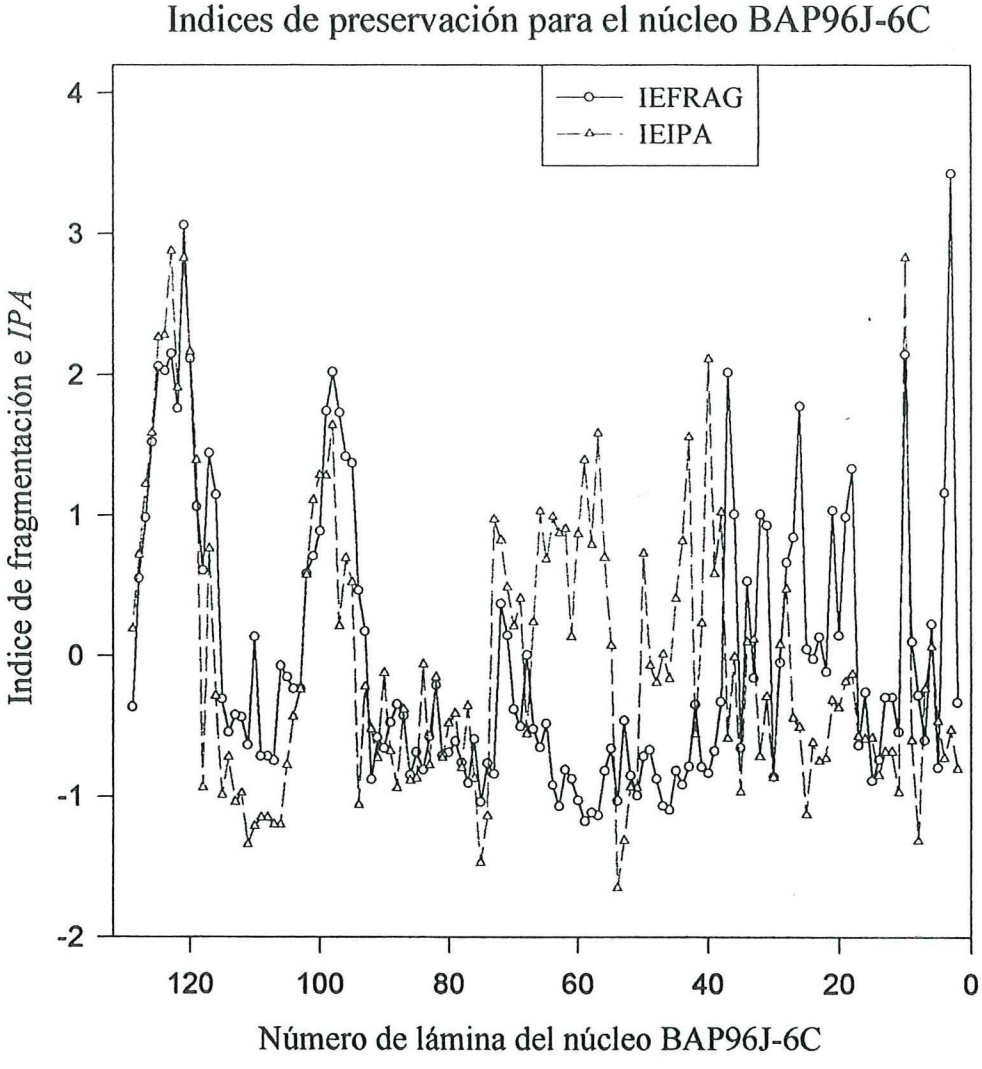


Figura 11. Distribución temporal de los índices de fragmentación (IEFRAG) y paleoecológico *IPA* (IEIPA) previamente estándarizados mediante una transformación Z para el núcleo BAP96J-6C. De 0 a 128 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.

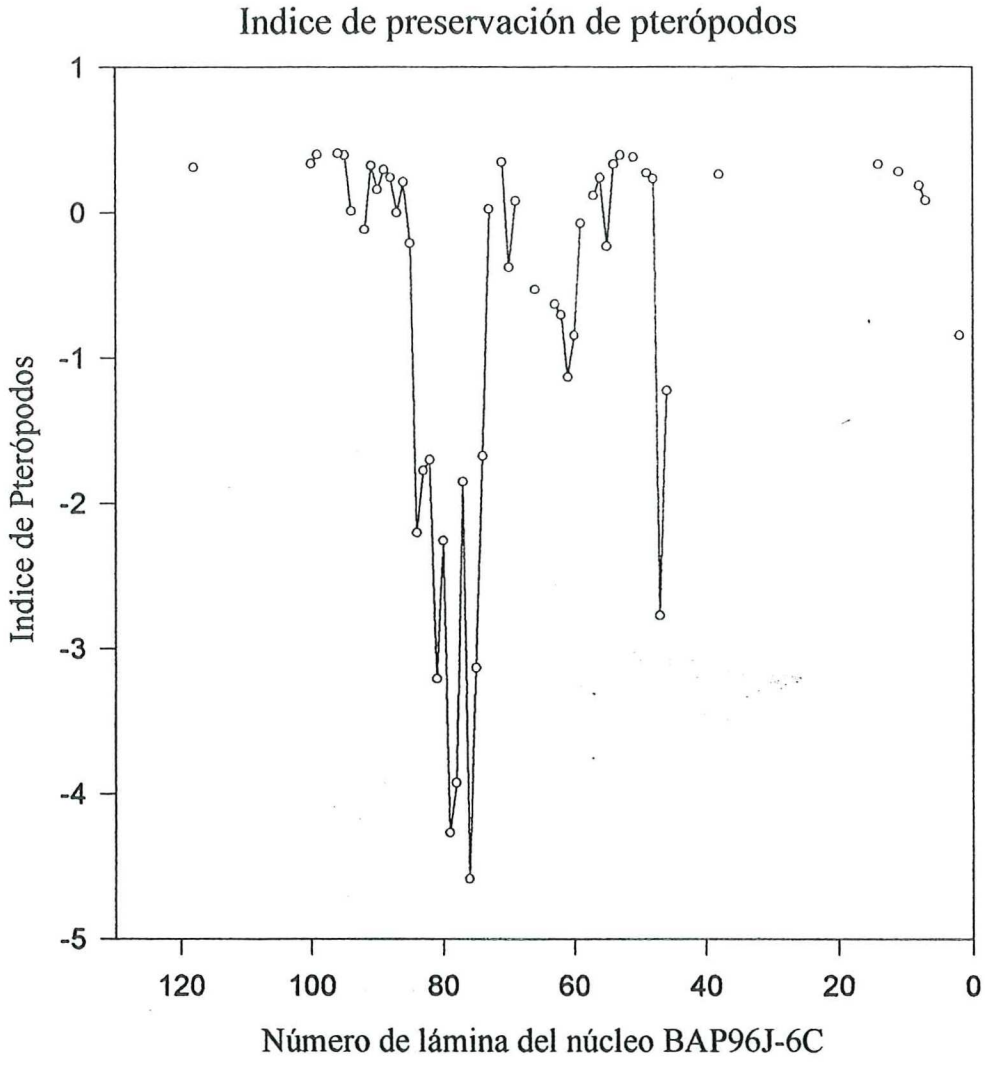


Figura 12. Distribución temporal del índice de pterópodos para el núcleo BAP96J-6C. Los valores negativos muestran mayor preservación relativa. De 0 a 128 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.

Tabla VII. Rango del orden de resistencia de las especies de foraminíferos plácnticos a la disolución selectiva (menor a mayor). Berger (1971a) en Berger (1981), y su distribución latitudinal. *Especies presentes en los sedimentos de la CSALA.

Valor del rango de disolución selectiva	Especies	Distribución Latitudinal
1	*Hastigerina pelagica*	Subtropical
	Hastigerinella rhumbleri	Tropical
2	**Globoturborotalita rubecens*	Tropical
	**Globigerinoides ruber*	Subtropical
3	**Globoturborotalita tenella*	
	**Globigerina bulloides*	Transición
	**Globigerina quinqueloba*	SubArtica-SubAntartica
4	**Globigerinoides sacculifer*	Tropical
	**Globigerinoides conglobatus*	Subtropical
	**Globigerinella siphonifera*	Tropical
	**Orbulina universa*	Subtropical
	**Globigerina falconensis*	Subtropical
5	**Globigerina calida*	
	**Globigerinita glutinata*	SubArtica-Antartica-SubTrp.
	**Globigerinita iota*	
6	*Globorotalia scitula*	SubArtica-SubAntartica
	**Globigerina digitata*	Tropical
	**Globoquadrina conglomerata*	Tropical
7	**Globorotalia cultrata*	Tropical
	**Pulleniatina obliquiloculata*	Sub-Tropical Tropical
	**Sphaeroidinella dehiscens*	Tropical
	**Globorotalia tumida*	Tropical
	**Globorotalia crassaformis*	Subtropical
	**Neogloboquadrina dutertrei*	Sub-Tropical Tropical
	**Turborotalita humilis*	Subtropical
	**Globorotalia truncatulinoides*	SubArtica-Antartica-SubTrp.
	**Globorotalia inflata*	Subtropical
	**Neogloboquadrina pachyderma*	SubArtica-SubAntartica

Tabla VIII. Valor promedio del índice *IPA* y la proporción de especies con valores superiores al promedio del rango de disolución selectiva 3.5 normalizado con respecto a uno en los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC.

Núcleo	Promedio de *IPA*	% de especies
BAP96J-6C	4.5	0.14%
CA94-8K	4.8	0.18%
CH94-IC	4.7	0.17%

Correlacionando los patrones de variabilidad temporal de los índices de fragmentación y paleoecólogico *IPA* se observan patrones de preservación consistentes en las secciones de láminas 2 a la 37 y 74 a la 128. Sin embargo, en los patrones de preservación determinado por ambos índices la sección de láminas 38 a la 64 muestran discrepancias en sus valores normalizados (Figura 11). Comparando el índice de pterópodos con las discrepancias observadas en los índices de fragmentación y el paleoecólogico *IPA,* vemos como el índice de fragmentación presenta mejor correlación con el índice de pterópodos. Esto nos muestra como el índice de fragmentación es más sensible que el índice paleoecológico *IPA* a los procesos de disolución mientras que el índice paleoecológico *IPA* es más sensible a otras variables como la productividad y temperatura (Vincent y Berger, 1981). Deducimos esto de la mayor susceptibilidad de los pterópodos a los procesos de disolución (Figura 13).

El índice de preservación empleado para determinar el grado de preservación relativa de las asociaciones de FP fue obtenido mediante un promedio de los valores de cada índice de preservación, previamente estandarizados mediante una transformación Z (Secc. III. 7.3 y Ec. 6), debido a la respuesta parcial de cada uno de los índices de preservación a factores dinámicos y paleoecológicos tales como productividad y temperatura, sedimentológicos y de transporte lateral (Thunell 1976).

Los resultados del promedio de los tres índices de preservación para el núcleo BAP96J-6C previamente estandarizados mediante una transformación (Z) presentan una distribución con apariencia cuasi normal y un valor medio 0.13 ± 1.69. (Figura 14a). Utilizando como criterio estos

resultados, aquellas muestras con valores superiores a + una desviación estándar fueron consideradas como mal preservadas (Tabla IX) . Por lo que el registro de la asociación sedimentada (taphocenosis) de esas muestras se encuentra considerablemente sesgada por procesos de disolución, y no fueron utilizadas para realizar interpretaciones paleocológicas (Figura 15).

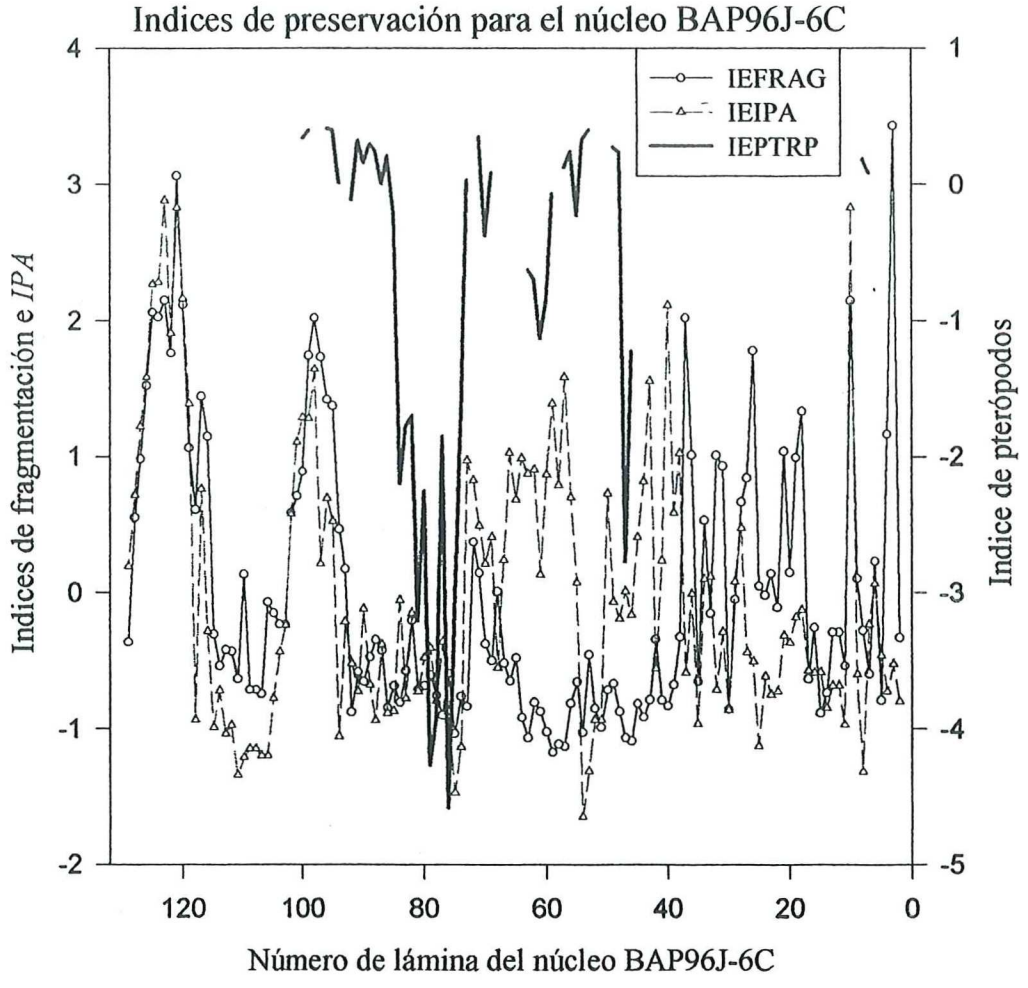


Figura 13. Distribución temporal de los índices de fragmentación (IEFRAG), paleoecológico *IPA* (IEIPA) y de pterópodos (IEPTROP) previamente estándarizados mediante la transformación Z para el núcleo BAP96J-6C. Los valores del índice de petrópodos fueron multiplicados por un valor de -1. De 0 a 128 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.

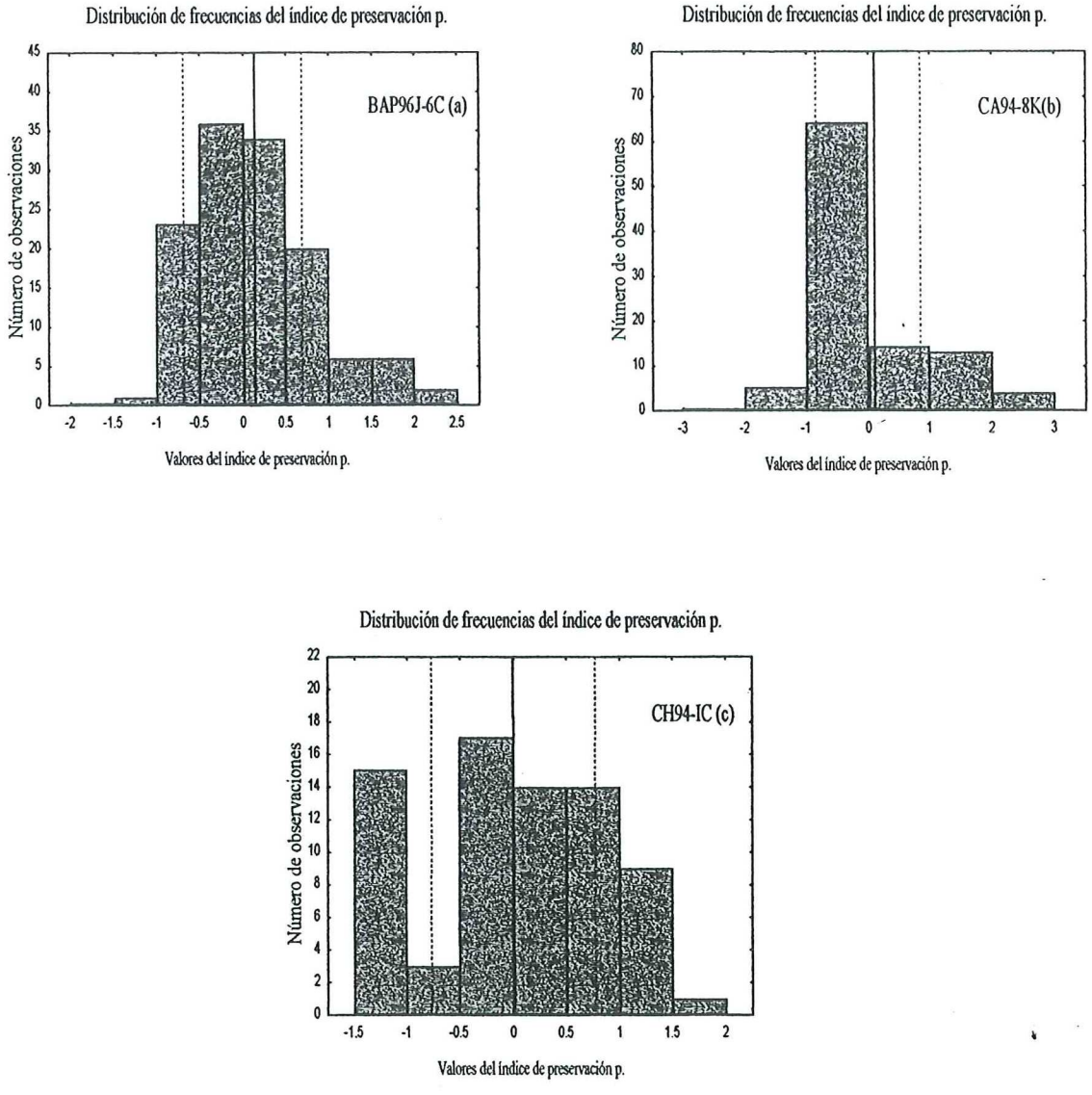


Figura 14. Distribución de frecuencias para los índices de disolución promediados para los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC. La línea vertical continua representa la media, y la líneas verticales discontinuas representan (± 1) desviación estándar. Nota que las escalas son diferentes debido a que el número de láminas muestreadas para cada núcleo es diferente.

Tabla IX. Muestras con valores superiores a una desviación estándar en los índices de preservación promediado de los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC y consideradas mal preservadas.

Núcleo	Muestras mal preservadas
BAP96J-6C	2, 9, 36, 96, 97, 98, 99 y 100
CA94-8K	52 a 57, 60 a 70, 87 y 88
CH94-IC	3 a 8, 45 a 49, 63 a 62 y 72 a 77

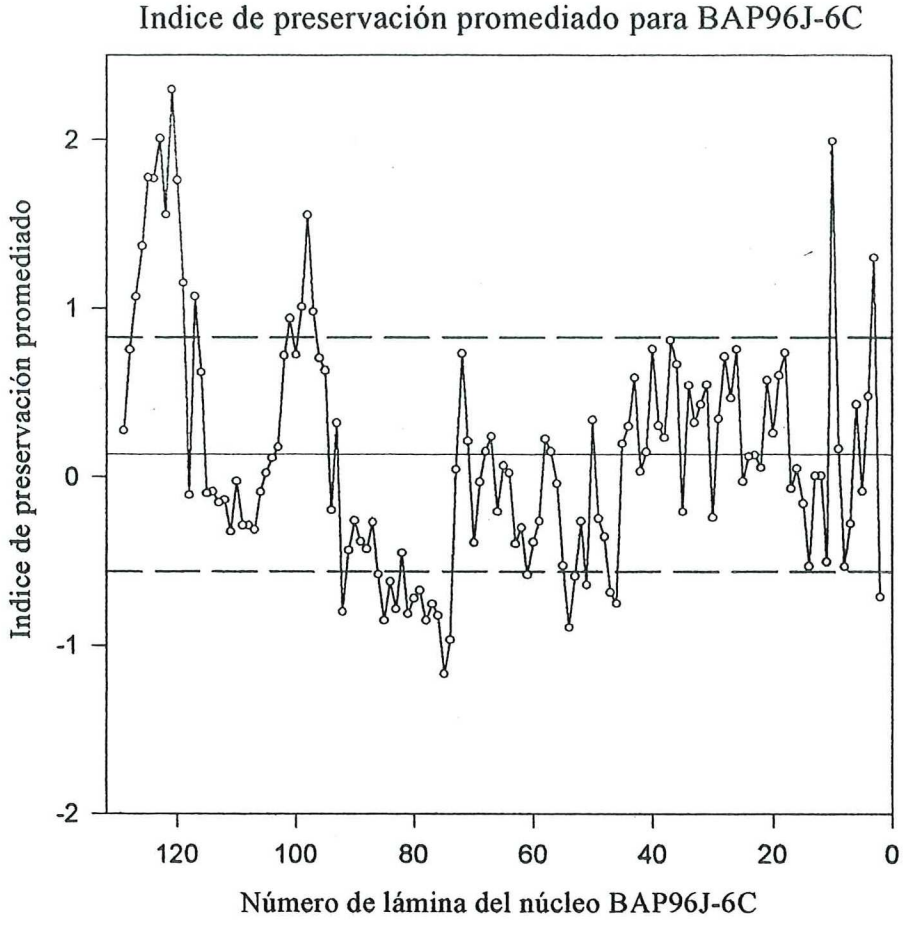


Figura 15. Distribución temporal del índice de preservación promediado para el núcleo BAP96J-6C. Los valores por arriba de la línea horizontal discontinua superior (+1 desviación estándar) son aquellas muestras relativamente mal preservadas, los valores alrededor de la línea horizontal continua (media) son aquellas muestras bien preservadas, y los valores por debajo de la línea horizontal discontinua inferior (-1 desviación estándar) son aquellas muestras muy bien preservadas. De 0 a 128 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.

Núcleo CA94-8K.

1. Índice de fragmentación (Ec. 4).

La cantidad total de constituyentes calcíticos ≥125μm para el núcleo CA94-8K fue de 38643 constituyentes calcíticos 101 láminas^{-1} con un promedio entre muestras de 653 constituyentes calcíticos (Figura 16). El porcentaje de foraminíferos y sus respectivos fargmentos con respecto a la cantidad total de constituyentes calcíticos se muestra en la Tabla VI.

2. Índice paleoecológico de preservación *IPA*. (Ec. 6).

Los FP del núcleo CA94-8K representan el 60% con respecto a la cantidad total de constituyentes calcitícos (Figura 16). El promedio del índice *IPA* y la proporción de especies con valor superior al promedio del rango de disolución se muestra en la Tabla VIII.

La correlación entre los índices de fragmentación y el índice paleoecológico *IPA* para el núcleo CA94-8K no muestra patrones de preservación similares a las del núcleo BAP96J-6C. Aquellas secciones de láminas que muestran una correlación cuasi coherente son: 21 a 50 y 81 a 101. Las secciones de láminas que muestran discrepancias marcadas son 1 a 20, 51 a 68 y 72 a 85) (Figura 16). Como se mencionó anteriormente las divergencias en las estimaciones de ambos índices se encuentra asociadas a la respuesta parcial de cada uno de los índices a factores no relacionados con los procesos de disolución. Sin embargo, la poca consistencia en su correlación posiblemente se encuentre asociada a que en este núcleo la especie más representativa fue *N. dutertrei*, la cual es relativamente más resistente a la disolución selectiva. Mientras que para el núcleo BAP96J-6C la especie más representativa fue *G. bulloides* la que es más susceptible a la disolución (Figuras 38ab).

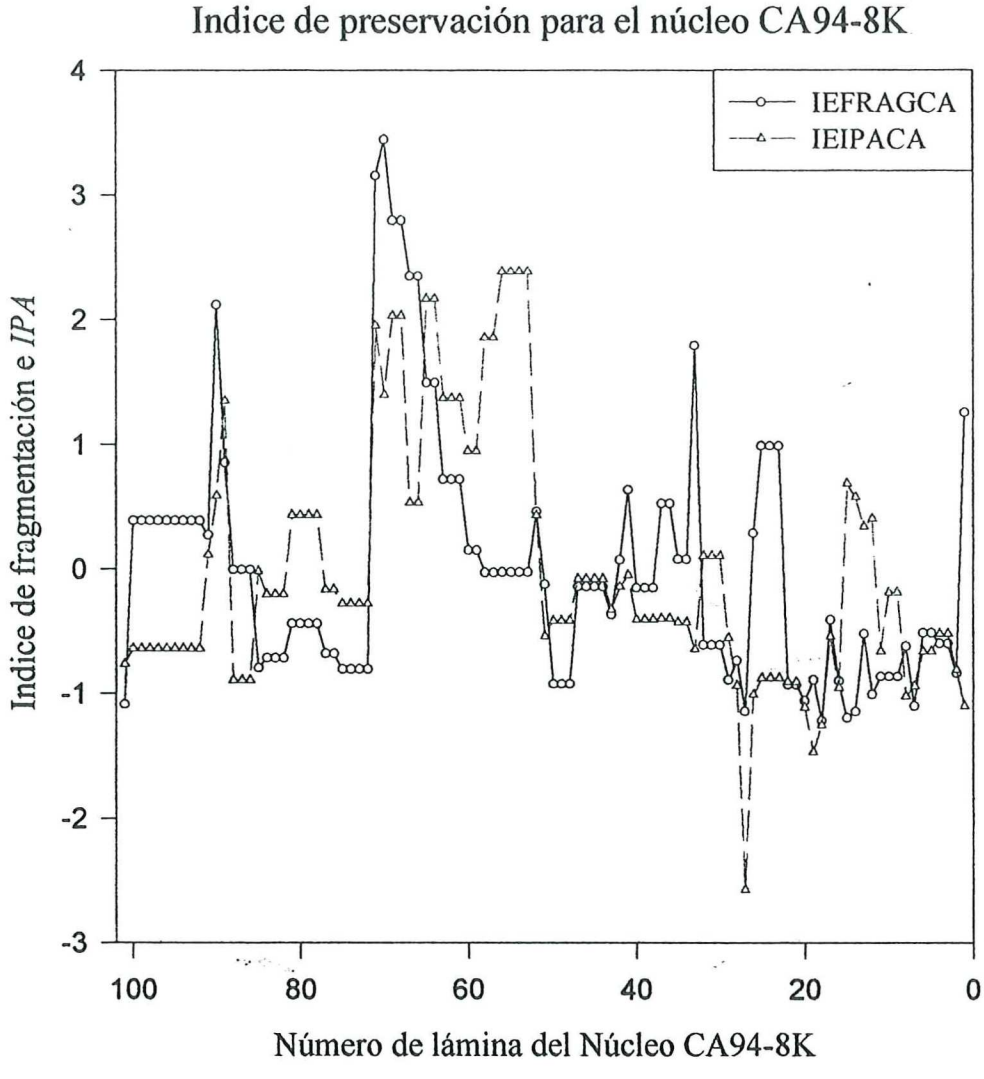


Figura 16. Distribución temporal de los índices de fragmentación (IEFRAG) y paleoecológico *IPA* (IEIPACA) estándarizados mediante una transformación Z para el núcleo CA94-8K. De 0 a 101 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.

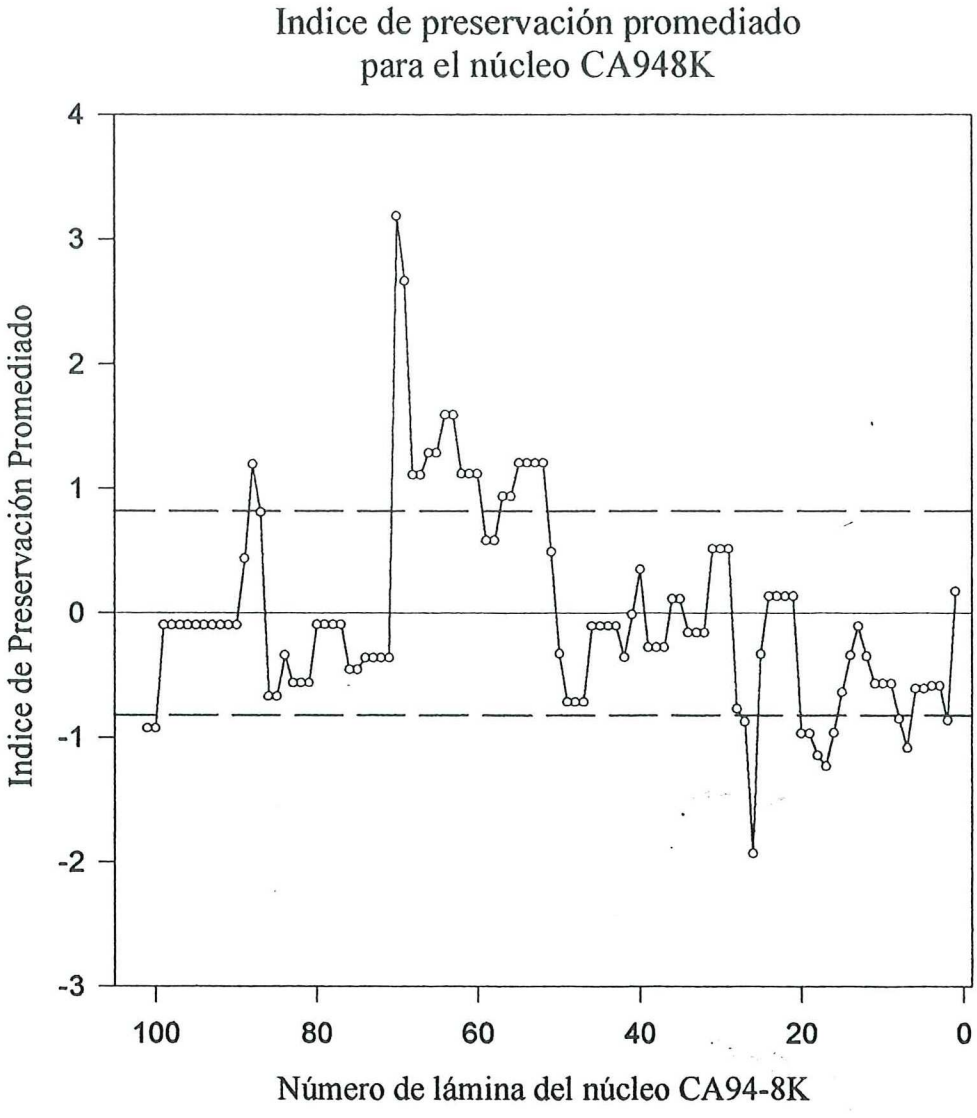


Figura 17. Distribución temporal del índice de preservación promediado para el Núcleo CA94-8K. Los valores por arriba de la línea horizontal discontinua superior (+1 desviación estándar) son aquellas muestras relativamente mal preservadas, los valores alrededor de la línea horizontal continua (media) son aquellas muestras bien preservadas, y los valores por debajo de la línea horizontal discontinua inferior (-1 desviación estándar) son aquellas muestras muy bien preservadas. De 0 a 101 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.

Los resultados del promedio de los dos índices de preservación para el núcleo CA94-8K presentan una distribución de frecuencias asimétrica con un valor medio de 0.0097 ±1 0.8505 y sesgada hacia valores de menor preservación (Figura 14b). Las muestras que mostraron una dispersión mayor a + una desviación estándar con respecto a la media se presentan en la Tabla IX y Figura 17.

Núcleo CH94-IC.

1 Índice de fragmentación (Ec.4).

La cantidad total de constituyentes calcíticos ≥125μm para el núcleo CH94-IC fue de 4444 constituyentes calcíticos 77 láminas^{-1} con un promedio entre muestras de 1169 constituyentes calcíticos (Figura 18). El porcentaje de foraminíferos y sus fragmentos con respecto a la cantidad total de constituyentes calcíticos se muestra en la Tabla VI.

2 Índice paleoecológico de preservación *IPA* (Ec. 6).

Los FP preservados en el núcleo CH94-IC representan el 72% en relación al total de constituyentes calcíticos. El promedio del índice *IPA* y la proporción de especies con valor superior al promedio del rango de disolución selectiva se muestra en la Tabla VIII (Figura 18).

La correlación entre los índices de fragmentación y el índice paleoecológico *IPA* (Ec. 5) para el núcleo CH94-IC muestran patrones de preservación consistentes en la mayoría de las láminas, pero con discrepancias en las secciónes de láminas 1 a 4 y 50 a 63. Al igual que en los núcleos anteriores se observa la influencia de factores no relacionados con los procesos de disolución (Figura 18).

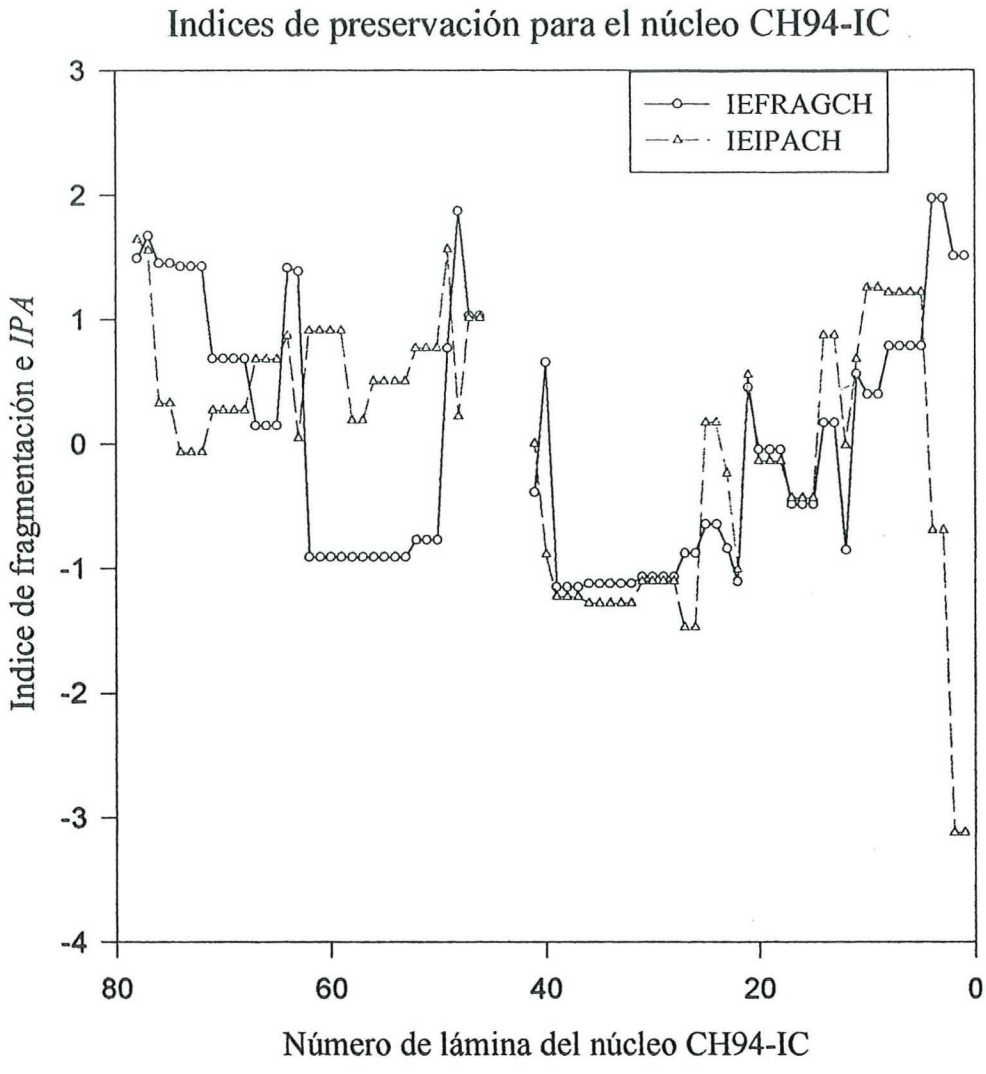


Figura 18. Distribución temporal de los índices de fragmentación (IEFRAGCH) y paleoecológico *IPA* (IEIPACH) estándarizados mediante la transformación Z para el núcleo CH94-IC. De 0 a 78 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.

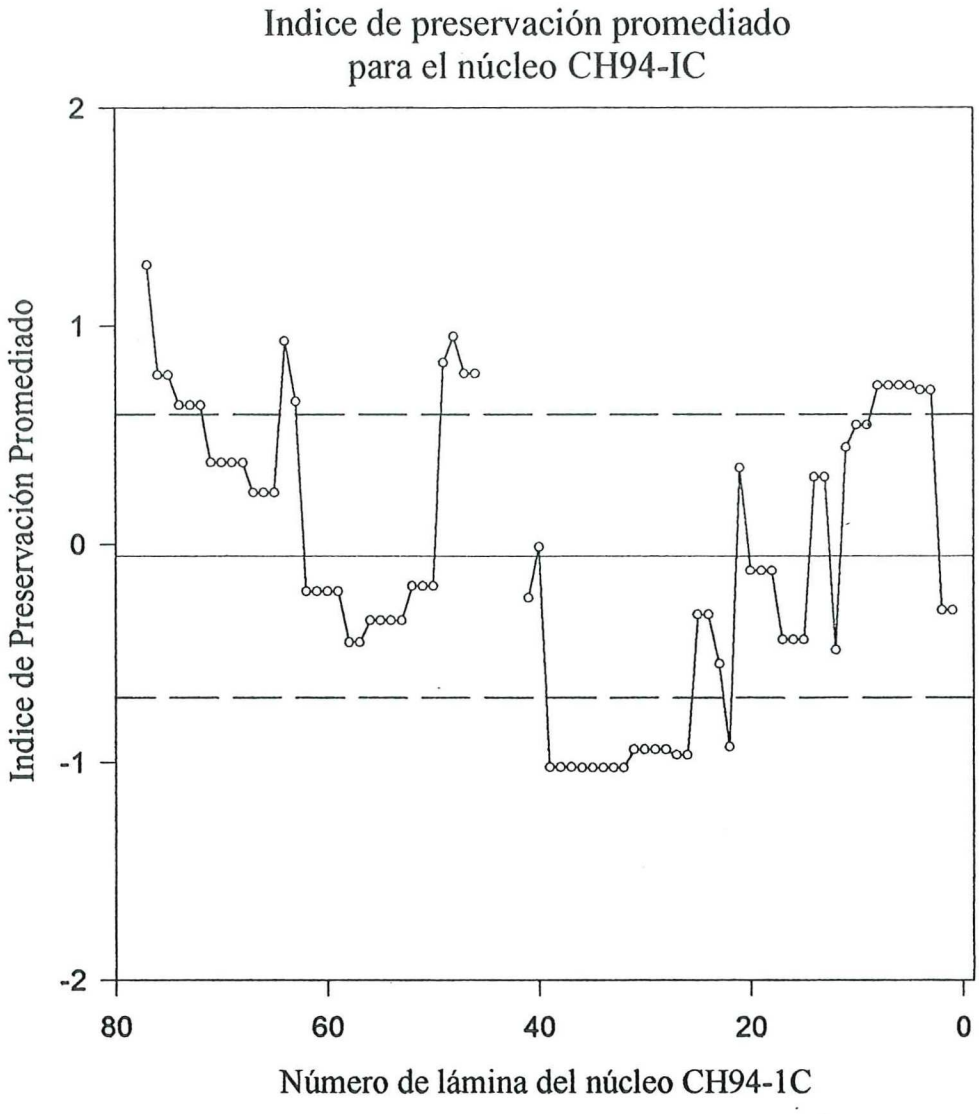


Figura 19. Distribución temporal del índice de preservación promediado para el Núcleo CH94-IC. Los valores por arriba de la línea horizontal discontinua superior (+ 1 desviación estándar) son aquellas muestras relativamente mal preservadas, los valores alrededor de la línea horizontal continua (media) son aquellas muestras bien preservadas, y los valores por debajo de la línea horizontal discontinua inferior (- 1 desviación estándar) son aquellas muestras muy bien preservadas. De 0 a 78 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.

El resultado del promedio de los dos índices de preservación para el núcleo CH94-IC presentan una distribución de frecuencia uniforme con una 0.0 ± 10.78 y sesgada hacia valores de menor preservación (Figura 14c). Las muestras con valores superiores a + una desviación estándar en su dispersión con respecto a la media se muestran en la Tabla IX (Figura 19).

Los resultados de los índices de preservación promediados de cada uno de los núcleos estudiados determina que en la gran mayoría de las muestras las asociaciones de foraminíferos no fueron afectadas considerablemente por procesos de disolución o lo fueron en un grado muy comparable en los sedimentos de la CSALA.

Una vez determinada la preservación de las asociaciones de FP en los núcleos estudiados correlacionamos los índices de preservación entre los distintos núcleos para determinar la coherencia espacio-temporal en los patrones de preservación en la CSALA (Ec. 7).

Los patrones de preservación en los núcleos estudiados muestran una clara consistencia aunque con ligeras divergencias en el grado de preservación relativa de las asociaciones de FP en algunas láminas. La correlación de los índices de preservación entre los núcleos BAP96J-6C y CA94 8K presentan diferencias principalmente en las láminas 57 a 75 y 95 a 102. Las diferencias en el grado de preservación en la primer sección de láminas, 57 a 75 es coherente con las divergencias observadas en la abundancia de FP para estas profundidades en el núcleo mientras que las diferencias para el segundo grupo de láminas los valores del índice de preservación son el resultado de una mayor resolución en el muestreo de BAP96J-6C lo que introduce un suavizado en los valores del testigo CA94-8K (Figura 20). La correlación de los índices de preservación para los núcleos BAP96J-6C y CH94-IC también presentó divergencias en sus estimaciones en algunas secciones de láminas: 88 a 102, 109 a 119 y 120 a 128. Aunque la principal divergencia observada, láminas 88 a 102, está relacionada a la limitación que impone la correlación entre láminas de estos núcleos. La segunda discrepancia, láminas 109 a 119 y 120 a 128, en la correlación de los índices entre estos dos núcleos

muestran grados de preservación relativa diferentes entre estas láminas los cuales son coherentes con las divergencias en la abundancia de FP en esta sección de láminas.

La correlación del índice de preservación entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K fue de r = 0.36 (Figura 21). El resumen del análisis de regresión simple se muestra en la tabla X. La correlación del índice de preservación entre los núcleos BAP96J-6C y CH94-IC no fue significativa.

Aún con las diferencias mencionadas anteriormente los patrones espaciales y temporales observados en la preservación mediante la correlación de sus respectivos índices evidencian una coherencia espacio-temporal relativamente alta en la preservación de las asociaciones de FP en la CSALA.

Tabla X Resumen del análisis de regresión lineal simple del índice de preservación promediado entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. La prueba t muestra que $\beta_0 \neq 0$, la prueba F muestra que $\beta_1 \neq 0$. $p<.05$= zona de rechazo para la hipótesis (Ho): nula. (Ha): Hipótesis alternativa. Estimaciones al 95% de confianza. F(gl), t(gl); gl: grados de libertad.

N= 86		BAP96J-6C y CA94-8K		
Coeficiente de correlación	Coeficiente de determinación	Hipótesis	Pruebas estadísticas	Significancia p
r = 0.3619	r^2 = 0.13183	Ho: β_0=0 y Ha: $\beta_0 \neq 0$	t (85)= 12.81	0.000571
		Ho: β_1=0 y Ha: $\beta_1 \neq 0$	F(1,85)=-5.7	< 0.0001

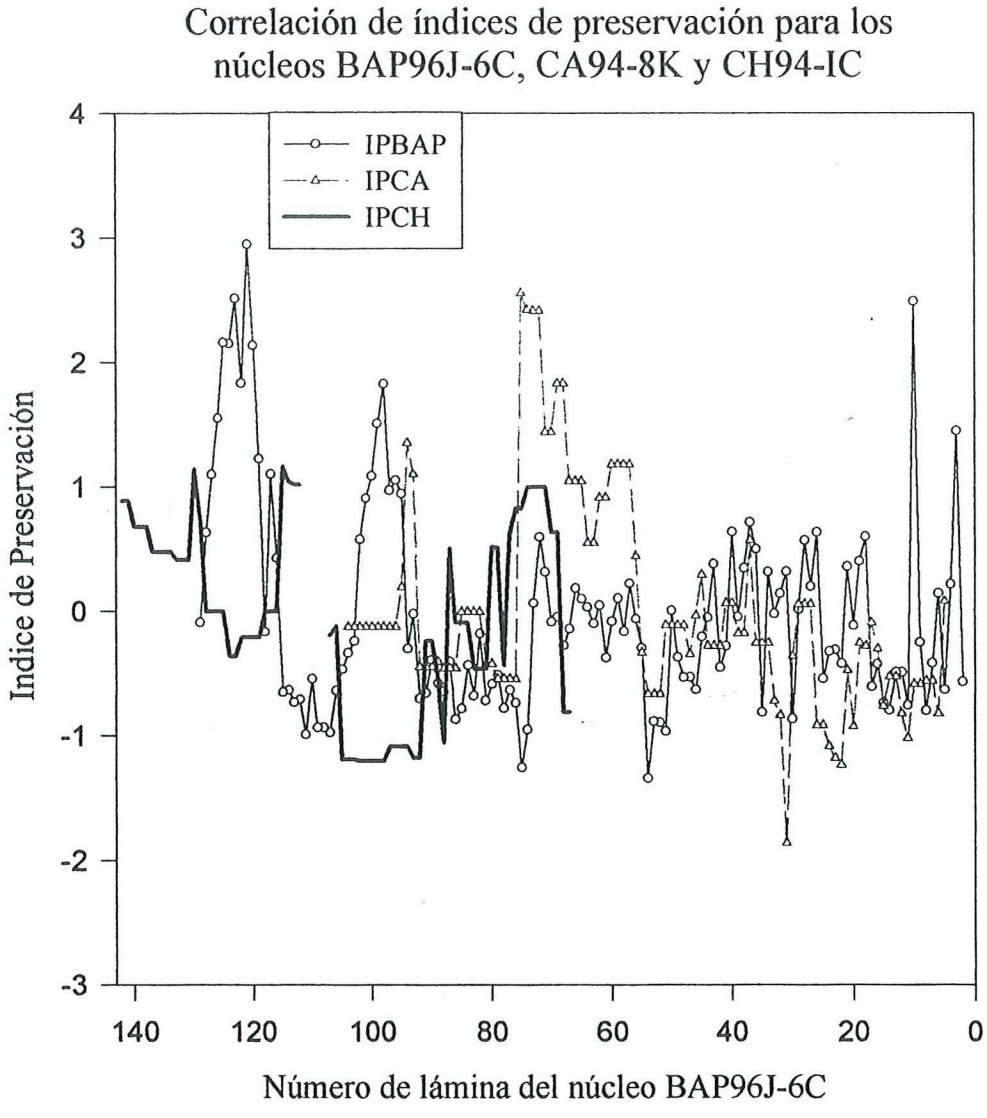


Figura 20. Correlación de Indices de Preservación promediados para los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K, CH94-IC. De 0 a 143 láminas respectivamente, menor y mayor profundidad.

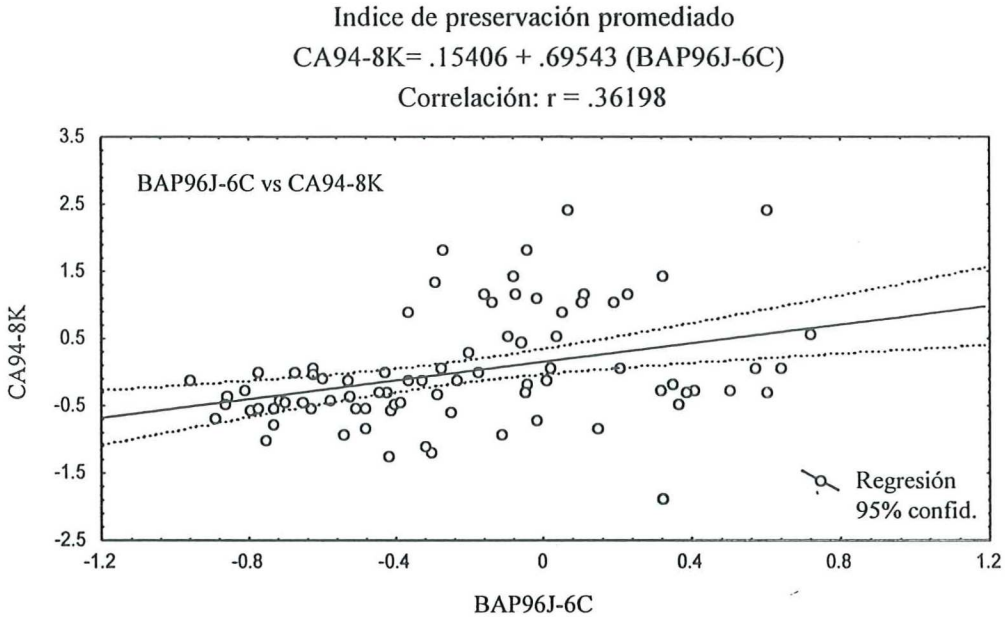


Figura 21. Correlación del índice de preservación promediado entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. Línea continua es la línea de regresión, las líneas discontinuas muestran la banda de confianza al 95%.

VII 2. Análisis de series de tiempo para los índices de preservación.

El espectro de potencia para el índice de disolución promediado correspondiente a BAP96J-6C, con valores de pterópodos transformados (Ecs. 7 y 8), muestra períodos importantes en la escala de tiempo interanual e interdecadal. La variabilidad interanual oscila en periodos de 2 a 7-8 años, mientras la variabilidad interdecadal esta representada por un periodo de 33 años (Figura 22a).

El índice de preservación del núcleo BAP96J-6C utilizado para comparar su espectro de potencia y realizar el análisis de densidad espectral cruzada con el núcleo CA94-8K-2 fue promediado sin los valores de pterópodos trasformados (Ecs. 7 y 9). El espectro de potencia para los índices de preservación BAP96J-6C y CA94-8K muestra patrones similares en su variabilidad en las escalas de tiempo interanual e interdecadal. Los ciclos comunes entre los dos índices de preservación son de 33, 6, 4.4 y 2.8 años. Mientras que los ciclos de 10.6, 7 y 3.3 años para el índice preservación

de BAP96J-6C divergen con los determinados para el núcleo CA94-8K el cual presenta ciclos 12, 8 y 3 años (Figura 22b y c).

Los períodos comunes determinados por la densidad espectral cruzada entre las series de BAP96J-6C y CA94-8K son de 33, 12.5, 5.5, 4.2, 3.2 y 2.6 años (Figura 23). El grado de covarianza de los componentes senos y cosenos obtenidos de la función de transferencia de magnitud para cada una de las frecuencias determinadas por el análisis de la densidad espectral cruzada muestra que para el periodo de los 33 y 3.2 años, hay una menor covarianza en sus componentes de ambas series, con respecto a los periodos 12.5, 5.5, 4.2, y 2.6 años (Figura 23a). El coeficiente de correlación al cuadrado para cada una de las frecuencias en ambas series obtenido mediante el análisis de la función de coherencia, muestra correlaciones para lo ciclos de 33 años de alrededor de 0.75 para los periodos de 12.5, 5.5 y 4.2 años presenta correlaciones alrededor de 0.8 y 0.9, mientras, las correlaciones mas bajas son para los periodos de 3.2 y 2.6 años con coeficientes de correlación de 0.4, 0.6 y 0.5, respectivamente (Figura 24b).

Aunque el ciclo de los 33 años para el índice de preservación CA94-8K es significativo con intervalos de confianza del 90% este se encuentra menos expresado en comparación con el determinado para el índice de preservación de BAP96J-6C, lo que posiblemente explique la baja covarianza entre los componentes de ambas series en esta frecuencia (Figura 22b y c).

Estos resultados muestran una coherencia espacial y temporal en la preservación relativa de las asociaciones de FP en los sedimentos de la CSALA en las escalas de tiempo interanual e interdecadal.

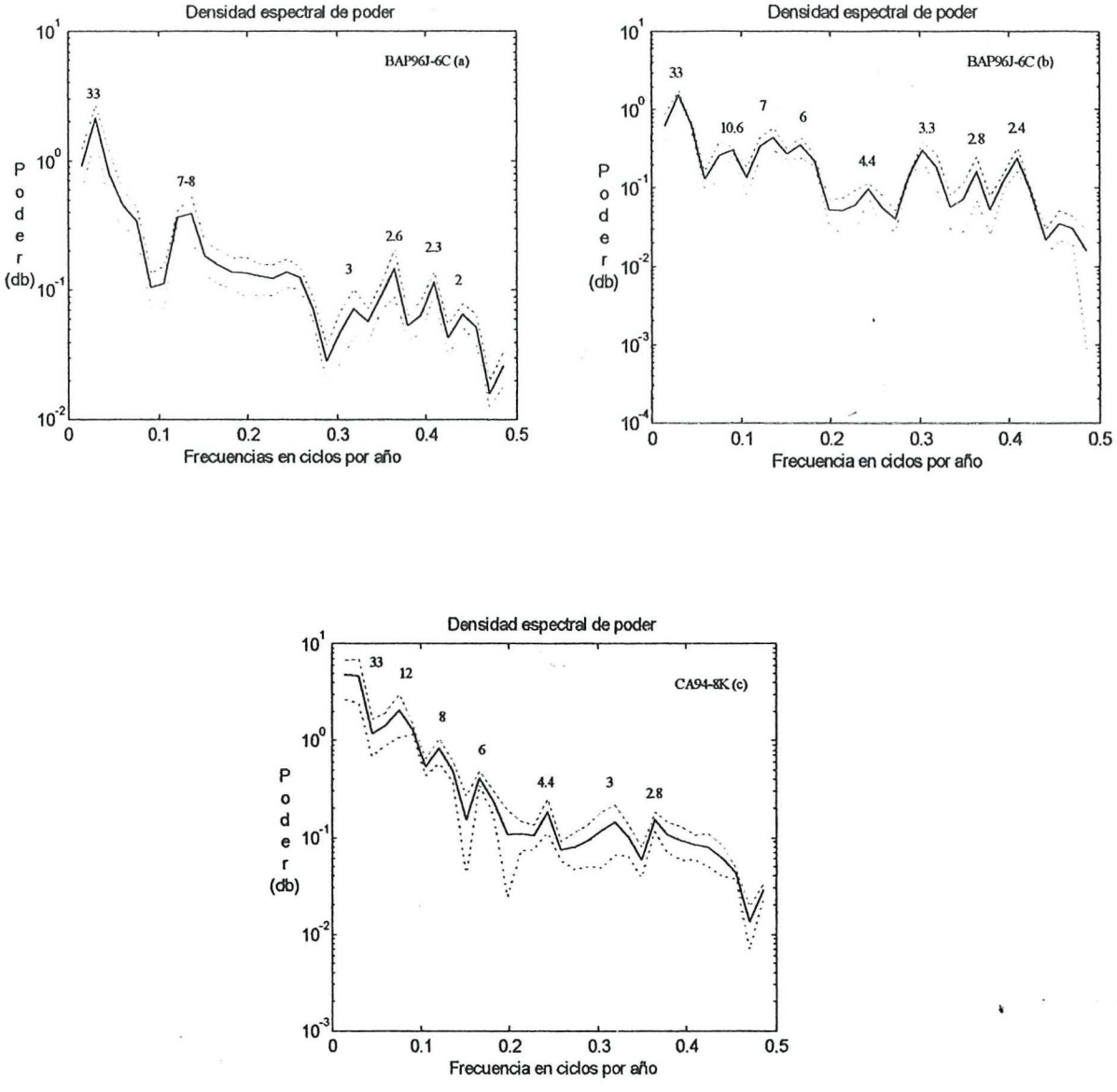


Figura 22. Densidad espectral de poder para el índice de preservación promediado del núcleo BAP96J-6C (a) con valores transformados de pterópodos, (b) sin valores transformados de pterópodos (c) del núcleo CA94-8K. Línea continua es la distribución del espectro de frecuencias, las líneas superior e inferior discontinuas son los intervalos de confianza al 90%. Decibeles (db).

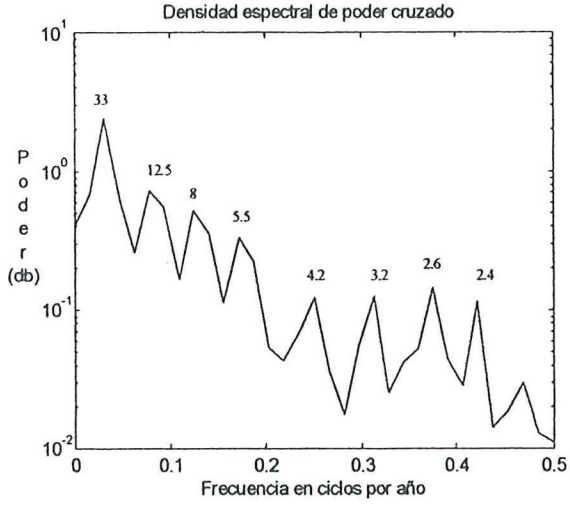


Figura 23. Densidad espectral de poder cruzado para los índices de preservación promediados de los núcleos BAP96J-6C (sin valores transformados de pterópodos) y CA94-8K. Decibles (db).

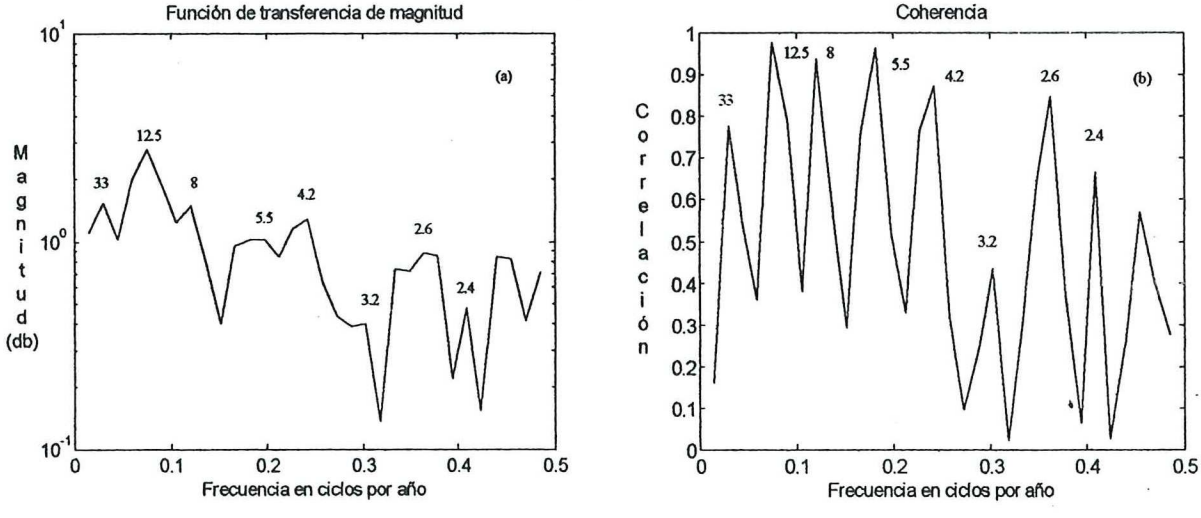


Figura 24. Función de trasferencia de magnitud (a), función de coherencia (b), para los índices de preservación promediados de los núcleos BAP96J-6C (sin los valores trasformados de pterópodos) y CA94-8K. Decibeles (db).

VII. 3 Calibración del flujo de foraminíferos plánctícos acumulados y preservados en los sedimentos de la CSALA con el registro instrumental COADS y la variabilidad física oceanográfica de la región meridional de la Corriente de California.

VII 3.1 Correlación entre el registro instrumental de temperaturas COADS, y el registro biótico de paleotemperaturas.

Con la finalidad de reconstruir la paleotemperatura de la región meridional de la Corriente de California para períodos anteriores al registro instrumental y para establecer la relación entre el flujo de FP preservados en los sedimentos de la CSALA, con los registros de temperatura en esta región hemos reconstruido dos registros de paleotemperaturas CBP y ThSp-CBP mediante una función paleoecológica de transferencia (Berger, 1969 en Vincent y Berger, 1981), (Secc. III. 8, Ec. 10 y Figura 25). La ecuación determina la temperatura a partir de una media ponderada de las temperaturas óptimas de una asociación de FP.

Las temperaturas óptimas generadas por Coulbourn *et al.* (1980) se encuentran determinadas por cuatro asociaciones de FP, en donde su distribución corresponde a las cuatro masas de agua en el Océano Pacífico Norte (Sverdrup *et al.* 1942), por lo que la peleotemperatura de nuestra función paleoecológica de transferencia (CBP) se encuentra sesgada hacia la temperatura óptima de FP en cuatro grandes regiones en el Océano Pacífico Norte. Por otra lado las temperaturas óptimas de Sauter y Thunell (1991) corresponden a la región transicional en el Océano Pacífico Norte dominada por el régimen hidrográfico del Sistema de la Corriente de California y durante un periodo caracterizado por surgencias costeras.

Los resultados de la función paleoecológica de transferencia utilizando los valores óptimos de temperatura de la publicación de Sauter y Thunell, (1991) nos daban temperaturas por debajo de la media y las temperaturas de primavera para esta región. Esto podría ser debido a que solamente contenía valores de temperatura para 9 especies mientras que el registro de FP presenta una composición de 33 especies. Por lo que recurrimos a combinar los valores de las asociaciones en

trampas de Sauter y Thunell, (1991) y de la parte superficial de los núcleos de Coulbourn *et al.* (1980). Por otra parte, había que aclarar como los valores óptimos de temperatura descritos en Sauter & Thunell (1991) correspondían a las especies mas representativas del registro de FP en los sedimentos de la CSALA.

La comparación de los registros de paleotemperaturas con el registro instrumental de temperaturas superficiales extraído de la base de datos de COADS para los años 1990 a 1946 muestra diferencias entre los promedios anuales del registro y los registros de paleotemperaturas para los últimos 45 años. El registro de paleotemperaturas CBP y el registro de COADS muestran una diferencia de 3.79 ± 0.67 °C, mientras que con el registro de ThSp-CBP tienen una diferencia de 4.59 ± 0.12 °C. (Figuras 26 y 27).

La comparación de los registros de paleotemperatura CBP y ThSp-CBP con el promedio de temperatura de primavera correspondiente a la serie de COADS presenta una menor diferencia en su promedio para los últimos 45 años. El registro de paleotemperaturas CBP y el registro de temperatura de primavera de COADS presentan una diferencia de 0.88 ± 0.57 °C mientras para el registro de ThSp-CBP tienen una diferencia de 1.66 ± 0.25 °C (Figura 28 a,b).

El promedio de temperatura de primavera del registro instrumental COADS son las más bajas en esta región ya que es durante este periodo cuando se producen los eventos de surgencias costeras con una temperatura media de 18.07 °C para los últimos 45 años de registro. El margen continental de la Península de Baja California se encuentra caracterizada por este tipo de eventos. Sauter y Thunell (1991) documentan que su registro del flujo de FP en trampas de sedimento en la cuenca de San Pedro presenta el flujo máximo a finales de abril y principios de mayo, período caracterizado por un régimen de surgencia costera en esta región. En las costas de Oregon los máximos flujos de FP en trampas de sedimentos se presenta a finales de junio y septiembre, también como una posible respuesta a eventos de surgencias costeras (Ortiz y Mix, 1992).

La correlación entre los valores medios de temperatura de primavera entre el registro COADS y las serie de paleotemperatura CBP y ThSP-CBP evidencian que posiblemente el máximo flujo de FP a los sedimentos de la CSALA ocurre durante este período (Figuras 26, 27 y 28 a,b), por lo que gran parte de la transferencia de la señal de los FP en términos de paleotemperatura corresponde a la época de surgencias costeras en esta región meridional de la Corriente de California. Sin embargo, cuando analizamos espectralmente los patrones de variabilidad entre la series de temperatura anual de COADS y los registros de paleotemperatura CBP y ThSp-CBP, vemos como estas son coherentes en su variabilidad en las escalas de tiempo interanual para el periodo correspondiente de 6.4 años, mientras para el ciclo cuasi bianual presenta una pequeña divergencia, ya que el registro de COADS presenta un ciclo de 2.2 años mientras que en los registros de paleotemperaturas es de 2.6 años. Para la serie de temperatura media de primavera COADS y los registros CBP y ThSp-CBP muestran los periodos similares de 12 y 6.4 años (Figura 29 a,b,c).

Como las series de paleotemperatura de CBP y ThSP-CBP presentan promedios de temperatura posiblemente sesgados hacia períodos de eventos de surgencias costeras en el margen continental de las costas de Baja California, esto nos sugiere que gran parte de la transferencia de la señal de los FP en términos de paleotemperatura corresponde al periodo de primavera el cual es uno de los que presenta las temperaturas más bajas en esta región meridional de la Corriente de California.

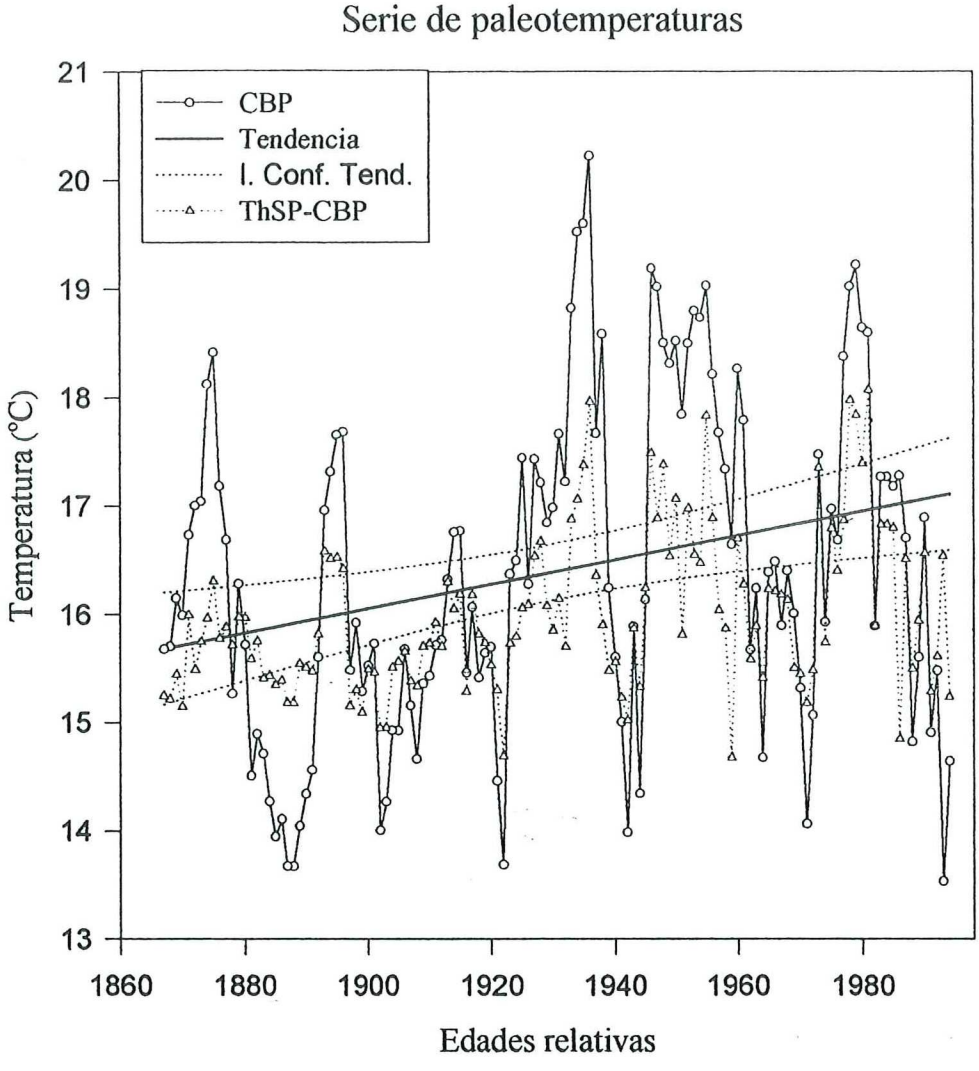


Figura 25. Distribución temporal de las series de paleotemperaturas CBP y ThSp-CBP para el núcleo BAP96J-6C. Intervalos de confianza al 95% en la regresión lineal que muestra la tendencia en el registro CBP.

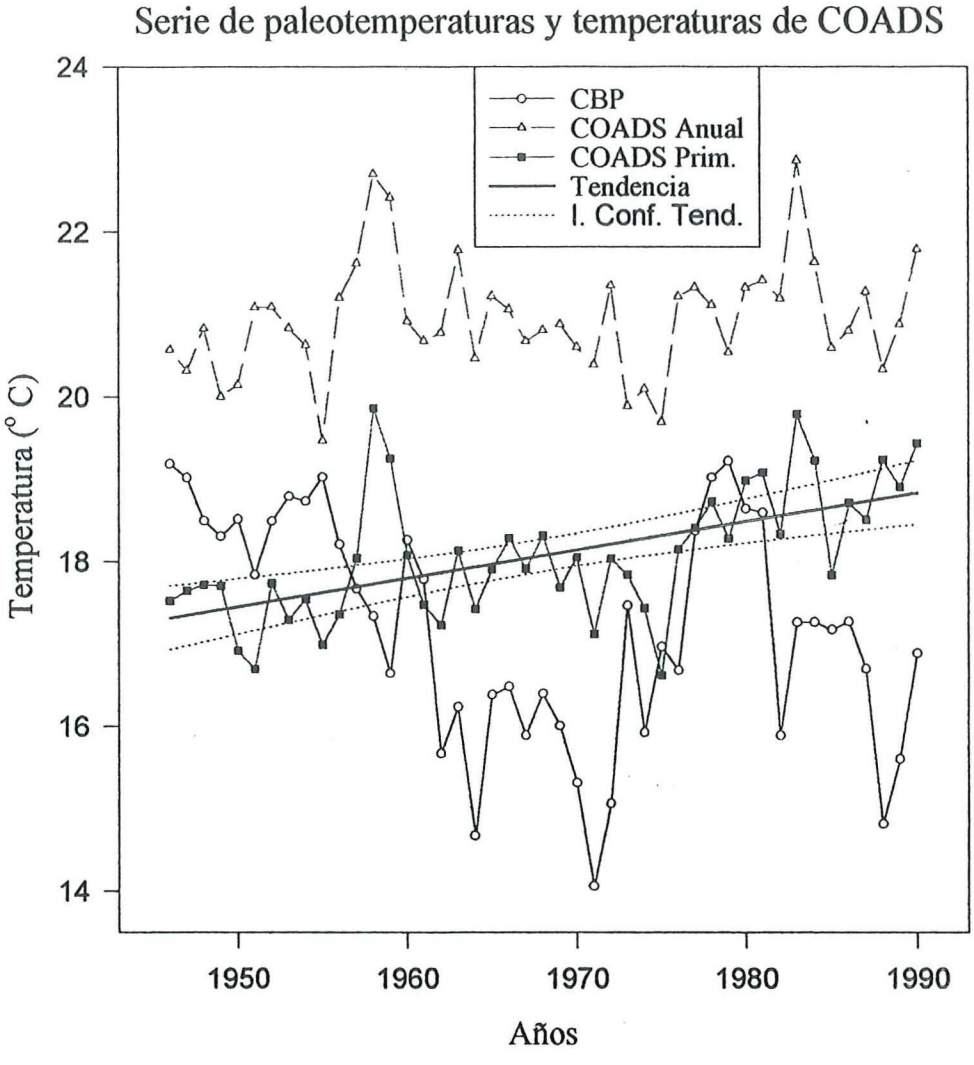


Figura 26. Distribución temporal de las series de paleotemperatura CBP del núcleo BAP96J-6C y los promedios de temperatura anual y de primavera del registro COADS. Intervalos de confianza del 95% en la regresión lineal que muestra la tendencia en el registro COADS de primavera.

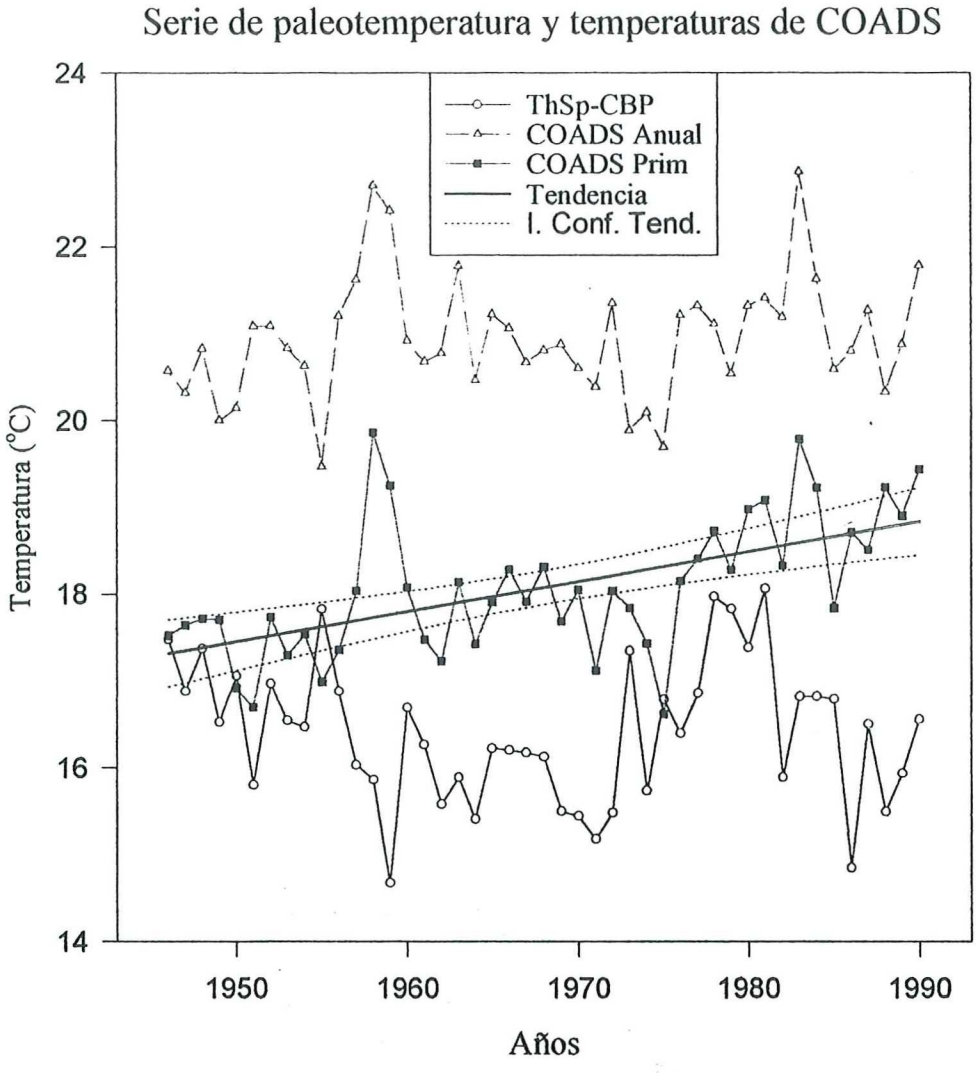
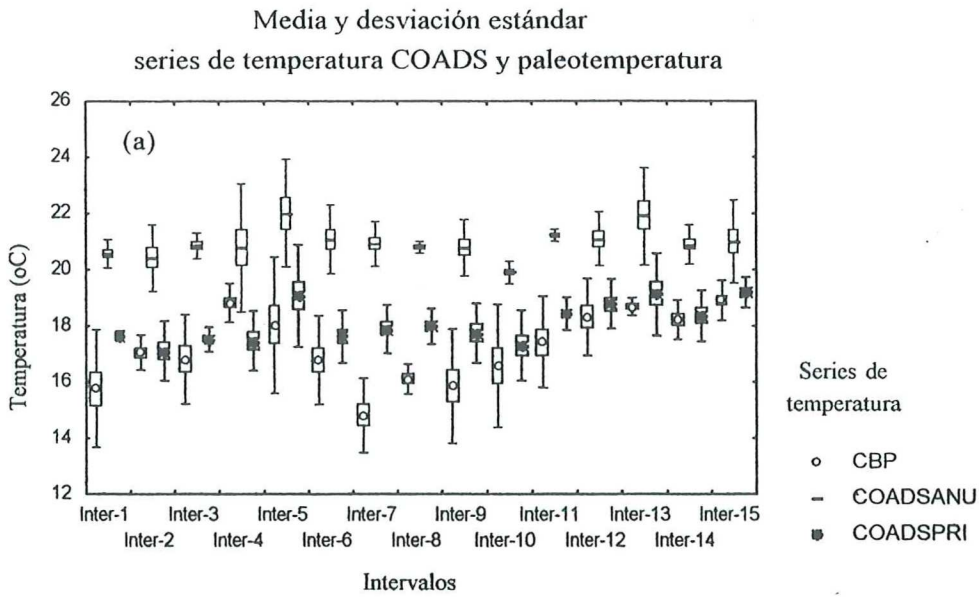


Figura 27. Distribución temporal de las series de paleotemperatura ThSp-CBP del núcleo BAP96J-6C y los promedios de temperatura anual y de primavera del registro COADS. Intervalos de confianza del 95% en la regresión lineal que muestra la tendencia en el registro COADS de primavera.



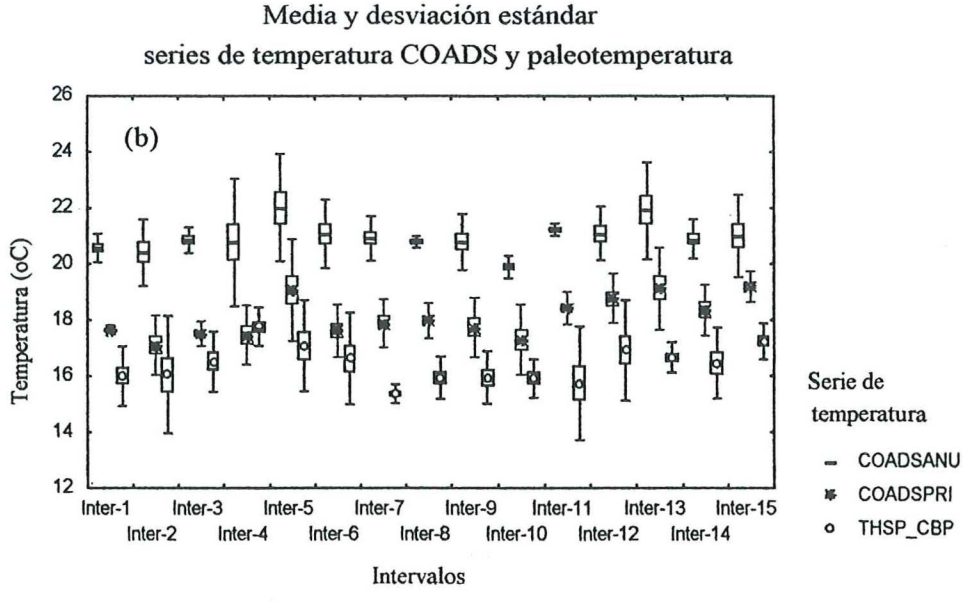


Figura 28. Media, caja error estándar y líneas verticales superior e inferior desviación estándar. Estimaciones al 95% de confianza. (a) de las series de paleotemperatura CBP, (b) ThSp-CBP, del núcleo BAP96J-6C con los promedios de temperatura anual y de primavera del registro COADS. Los intervalos (Inter) son agrupamiento de temperatura de tres años para cada serie.

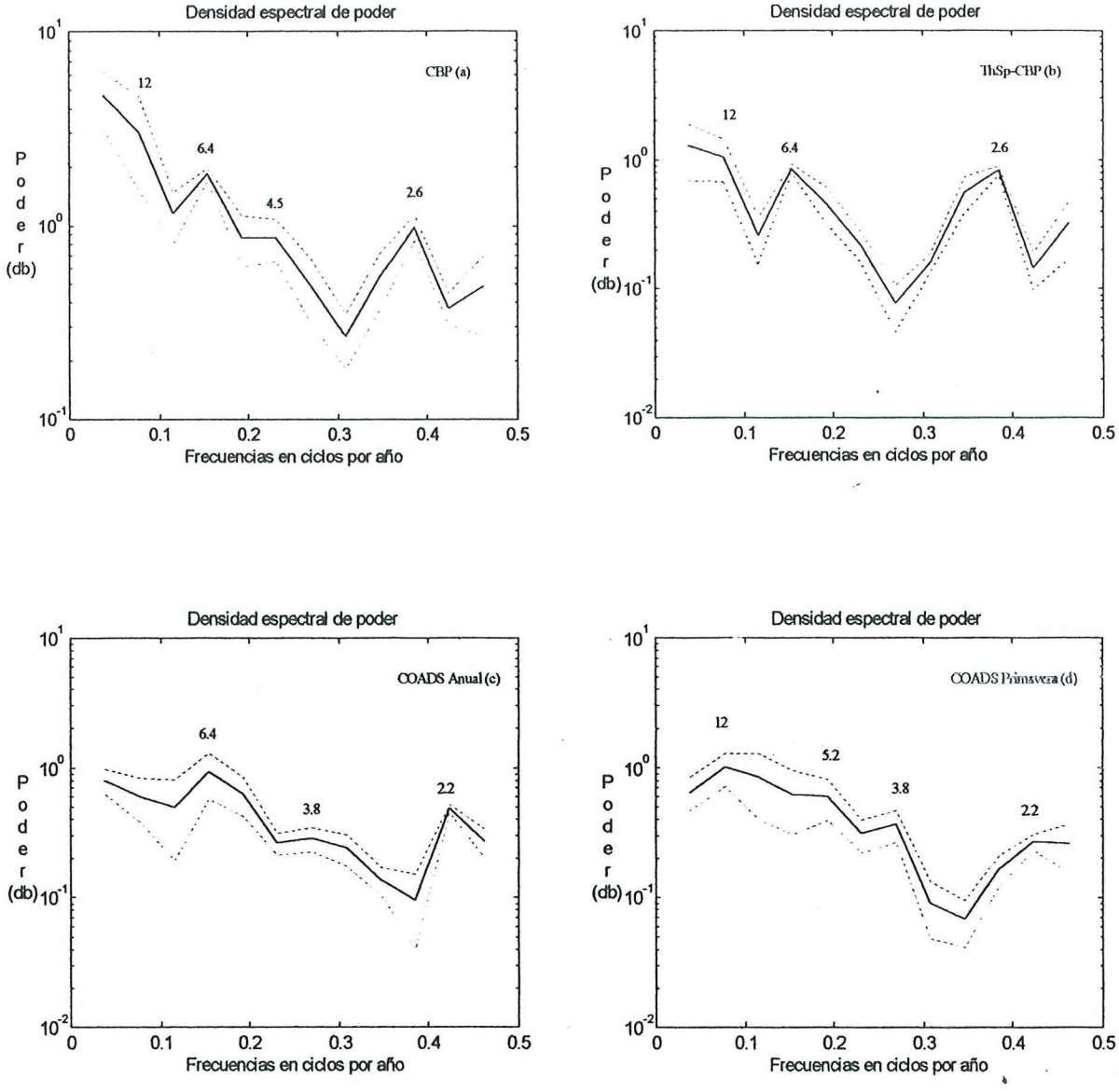


Figura 29. Densidad espectral de poder para las series de paleotemperaturas 45 años de registro. Línea continua distribución del espectro de frecuencias, líneas superior e inferior discontinuas intervalos de confianza del 90%. Decibeles (db).

No fue posible explicar las diferencias en la variabilidad temporal entre las series de paleotemperatura CBP y ThSP-CBP y la serie de COADS promedios de primavera debido a una mala preservación de las asociaciones de FP, excepto para los valores entre los años 1988 a 1986 los cuales puede que se encuentren considerablemente sesgados por procesos de disolución (Figura 30).

Considerando la amplia distribución vertical de FP hasta de 500 m de profundidad y que la máxima densidad de individuos se encuentra en los primeros 100 m (aproximadamente 100 individuos m^{-3}) en la columna de agua (Vincent y Berger 1981), nos sugiere que la baja correlación entre los valores medios anuales del registro instrumental COADS y de paleotemperaturas CBP y ThSp-CBP sea debido posiblemente a que la señal que nos transfieren los FP en términos de paleotemperatura se encuentren sesgadas a la preferencias térmicas de sus respectivos hábitats en la columna de agua. Así que procedimos a comparar la temperatura promedio de nuestros registros de paleotemperatura con los promedios de un perfil vertical de temperatura de 483 m de profundidad en la columna de agua de la CSALA y los primeros 100 m de la columna de agua (Secc.III. 8, 8.3).

La temperatura promedio para los 483 m de la columna de agua fue de 13.9 ^{O}C y para los primeros 100 m fue de 20.6 ^{O}C (Figura 31). Las diferencias en los valores promedios entre el perfil de temperatura para los primeros 100 m de la columna de agua y los promedios de paleotemperatura CBP y ThSp-CBP fueron de 3.4 y 4.2 ^{o}C mas bajos respectivamente. Estas diferencias son similares a las observadas entre los registros (CBP y ThSp-CBP) y la temperatura media anual de COADS. Hay que tener en cuenta que el promedio del perfil de temperatura es un valor puntual (22 julio de 1997) durante un momento en el que se encontraba influenciado por un evento de El Niño (ENOA) en esta región.

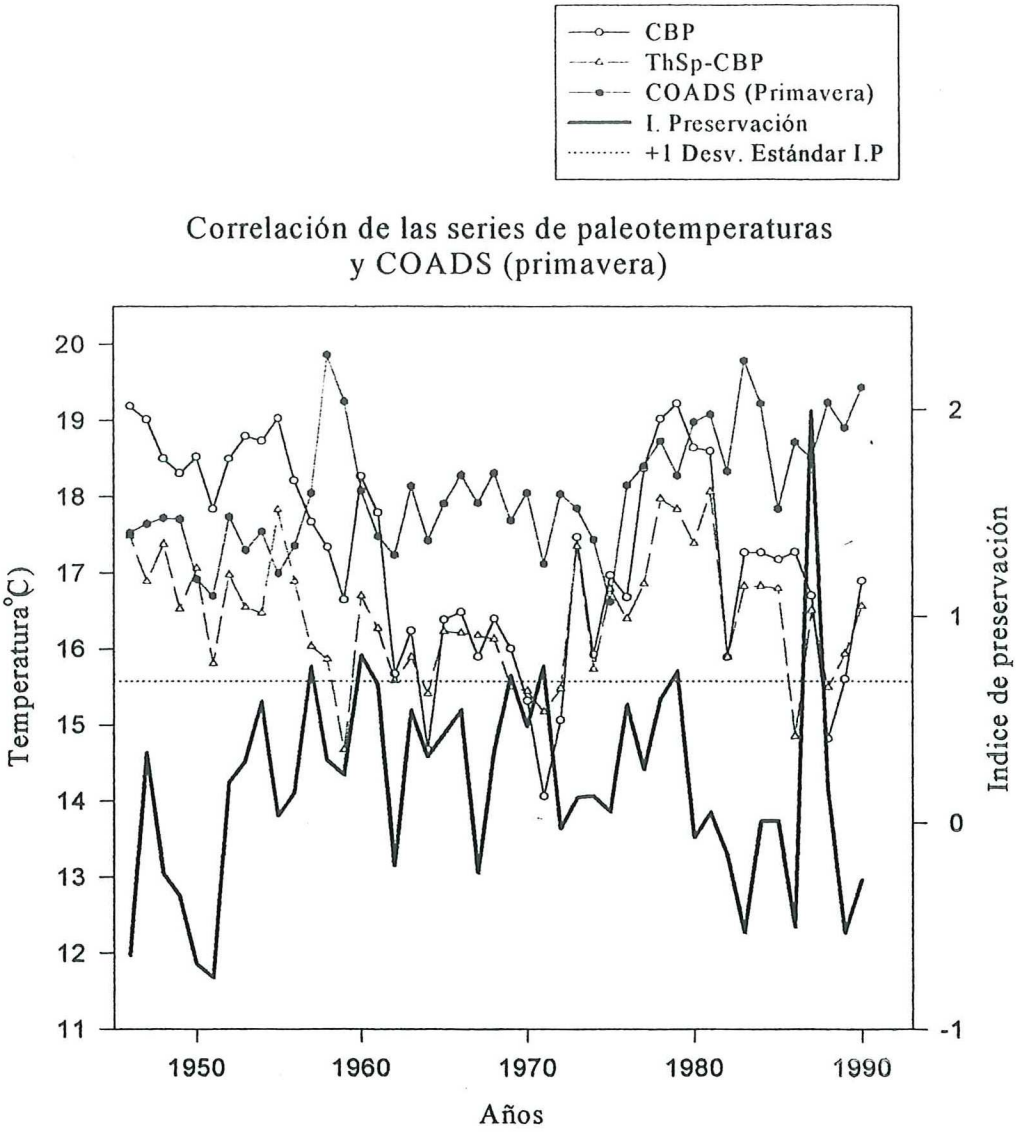


Figura 30. Correlación de las series de paleotemperatura CBP y ThSp-CBP del núcleo BAP96J-6C con el índice de preservación promediado y los promedios de temperatura de primavera del registro COADS. Valores del índice de disolución promediado por arriba de la línea horizontal discontinua (+ 1 desviación estándar) muestra asociaciones de foraminíferos relativamente menos preservados.

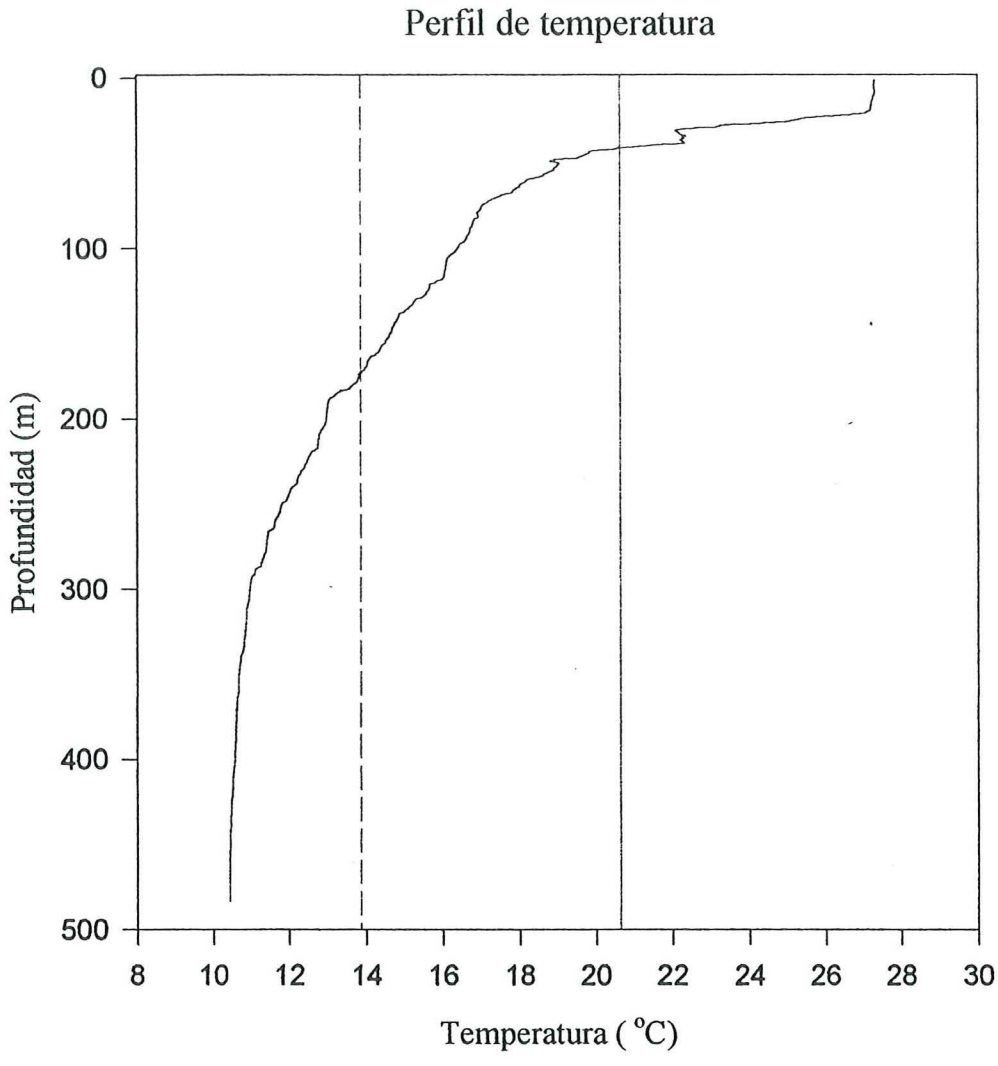


Figura 31. Distribución vertical de temperatura en la Cuenca de San Lazáro. Línea vertical discontinua muestra la temperatura promedio en toda la columna de agua, la línea vertical continua muestra la temperatura promedio a 100 m de la columna de agua.

IV 3.2. Análisis espectral.

La densidad espectral cruzada para las series de paleotemperatura CBP con la serie de temperatura de COADS (promedio anual y primavera) muestra periodos comunes de 12, 6.4, 3.8, 3, 2.5 y 2.2 años. Igualmente, la densidad espectral de poder cruzado entre las series de paleotemperaturas ThSp-CBP y la serie de COADS (promedio anual y primavera) presenta los mismos ciclos. Aunque el periodo de los 25 años se puede detectar en los dos análisis de densidad espectral de poder cruzado, éste período no fue considerado debido a que en los análisis de densidad espectral de poder para cada una de las series no es representativo al 90% de confianza debido a que la longitud de las series de COADS es solo de 45 años (Secc. III. 10.1 y Figuras 29a,b,c,d y 32a,b,c,d).

La función de transferencia de magnitud para las series de paleotemperatura CBP y COADS (promedios anuales) muestra una mayor covarianza entre los componentes del periodo de 3 años y una menor covarianza para los periodos de 12, 6.4 y 2.2 años (Figura 33a). Para la serie de paleotemperaturas CBP-ThSp y COADS (promedios anuales) presentan covarianzas consistentes para los periodos 6.4, 3 y 2.2 años (Figura 33b) Entre las series CBP y COADS de primavera los periodos de 12, 6.4 y 3.8 años presentan una covarianza consistente entre sus componentes Figura(33c). Entre las series ThSp-CBP y COADS de primavera presentan una covarianza consistente para los periodos 12, 6.4 y 2.5 años; mostrando una covarianza mayor en el componente del ciclo 3.8 años. (Figura 33d). El análisis de la función de coherencia para las series de paleotemperatura CBP y COADS (promedios anuales) muestra coeficientes de correlación de alrededor de 0.88, 0.6 y 0.8 para los ciclos 6.4, 3 y 12 años, respectivamente, entre sus componentes. Entre las series CBP y COADS de primavera presenta correlaciones de 0.7, 0.75, 0.55 y 0.85 para los periodos 12, 6.4, 3.8 y 2.5 años, respectivamente, entre sus componentes. Para la serie de paleotemperaturas ThSp-CBP y COADS (promedios anuales) los coeficientes de

correlación para los ciclos 12, 6.4 y 3 años son de 0.78, 0.39 y 0.74, respectivamente, entre sus componentes. Entre las series CBP-ThSp y COADS de primavera presentan correlaciones entre los componentes de los periodos de 12, 6.4, 3.8 y 2.5 años de 0.68, 0.55, 0.2 y 0.83 (Figura 34 a,b,c y d).

Aunque los componentes de cada uno de los períodos entre las series ThSp-CBP y COADS (anual y primavera) presentan una covarianza más consistente y mayor, éstas presentan una menor correlación para algunos de los componentes de los periodos definidos anteriormente con respecto a las series CBP y COADS (anual y primavera). Por otro lado los resultados de los análisis de las funciones de transferencia de magnitud y coherencia para las series CBP y COADS (primavera) muestran una coherencia mayor entre los componentes de los periodos definidos en el análisis de densidad espectral de poder con intervalos de confianza al 90% (por ejemplo el periodo de 2.5 años).

Interpretamos que estos resultados nos muestran que la serie de paleotemperatura CBP es la que mejor correlación presenta entre los periodos definidos de la serie de temperatura COADS (promedios primavera) para los últimos 45 años de registro de temperatura en esta región meridional de la Corriente de California.

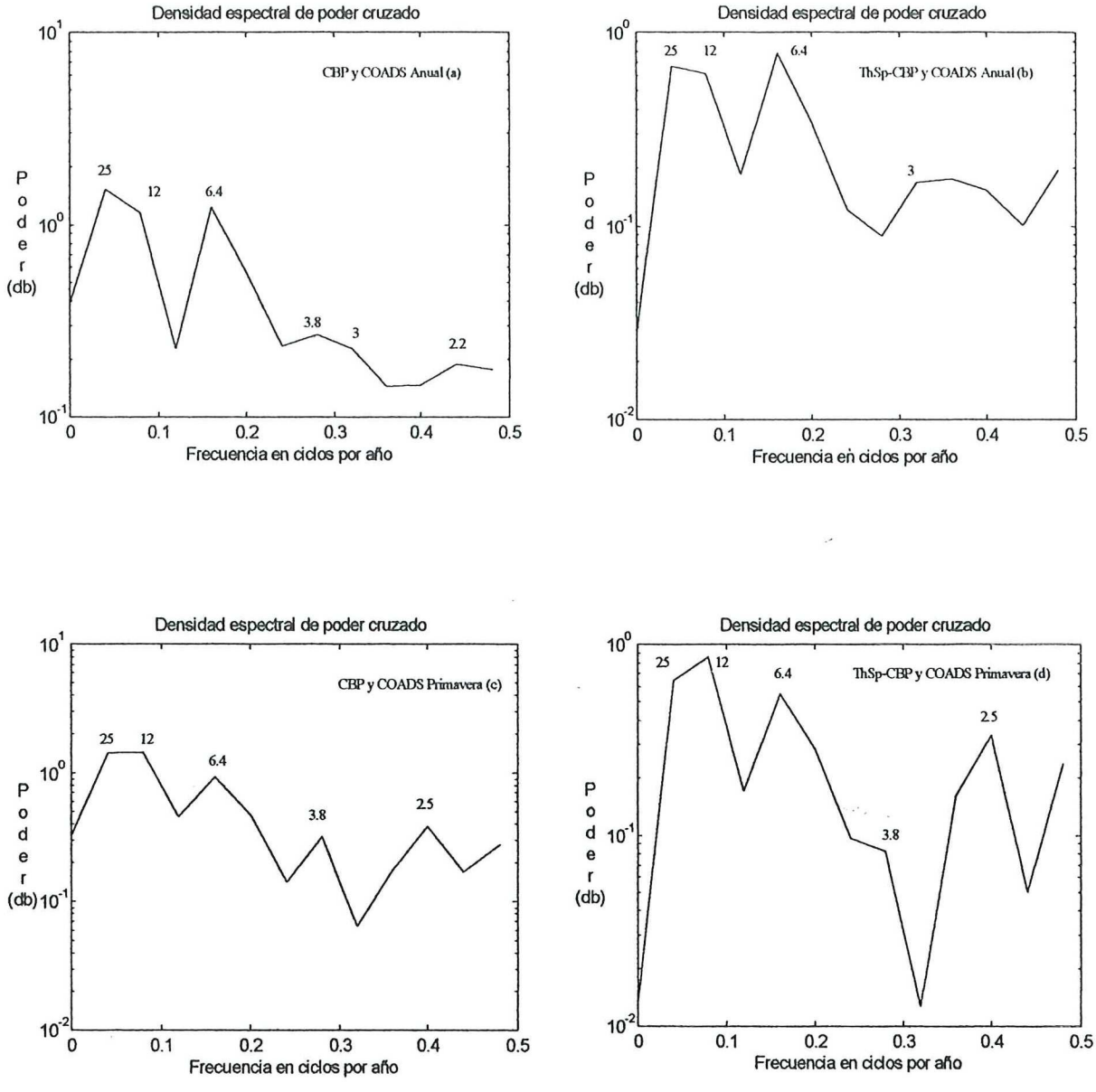


Figura 32. Densidad espectral de poder cruzado entre las series de paleotemperaturas CBP y ThSp-CBP con las de temperaturas del registro COADS anual y de primavera. Muestran los periodos comunes año^{-1} en pares de series comparadas. Decibeles (db).

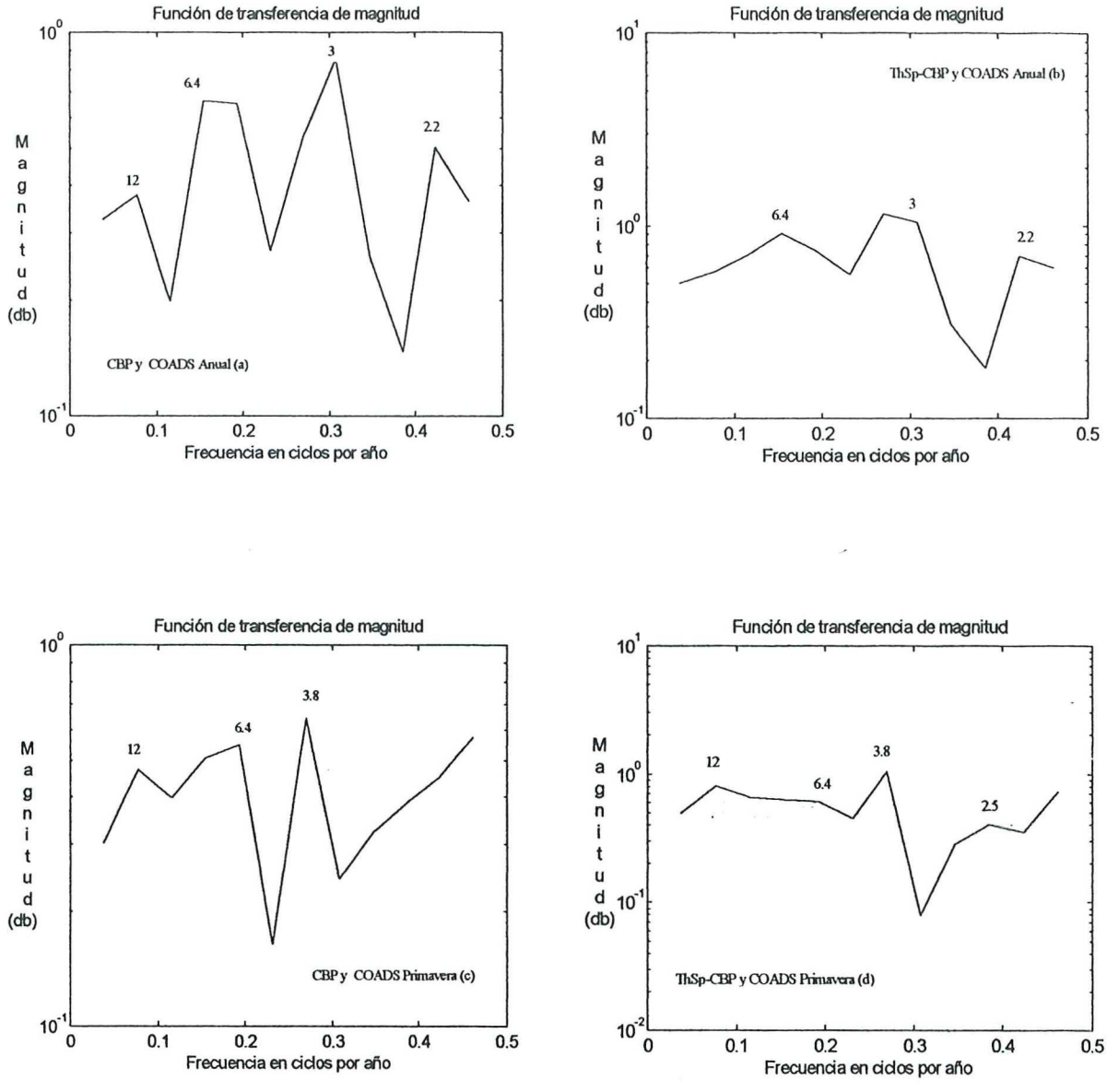


Figura 33. Función de trasferencia de magnitud entre las series de paleotemperaturas CBP y ThSp-CBP con las de temperaturas del registro COADS anual y de primavera. Muestran el grado de covarianza para cada uno de los periodos año^{-1} determinados mediante el análisis espectral de poder cruzado en pares de series comparadas. Decibeles (db).

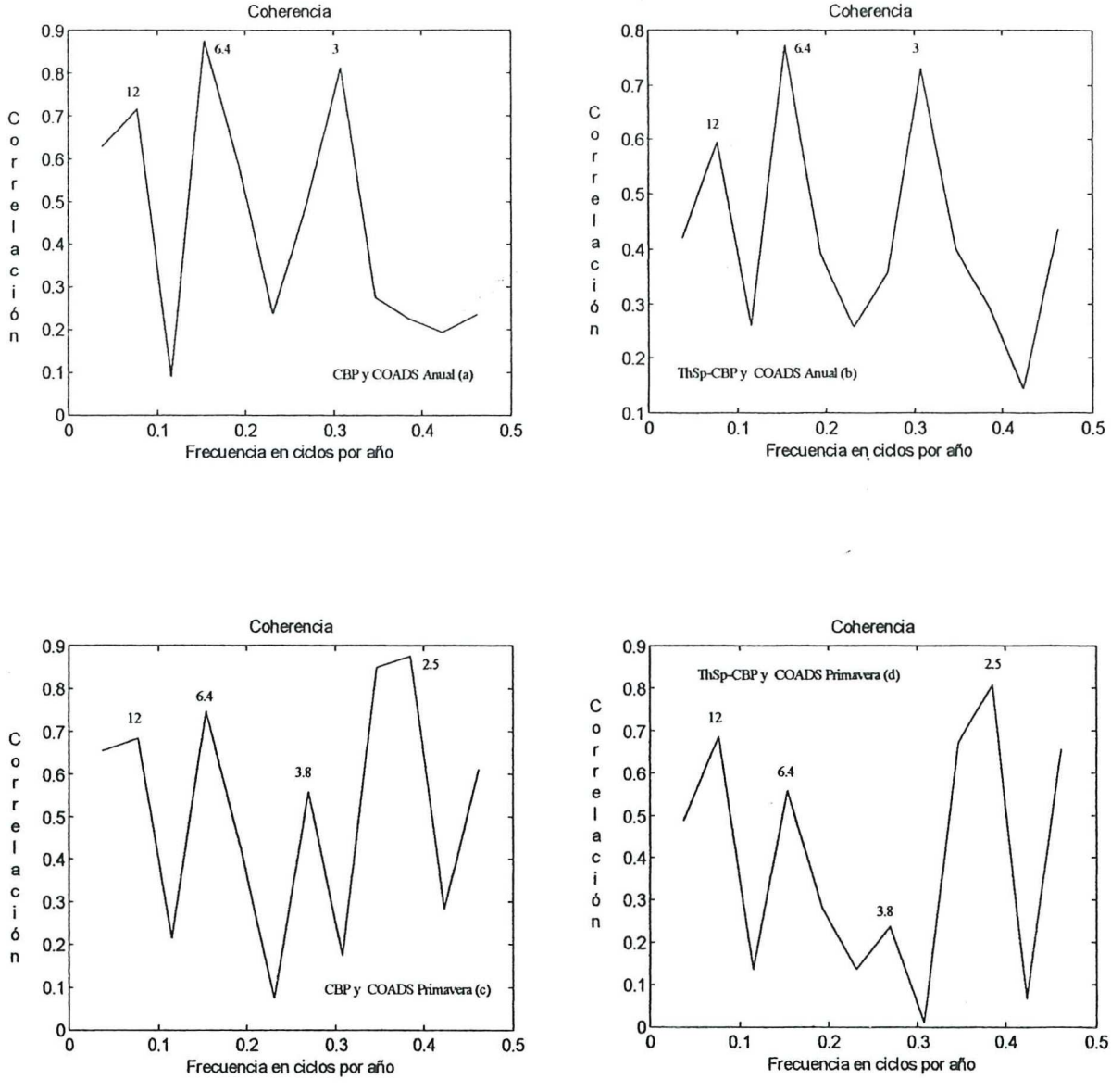


Figura 34. Función de coherencia entre las series de paleotemperaturas CBP y ThSp-CBP con las de temperaturas del registro COADS anual y de primavera. Muestran el coeficiente de correlación al cuadrado para cada uno de los periodos año^{-1} determinados mediante el análisis espectral de poder cruzado en pares de series comparadas.

IV 3.3 Relación entre el registro biogénico de temperaturas y la variabilidad física oceanográfica.

La reconstrucción de paleotemperaturas CBP y ThSp-CBP que comprende un registro de 128 años presenta una variabilidad en escalas de tiempo interanual e interdecadal de 2, 2.4, 3.8, 4.5, 6.4, 11 y 21 ciclos por año^{-1}, para los dos registros, en su densidad espectral de poder (Figura 35a,b). La variabilidad observada en la escala de tiempo interanual es similar a las escalas de tiempo del evento de El Niño (ENOA) en el Pacifico Oriental Tropical y característica para la cuenca del Pacifico Norte. En nuestro caso estamos interesados en el margen oriental de las costas de América del Norte y en su respuesta al forzamiento de origen ecuatorial (ENOA) sobre sus mares costeros. Gran parte de la energía acumulada en las altas frecuencias en el Océano Pacifico Nororiental en las escalas de tiempo interanual es transportada por ondas costeras Kelvin (Pares y O'Brien, 1989).

La variabilidad en la escala de tiempo interdecadal para el periodo de 11 años es coherente con la fuerte correlación observada entre la irradiación solar y las anomalías de temperatura a partir de los años 1610 y 1800 al reciente la cual oscila en ciclos de 11 años (Overpeck, 1993 y Lean *et al.*, 1995 en Biondi *et al.*, 1997). Mientras, que el periodo de los 21 años es similar al ciclo característico en la circulación del giro subtropical del Pacífico Norte que oscila con un período de alrededor de 20 años (Latif y Barnett, 1994).

Los registros de paleotemperatura CBP y ThSp-CBP muestran un patrón temporal coherente con los cambios abruptos en la temperatura observados en las series de temperatura del registro instrumental COADS para sus valores promedios anuales y de primavera. Eventos documentados para el Océano Pacífico Norte y en las costas orientales de América del Norte para finales de los años 50, a mediados de los años 70 y principios de los años 60 y 80 (Namias y Huang, 1972; Huang, 1972; Miller *et al.*, 1994; Graham, 1994). Estos cambios abruptos en la temperatura del océano superficial son atribuidos a la intensificación del sistema de baja presión

Aleutiano posiblemente debido a un forzamiento remoto del Océano Tropical vía una teleconexión atmosférica hacia las latitudes medias (Graham, 1994). Las consecuencias de estos cambios como producto de la interacción océano-atmosfera y la alternancia entre una disminución en las temperaturas del océano superficial para el Pacífico Central y un incremento de temperaturas para las costas Orientales de América del Norte dominada por régimen hidrográfico del Sistema de la Corriente de California (Miller, 1994).

Los modos oscilatorios para cada uno de los ciclos de la serie de paleotemperaturas CBP obtenidos mediante la demodulación de la señal (Secc. III. 11). Muestra como los ciclos de 21 y 11 años son estables en su variabilidad temporal a lo largo de los 128 años de registro y en el modo oscilatorio del ciclo de 3 años presenta una variabilidad en su amplitud alrededor de 20 años (Figura 36a,c y d). Mientras para el ciclo de 6.4 años se incrementa su amplitud alrededor de los años 60 (Figura 36b).

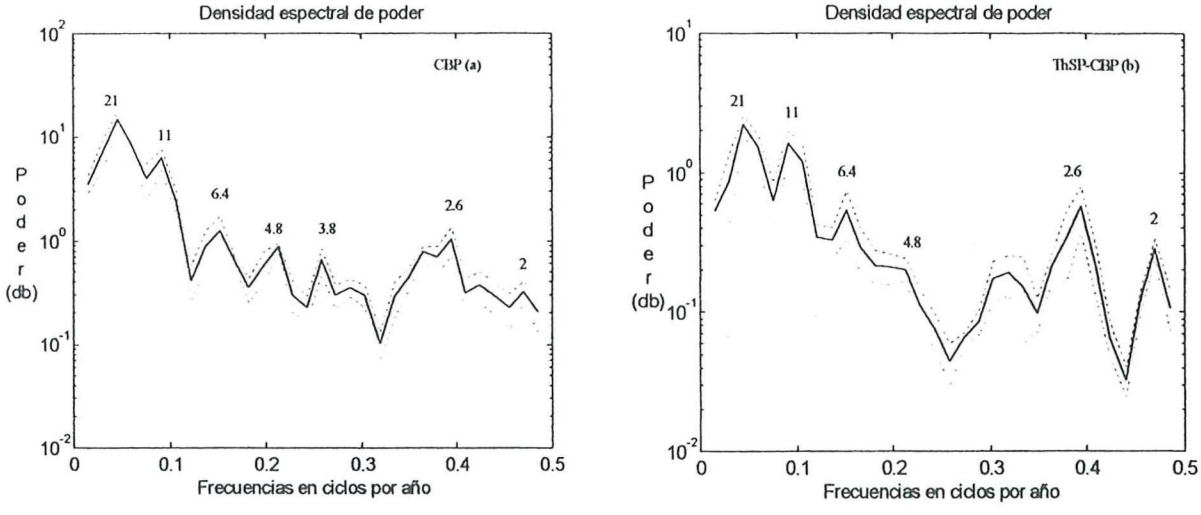


Figura 35. Densidad espectral de poder para las series de paleotemperaturas CBP y ThSP-CBP. Línea continua distribución del espectro de frecuencias, líneas superior e inferior discontinuas intervalos de confianza del 90%. Decibeles (db).

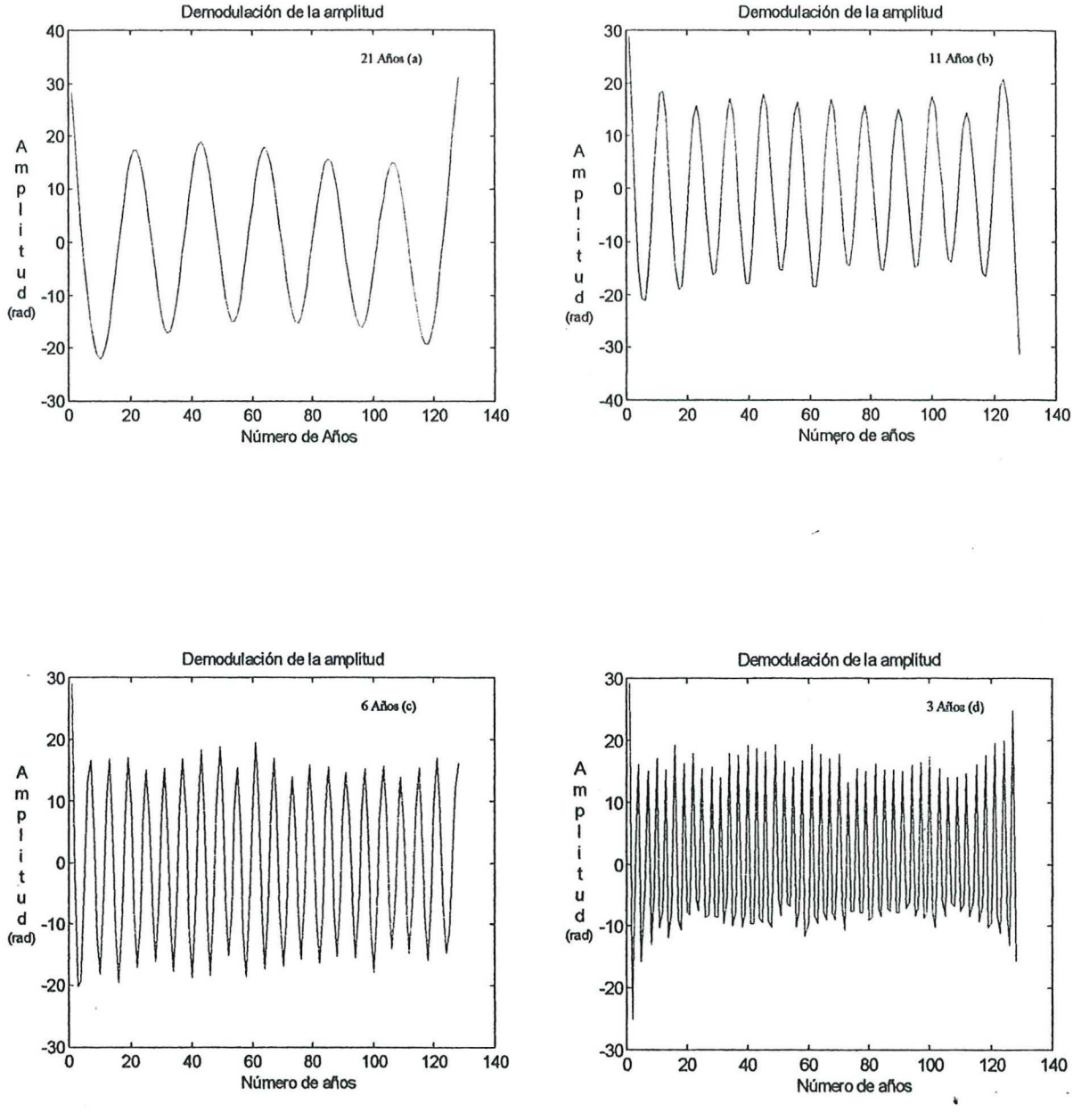


Figura 36. Modos oscilatorios del registro de paleotemperatura CBP obtenidos por demodulación de la señal en cuadratura por el método qam. Los ciclos de 21 y 11 años, muestran una amplitud estable a lo largo del registro. Los ciclos de 6 y 3 años respectivamente, muestran un incremento en su amplitud alrededor de 60 y ≈20 años. Radianes (rad).

IV. 4 Análisis de la composición faunística de foraminíferos plánctícos acumulados y preservados en los sedimentos de la (CSALA) con la variabilidad física oceanográfica (temperatura).

IV 4.1 Correlación de la abundancia, diversidad y dominancia de foraminíferos plánctícos y la temperatura.

La asociación de FP en los sedimentos de la CSALA comprendió un total de 33 especies (Figura 37), siete fueron las más representativas en el registro sedimentario para los tres núcleos analizados, contribuyendo en un 83% para el núcleo BAP96J-6C, en un 82% para el núcleo CA94-8K y en un 77% para el núcleo CH94-IC, respectivamente, del registro total (Figura 38abc).

Las siete especies son *Globigerina bulloides, Neogloboquadrina dutertrei, Globigerinita glutinata, Neogloboquadrina pachyderma, Globigerina quinqueloba, Globigerinoides ruber y Globigerinoides sacculifer.* Estas especies exhiben diversos patrones de variabilidad en temperatura y en regímenes hidrográficos en la zona fótica (Reynols y Thunnell 1985; Deuser y Ross 1989; Sautter y Thunnell, 1991; Ortíz y Mix; 1992 y Guptha *et al.*, 1997), por lo que cambios importantes en sus abundancias relativas y absolutas tienen un papel importante en nuestros análisis paleoecológicos ya que contribuyen en mas del 75 % en la composición de especies.

La comunidad de FP preservados en los sedimentos de la CSALA, en términos de su abundancia absoluta, diversidad y dominancia mostró una variabilidad similar a la observada en las series de paleotemperaturas y temperaturas del registro instrumental COADS en las escalas de tiempo interanual e interdecadal (Figuras 39 y 40), asociada a los patrones de circulación oceánica que tienen lugar en la cuenca del Pacifico Norte así como en el margen oriental de las costas de América del Norte, dominada por el régimen hidrográfico de la Corriente de California.

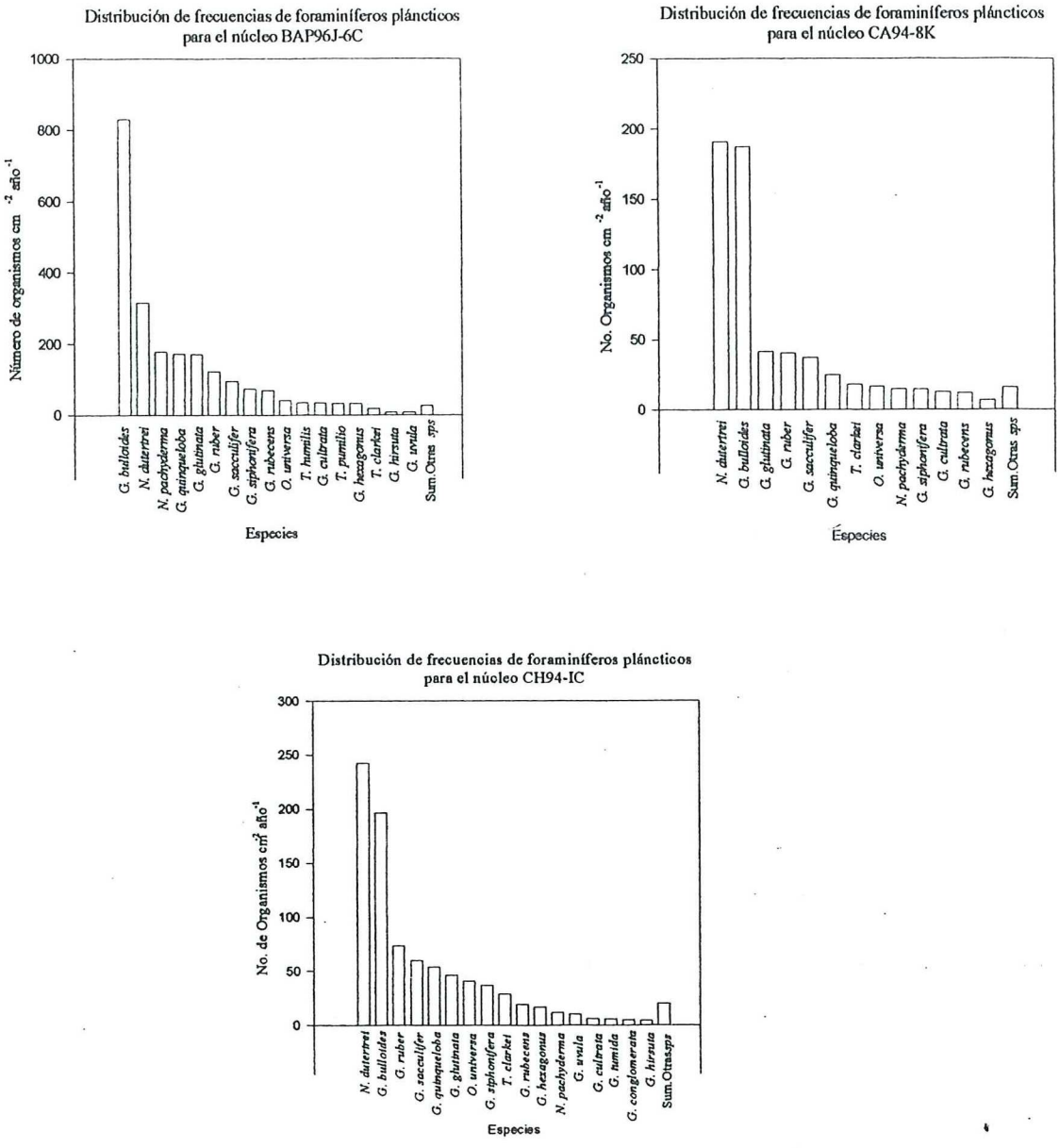


Figura 37. Distribución de frecuencias de foraminíferos plánctico para los núcleos BAP96J-6C, CH94-8K y CH94-IC. Las letras abreviadas representan el genero que puede verse en la tabla VII.

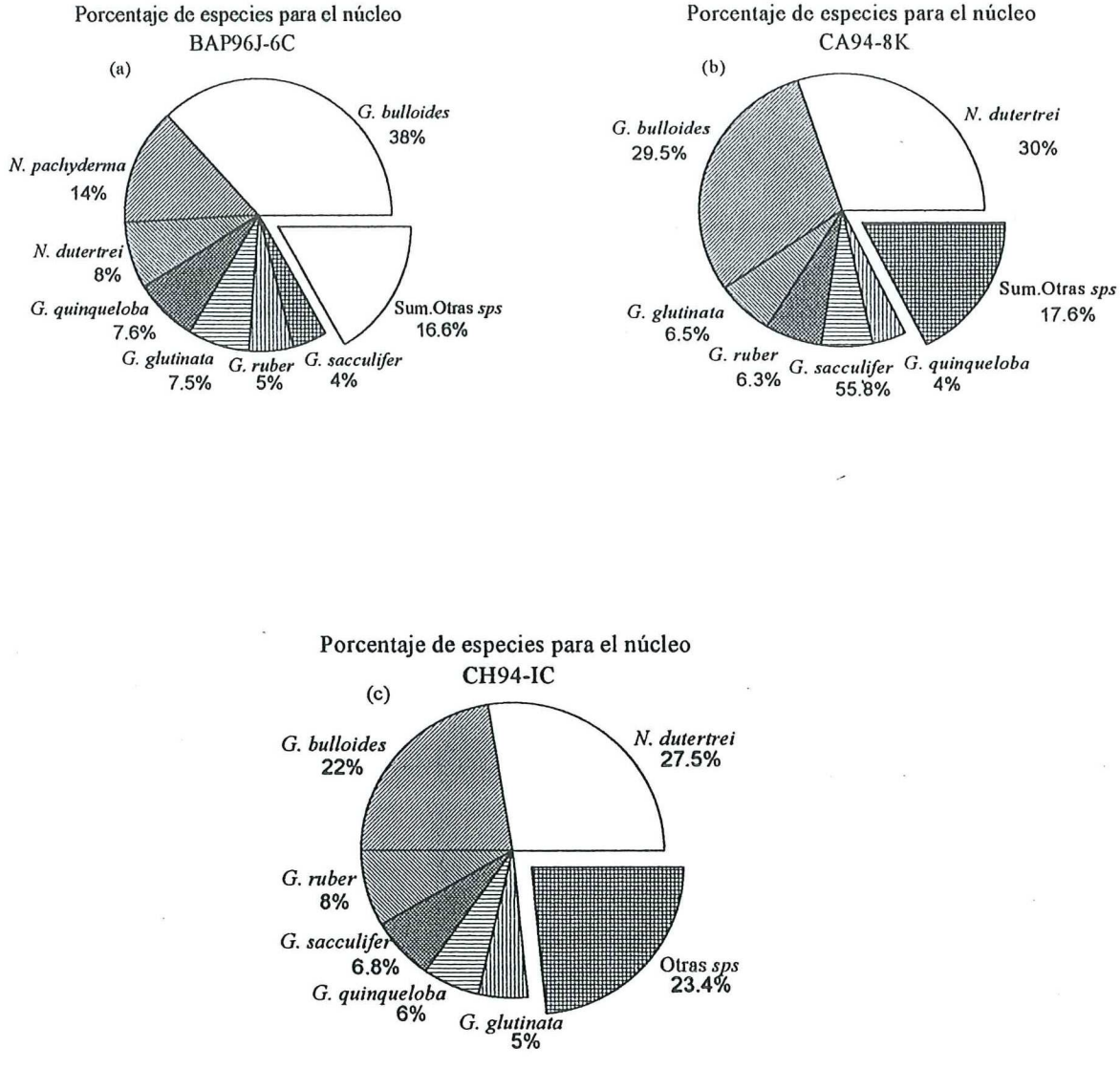


Figura 38. Proporción de especies para BAP96J-6C, CH94-8K y CH94-IC. Las letras abreviadas representan el genero que puede verse en la tabla VII.

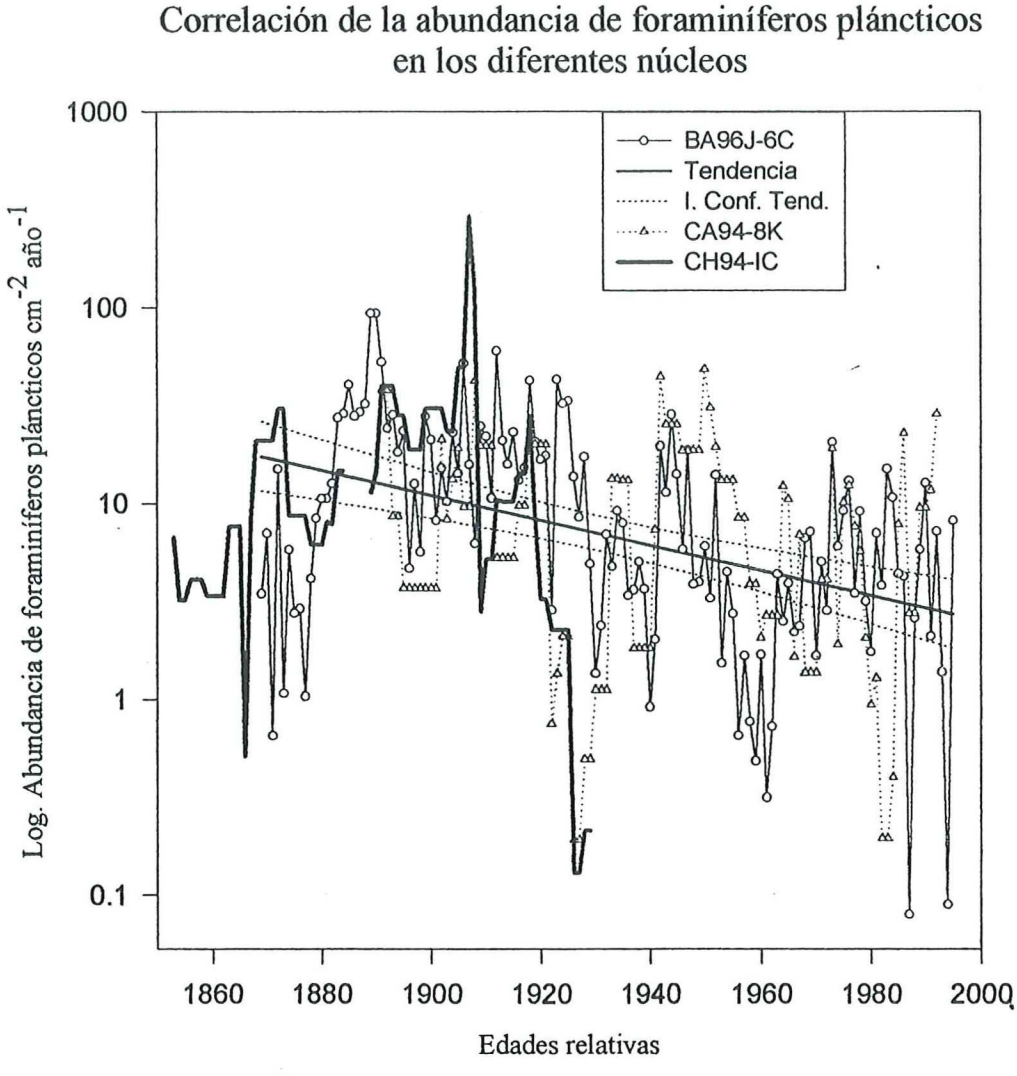


Figura 39. Distribución temporal de foraminíferos plántcicos en los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC. Intervalos de confianza al 95% en la regresión lineal que muestra la tendencia en el registro CBP.

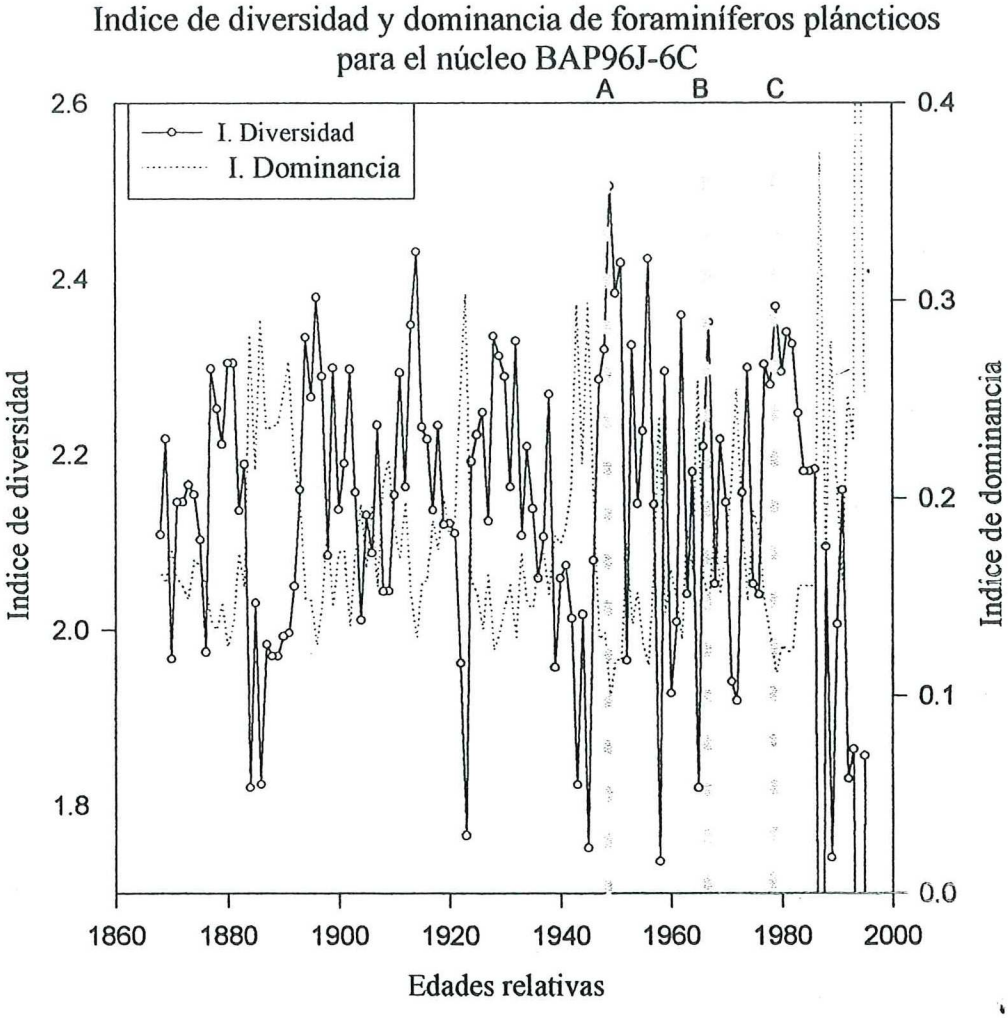


Figura 40. Distribución temporal de la diversidad y dominancia de foraminíferos plánctícos para el núcleo BAP96J-6C. Líneas verticales discontinuas A, B y C respectivamente, muestran eventos de cambios climatológicos en el Pacífico Norte Durante los años 50, 60 y 80.

La densidad espectral de poder para las abundancias absolutas mostró períodos que oscilan en 30, 11, 6, 3.3, y ≈2-3 años (Figura 41a). Mientras, que el índice de diversidad y dominancia presento periodos de 20, 6, 4.7, 3.5-3, 2.6-2.4 y 2 años (Figura 41a,b,c).

En las funciones de correlación cruzada entre las serie de paleotemperatura CBP y la series de abundancias absolutas, índice de diversidad e índice de dominancia de FP se utilizo un total de 19 retrasos para una longitud de registro de 128 años (Secc III. 10.1).

La función de correlación cruzada entre la abundancia absoluta de FP y la temperatura presento las correlaciones mas altas en los lags -1, -3, y -5 (6.7 ciclos año-^{1}) còn coeficientes de correlación de -0.519, -0.443, y -0.372 respectivamente, los cuales correspondieron a periodos de 6.7, 20 y 33.5 años (Figura 42a). La función de correlación cruzada entre el índice de diversidad y temperatura solo mostró una correlación relativamente alta en el lag 1 6.73 ciclos años^{-1} el cual correspondió al ciclo de 6.7 años con un coeficiente de correlación de 0.30. Mientras que el índice de dominancia mostró la correlación más alta en el lags -1, 6.73 ciclos años^{-1} con coeficientes de correlación de -0.416, el cual correspondio al periodo de 6.7 años (Figura 42b,c).

Aunque el análisis de correlación cruzada solo explica la variabilidad de alta frecuencia de la abundancia absoluta, los índices de diversidad y dominancia de FP con respecto a la temperatura para el ciclo de los 6.7 años se encuentran dentro de la periodicidad irregular del evento ENOA proceso que introduce una onda cálida al sistema de la Corriente de California en su región meridional dentro la escala interanual (Pares y O'Brien, 1989).

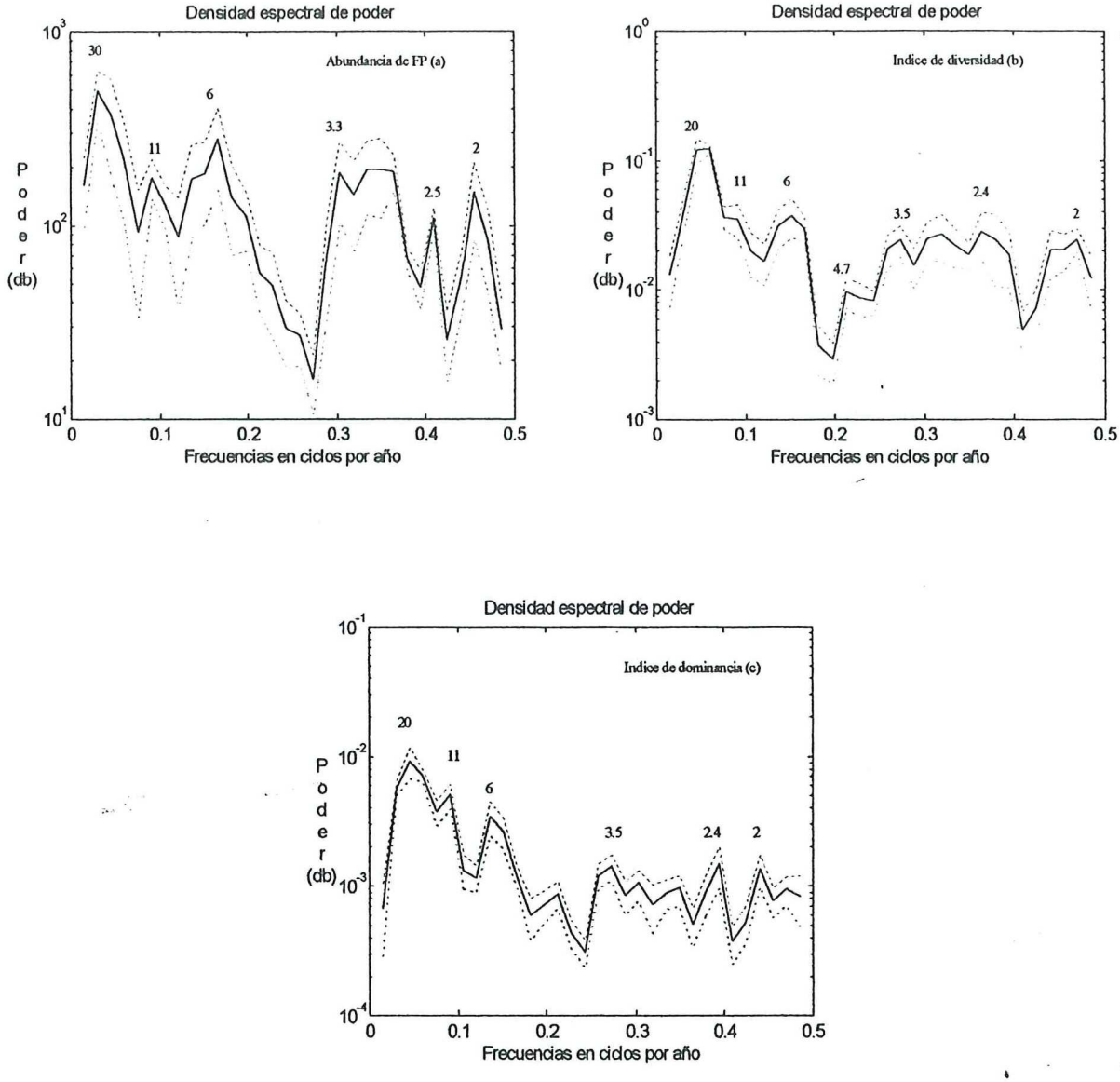


Figura 41. Densidad espectral de poder (a) para la abundancia absoluta de foraminíferos plácticos, (b) para el índice de diversidad, (c) para el índice de dominancia del núcleo BAP96J-6C. Línea continua distribución del espectro de frecuencias, líneas superior e inferior discontinuas intervalos de confianza 90%. Decibeles (db).

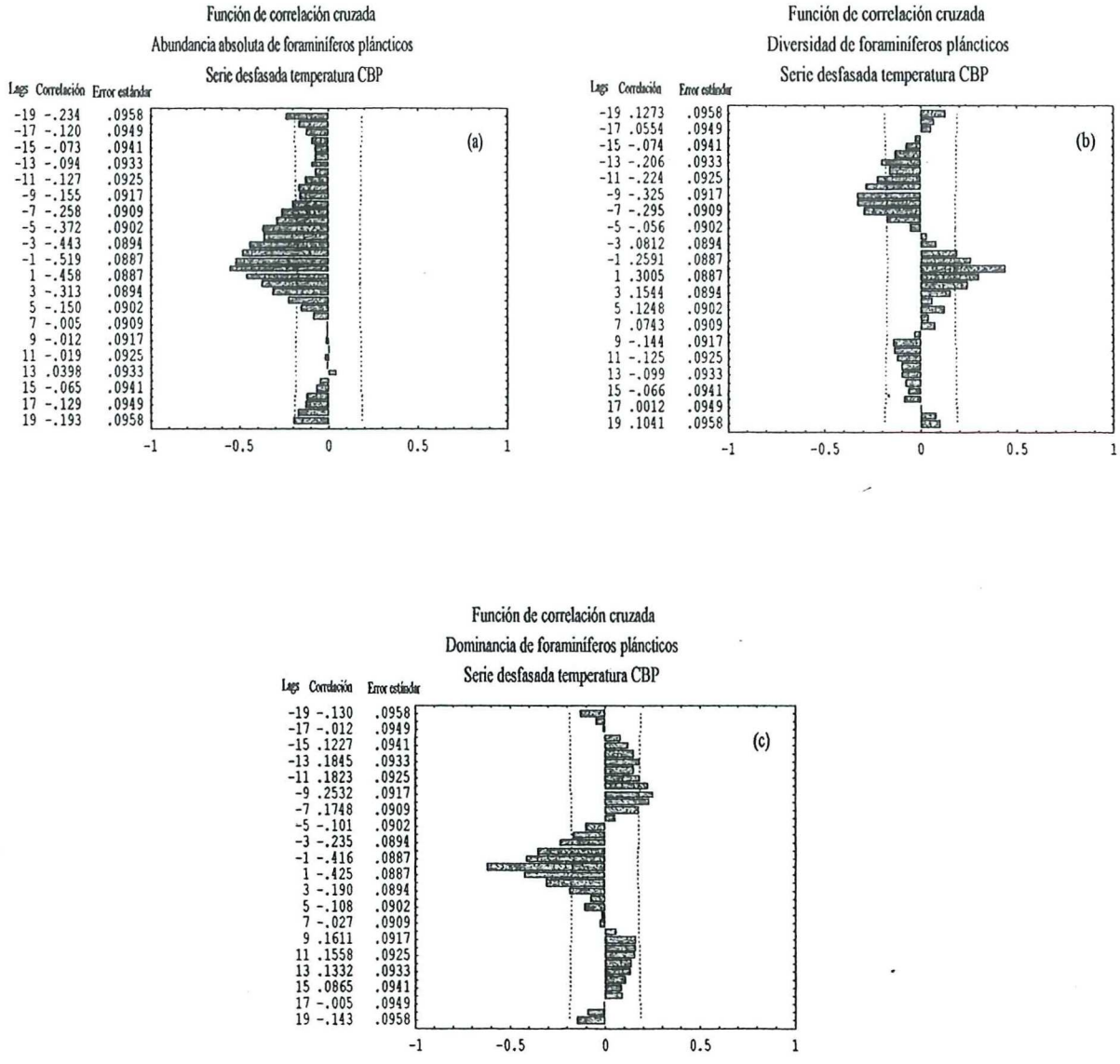


Figura 42. Funciones de correlación cruzada (a) entre la abundancia absoluta de foraminíferos plácticos y la serie de paleotemperatura CBP, (b) entre el índice de diversidad de (Fp) y la serie de paleotemperatura CBP, (c) entre el índice de dominancia de (Fp). Líneas verticales discontinuas muestran el error estándar al 95%. Lags (retrasos 6.7 años^{-1}).

Para el caso del ciclo de los 20 y 26 años la coherencia entre la abundancia absoluta y el índice de dominancia de FP y temperatura se asoció a la periodicidad del patrón de circulación del giro subtropical del Pacifico caracterizado por un ciclo de 20 años en la distribución latitudinal de su contenido cálido (Latif y Barnett, 1994). El ciclo observado de los 13 años entre la abundancia y temperatura se podría asociar con un mayor flujo de irradianza solar (manchas solares) el cual tiene un ciclo de aproximadamente 11 años, como también a otros procesos de los que desconocemos su forzamiento físico.

El patrón de correlación negativa entre la abundancia absoluta de FP y la variabilidad en la temperatura están asociadas a cambios en los patrones de circulación oceánica en las escalas de tiempo interanual e interdecadal y posiblemente con el flujo de irradiación solar. La reconstrucción sugiere que la variabilidad en la abundancia de FP se encuentra modulada (una tendencia a disminuir) por cambios en los patrones de circulación oceánica y, posiblemente de irradiación solar y otros procesos aun por dicernir los cuales introducen aumentos en la temperatura al sistema de la Corriente de California en estas escalas de tiempo.

El índice de diversidad de FP y la temperatura mostraron un patrón inverso en comparación con la respuesta de la abundancia absoluta y la variabilidad en temperatura, presentando una correlación positiva únicamente para el ciclo de los 6.7 años. Mientras que el índice de dominancia de FP y la temperatura presentaron correlaciones negativas para los lags que tuvieron los coeficientes de correlación más altos, los cuales correspondieron a los ciclos asociados con los patrones de circulación oceánica y de irradiación solar. Este patrón es similar al observado en la abundancia absoluta de FP lo que determina que gran parte de las especies dominantes de FP son especies características de regímenes hidrográficos de aguas frías, como es el caso de *G. bulloides*, *G. quinqueloba*, *N. pachyderma* (Tabla 3; Figura 38 a,b,c).

Por otra parte, los modos oscilatorios para cada una de las series de tiempo de abundancias absolutas, diversidad y dominancia de FP muestran como la amplitud para los periodos de 6, 11 y 21 años para su abundancia absoluta han disminuido durante los últimos 60 años con respecto a los 60 años previos. La amplitud del ciclo de los 6 años para la diversidad muestra que ha sido estable durante los 128 años de registro al igual que la amplitud de los ciclos de 6 y 20 años relativos que exhibe la dominancia de FP (Figuras 43a,b,c, 44a,b,c,d).

La baja predictibilidad del índice de diversidad a cambios de temperatura asociados a los patrones de circulación oceánica y de irradiación solar evidencian que la diversidad de FP ha permanecido estable durante los últimos 128 años de registro, posiblemente debido a la elevada riqueza especifica de FP en este ecotono del sistema de la Corriente de California. Por las evidencias que tenemos de los cambios en temperatura en la zona fótica asociados a la variabilidad del régimen hidrográfico en esta región se traducen únicamente en cambios en abundancia y dominancia de ciertas especies de FP.

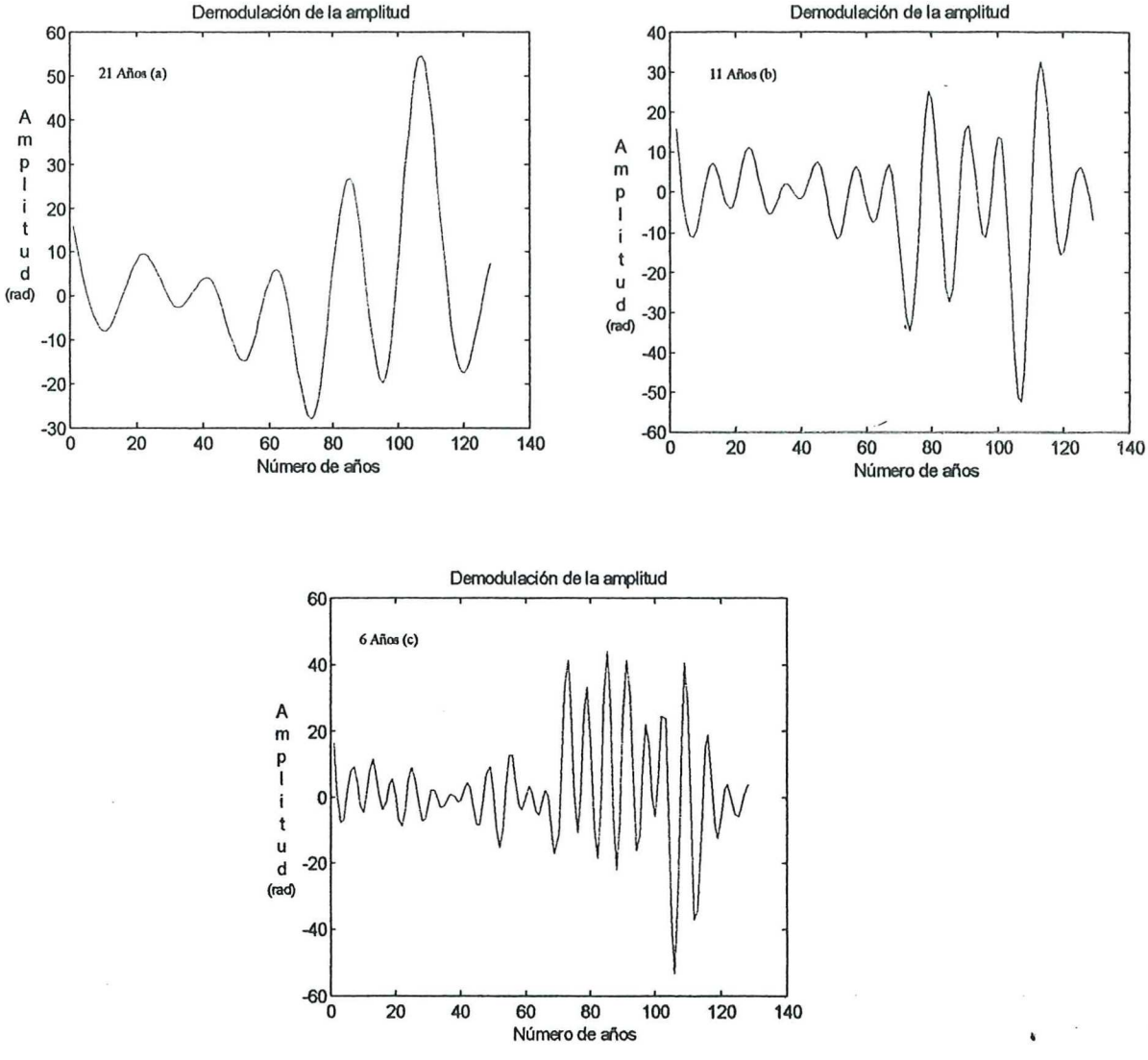


Figura 43. Modos oscilatorios del registro de la abundancia de FP en el núcleo BAP96J-6C obtenidos por demodulación de la señal en cuadratura por el método qam. Muestra como para todos los ciclos la amplitud de la señal ha disminuido durante los primeros 60 años de registro. Radianes (rad).

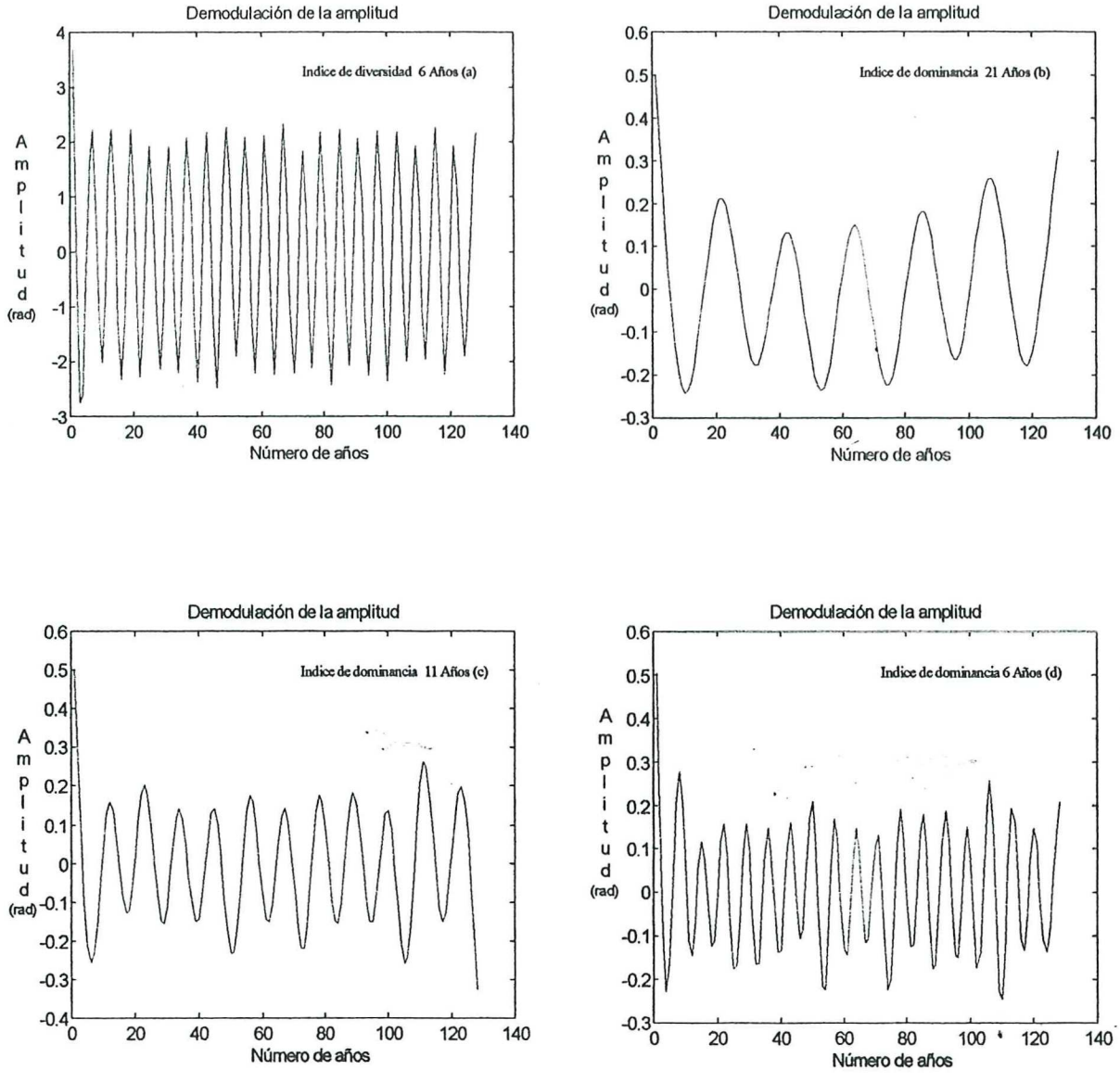


Figura 44. Modos oscilatorios del registro de diversidad y dominancia de FP en el núcleo BAP96J-6C obtenidos por demodulación de la señal en cuadratura por el método qam. Muestra como para todos los ciclos la amplitud de la señal es estable para todo el registro excepto para el ciclo de 21 años en la dominancia de FP que exhibe un incremento en su amplitud a partir de los 60 años de registro. Radianes (rad).

La densidad espectral de poder para las especies, en términos de dominancia para el grupo de especies cálidas y frías mediante su índice de dominancia mostró periodos que oscilan en 20, 11, 6, 5, 3.3 y ≈ 2 años para la dominancia del grupo de especies frías. (Figura 45a), mientras para la dominancia de especies cálidas presentó períodos de. 16-13, 8, 4.7, 3.5-3, 2.85 y 2.5-2 años (Figura 45b).

La función de correlación cruzada entre el índice de dominancia del grupo de especies frías y la serie de paleotemperatura CBP mostró correlaciones en los lags -1, y -3 6.7 ciclos años^{-1} que corresponden a los ciclos de 6.7 y 20 años con coeficientes de correlación de -0.575, y -0.362, respectivamente. En contraste, el índice de dominancia del grupo de especies de aguas cálidas mostró las correlaciones mas altas en los lags -1, -2, y -3 6.7 ciclos años^{-1}, con coeficientes de correlación de 0.57, 0.48 y 0.42 los cuales también correspondieron a periodos de 6.7, 13, y 20 años, respectivamente (Figura 46 a y b).

Comparando los análisis de densidad espectral de poder entre el índice de dominancia del grupo de especies frías y cálidas se observa que para el grupo de especies cálidas las altas frecuencias que comprende la variabilidad interanual cobran una mayor importancia en los ciclos cuasi bianual y bianual, muy similares al ciclo cuasi bianual de (ENOA).

Estos resultados sugieren que gran parte de la variabilidad observada en la abundancia absoluta y de la composición faunística en términos de su índice de dominancia de FP, preservados en los sedimentos laminados de la CSALA se encuentra modulada por cambios en la temperatura de la zona fótica como respuesta a la variabilidad en los patrones de circulación oceánica que tienen lugar en esta región meridional de la Corriente de California.

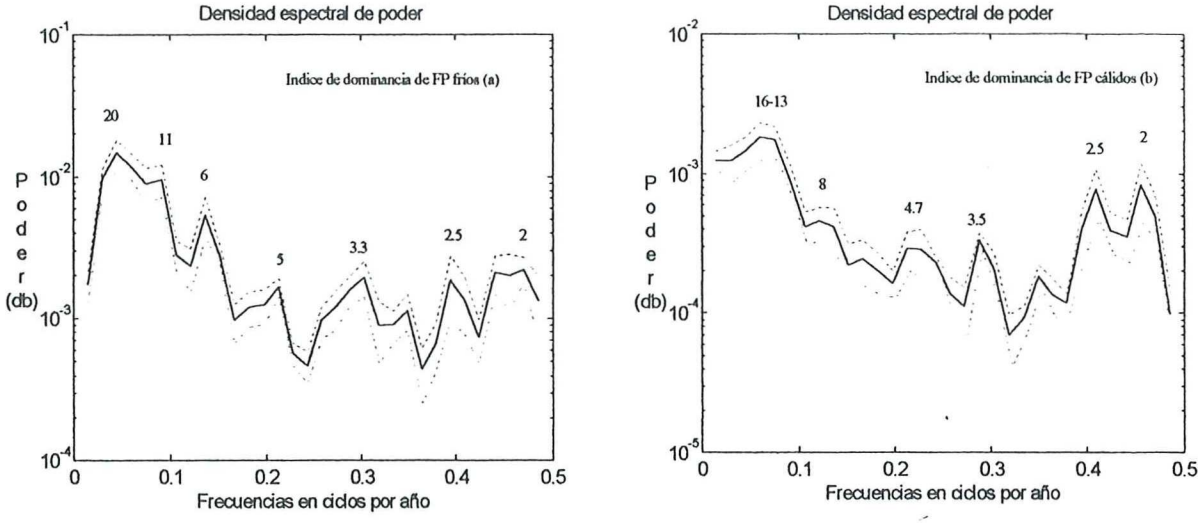


Figura 45. Densidad espectral de poder (a) para el índice de dominancia de especies de foraminíferos plánctico de aguas frías, (b) para el índice de dominancia de especies de foraminíferos plánctico de aguas cálidas del núcleo BAP96J-6C. Línea continua distribución del espectro de frecuencias, líneas superior e inferior discontinuas intervalos de confianza 90%. Decibeles (db). Notar la diferencia en el contenido de energía.

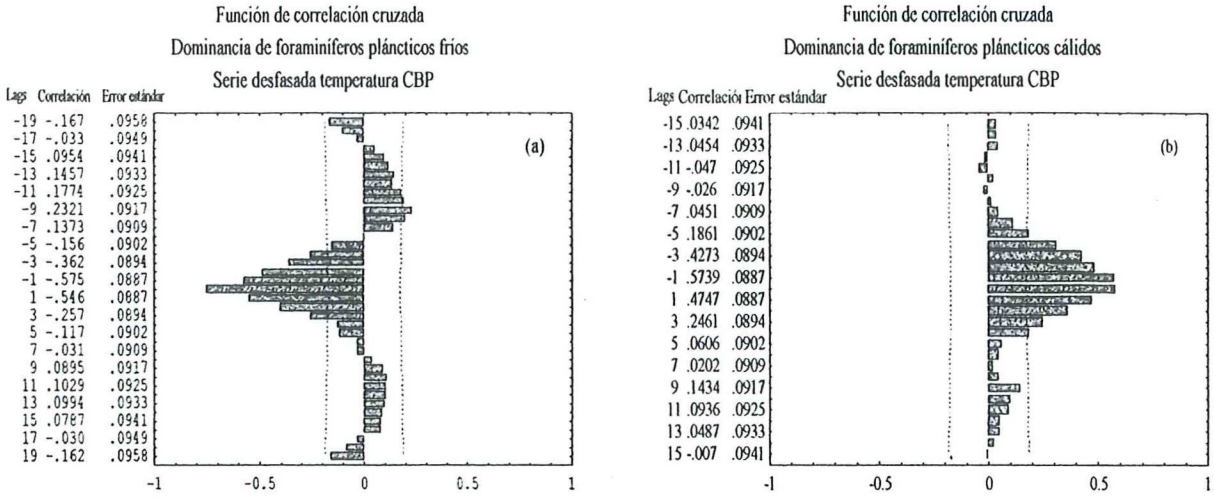


Figura 46. Función de correlación cruzada entre el índice de dominancia (a) de especies de aguas frías (b) de especies de aguas cálidas de foraminíferos plánctcos y la serie de paleotemperatura CBP. Líneas verticales discontinuas muestran la significancia al 95%. Lags (retrasos a y b) respectivamente, de 6.7 años^{-1} y 8.5 años^{-1}.

Los modos oscilatorios para las series del índice de dominancia por grupos de especies de aguas cálidas y frías, muestran como las amplitudes para el ciclo de 11 y 2-3 años para la dominancia de especies de aguas frías han decrecido hacia el presente, mientras el ciclo de los 21 años se ha comportado relativamente estable a lo largo de los 128 años. En contraste, la amplitud del ciclo de los 21 años y de los ciclos de 11 y 2-3 años para la dominancia de especies cálidas muestran un incremento en sus valores hacia el presente (Figura 47a,b,c y 48 a,b y c).

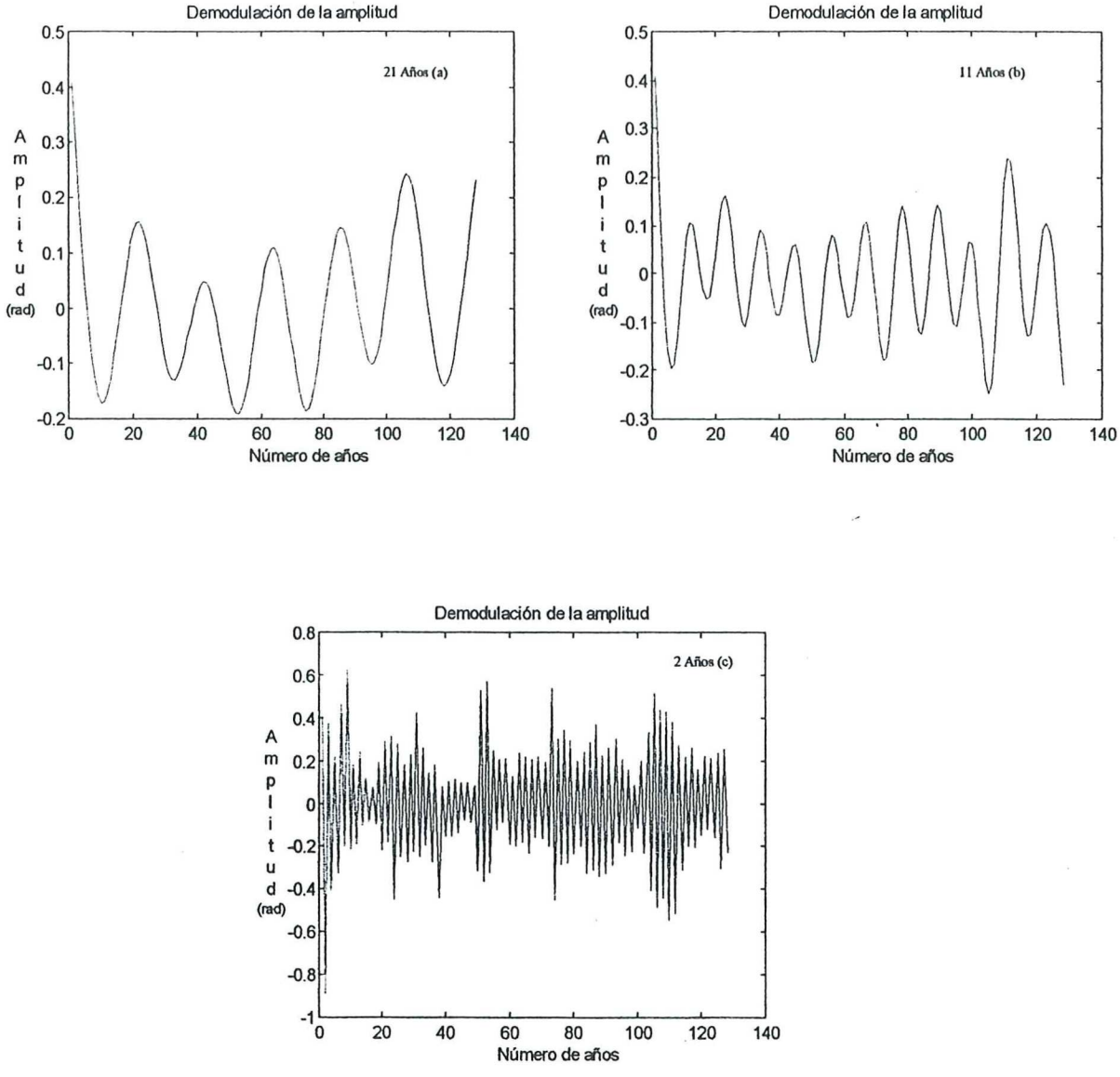


Figura 47. Modos oscilatorios para los ciclos (a) del índice de dominancia de FP de aguas frías. obtenido por demodulación de la señal en cuadratura por el método qam. Muestra como para todos los ciclos la amplitud de la señal era menor durante los primeros 60 años de registro. Radianes (rad).

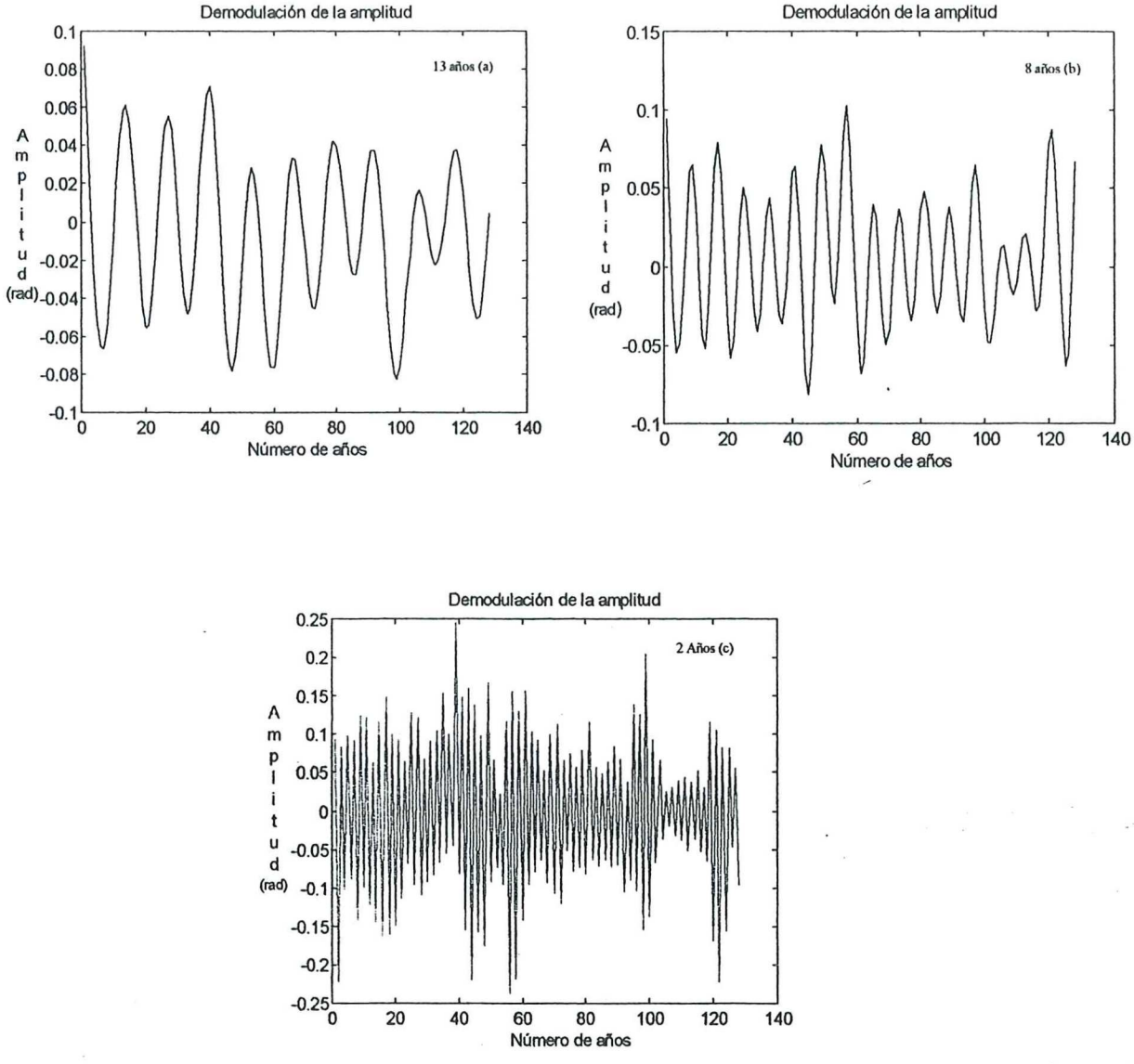


Figura 48. Modos oscilatorios para los ciclos del índice de dominancia de FP de aguas cálidas obtenido por demodulación de la señal en cuadratura por el método qam. Muestra como para todos los ciclos 13 y 2 años la amplitud de la señal se incrementa durante los primeros 40 años de registro. El ciclo de 8 años muestra un incremento en su amplitud ≈20 años Radianes (rad).

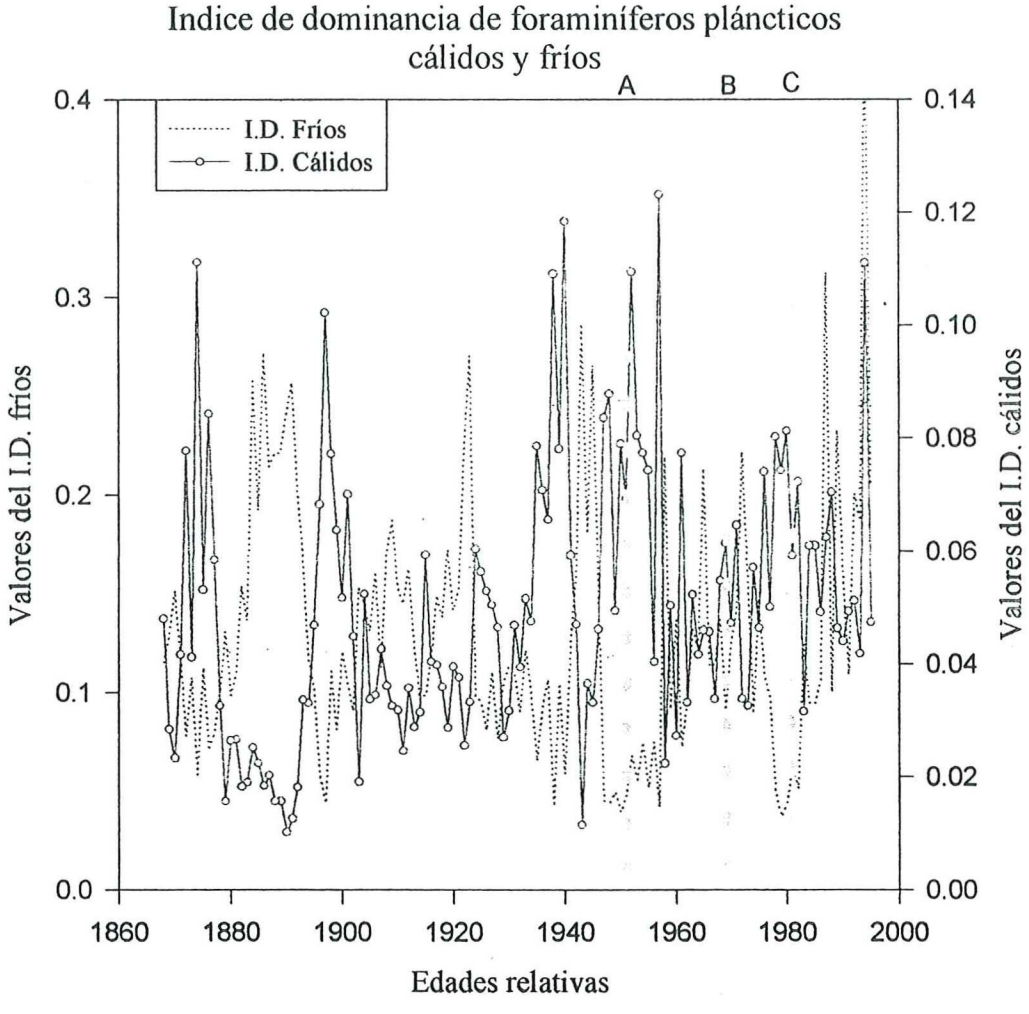


Figura 49. Distribución temporal de la dominancia de foraminíferos plánctícos fríos y cálidos para el núcleo BAP96J-6C. Líneas verticales discontinuas A, B y C respectivamente, muestran eventos de cambios climatológicos en el Pacífico Norte Durante los años 50, 70 y 80.

La disminución de la acumulación de FP a lo largo del registro, se hace mas dramática a partir de los años 60, y es a su vez coherente con la tendencia descrita a partir del año de 1951 en la biomasa de zooplancton, que decrece en un 80% en la Corriente de California y que a su vez ha sido acompañada con un incremento en la temperatura de las aguas superficiales al sur de la alta California en mas de 1.5° C (Roemmich y McGowan, 1995) (Figura 39).

El patrón ascendente observado en los registros de temperatura COADS (promedios anuales, de primavera y verano) para los últimos 45 años de registro instrumental y en la series de paleotemperaturas CBP y ThSp-CBP (Figuras 25, 26 y 27), muestran un calentamiento de las aguas superficiales en la región meridional de la Corriente de California para los últimos 45 años.

Asumiendo que la tasa de producción máxima de FP en la columna de agua ocurre durante el periodo de primavera debido a la desaparición de la termoclína por advección vertical (surgencias costeras), y forzada por los vientos predominantementes del Norte durante este periodo como hemos deducido a partir de la alta correlación observada entre el registro de temperaturas promedio de primavera COADS y las series de paleotemperatura CBP y ThSp-CBP en los 45 años correlacionados. Podríamos interpretar la disminución en las tasas de acumulación de FP en el sedimento como debido a un descenso en los procesos de advección vertical responsables de la intrusión de aguas frías ricas en nutrientes durante los últimos 45 años en esta región meridional de la Corriente de California, lo que confirmaría la hipótesis propuesta por Roemmich y McGowan, (1955).

Esta disminución en la biomasa de zooplánctón como producto del calentamiento de las aguas superficiales han sido asociados en su conjunto con cambios abruptos en la climatología del Océano Pacifico Nororiental y en el margen oriental de las costas de América del Norte (Graham, 1994; Miller *et al.*, 1994 y Roemmich & McGowan, 1955).

La correlación observada entre la dominancia por grupos de aguas cálidas y frías y los cambios abruptos en la temperatura del océano superficial evidencian una respuesta de los FP en términos de su dominancia a este forzamiento físico (Figura 49).

El patrón observado en los modos oscilatorios para los periodos de 21, 11 y 6 años relacionados con la respuesta de la abundancia absoluta de FP a la variabilidad de la temperatura, y con el índice dominancia para el periodo de los 21 años, con la dominancia de especies de aguas cálidas para los ciclos 13,8 y 2 años y con la dominancia de especies de aguas frías en el ciclo de los 21 años nos indica la posible existencia de un período largo de alrededor de 60 años.

Estos resultados determinan la relación entre el flujo de FP depositados y preservados en los sedimentos de la CSALA, con los cambios en los patrones de circulación que tienen lugar en esta región meridional en la Corriente de California en las escalas de tiempo interanual e interdecadal. A su vez proporcionan evidencias de una posible relación entre este pequeño grupo de zooplancton con las variaciones de largo período que exhibe la biomasa de zooplancton en la Corriente de California.

V DISCUSIÓN.

V 1 Cronología de trabajo y correlación de láminas.

La asignación de edades relativas a nuestros registros sedimentarios BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC, se debió fundamentalmente a problemas que presentaron las dataciones radiométricas con el ^{210} Pb, lo que impidió asignar edades absolutas a cada una de las muestras o láminas para las diferentes profundidades de cada uno de los núcleos. Este problema no se discute en esta sección ya que no forma parte central de esta tesis. Sin embargo, se describen los criterios empleados en la asignación de las edades relativas así como la susceptibilidad a posibles cambios con respecto a una edad absoluta.

La coherencia espacial y temporal de la CSALA a nivel de láminas se determinó mediante la correlación visual de láminas entre los tres núcleos estudiados para posteriormente asignarles las edades relativas de acuerdo a las evidencias aportadas por el ^{210}Pb, utilizando como guía de correlación al núcleo BAP96J-6C para la correlación visual de las láminas entre los tres núcleos y la asignación de las edades relativas.

Los criterios para asignar al núcleo BAP96J-6C como núcleo guía fueron : 1.- Este núcleo presentó el registro más completo (1995-1854), con respecto a los núcleos CA94-8K (1990-1869) y CH94-IC (1930-1854), de acuerdo a evidencias aportadas por ^{210}Pb y a la profundidad de aparición del ^{137}Cs. 2.- El gradiente de la actividad de la desintegración del exceso del ^{210}Pb con respecto a la profundidad fue mas consistente para el núcleo BAP96J-6C que para los núcleos CA94-8K y CH94-IC.

Las dataciones del núcleo BAP96J-6C suponiendo una tasa de sedimentación medio constante de 1.6 mm año $^{-1}$ permitió atribuir edades a los otros dos núcleos correlacionando el aspecto y textura de las láminas mediante radiografías. Por lo que esta asignación de edades constituye en este momento una cronología provisional susceptible a modificaciones obtenidas de

determinaciones radiométricas en distintos núcleos de la CSALA. Esta mayor densidad de determinaciones hará posible también la posible discriminación entre eventos de redepósito: turbiditas (deslizamientos de material sedimentario acumulado en las cercanías de las pendientes en los márgenes de la cuenca), y hiatos (ausencia de acumulación), que pueden modificar la tasa de sedimentación en nuestros registros sedimentarios. Además, la correlación de láminas a partir de su interpolación visual no presentan una correlación directa entre núcleos, aunque si existe una alta correlación en la interpolación visual para aquellas secciones de láminas asociadas con grandes pulsos de materia orgánica al sedimento.

Sin embargo, la buena correlación espacial y temporal observada en los índices relativos Fb/(Fp+Fb) y en el índice de preservación relativa de las asociaciones de foraminíferos plánctícos entre los tres núcleos son evidencias de una coherencia espacial y temporal en los procesos involucrados en la acumulación de foraminíferos en los sedimentos de la CSALA. Esto nos permite establecer la coherencia relativa que tienen nuestras correlaciones a nivel de láminas (Figuras 8 y 20).

V 2 Correlación de índices relativos.

V 2.1 Propiedades físicas y de textura de los sedimentos.

El contenido de arenas y agua para los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K sugieren que se requiere un control más consistente en el tratamiento de los núcleos, fundamentalmente, en el lavado de las muestras. Es importante conocer las características cuantitativas del material detrítico (parámetros texturales) que nos permitan determinar y comprender los procesos que pueden modificar o alterar su composición espacial como eventos de transporte de las pendientes de los márgenes de la cuenca (Seibold y Berger, 1982) de hiatos por procesos erosivos.

V 2.2 Índice faunístico relativo.

No fue posible explicar en términos de su grado de preservación relativa las discrepancias observadas en el índice relativo Fb/ (Fp+Fb) para las secciones de laminas 6 a 13 y 29 a 54 entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K. Las diferencias entre números pequeños asociados con la disminución en abundancia absoluta de FP para el núcleo BAP96J-6C sugiere que el índice relativo es sensible a la diferencia entre números pequeños en este grupo plánctico para esta sección de láminas (Figura 10a). Aunque posiblemente también estas discrepancias se podrían encontrar asociadas a eventos de transporte turbidítico que incrementarían la abundancia de foraminíferos bénticos específicamente en el núcleo BAP96J-6C extraído cerca del borde del margen de la cuenca (Figura 8). Sin embargo, la falta de una datación consistente para todos los núcleos, y la falta de características cuantitativas del material detrítico no permite abundar en el efecto de este tipo de eventos en nuestros registros sedimentarios.

V 2.3 Indices de Preservación.

La alta correlación observada en los patrones espaciales y temporales en la preservación relativa de las asociaciones de foraminíferos plánctícos (FP) en la CSALA, sugiere que los patrones de preservación son coherentes para toda la cuenca (Figura 20). Sin embargo, las pequeñas diferencias en el grado de preservación relativa de las asociaciones de FP entre los núcleos BAP96J-6C y CA94-8K para las secciones de láminas 57 a 75 (Figura 20) posiblemente se podrían asociar a un tratamiento distinto de los núcleos en el laboratorio. La baja correlación observada entre los índices de fragmentación e *IPA* para el núcleo CA94-8K (Figura 18) evidencia que las diferencias porcentuales entre la especies representativas *N. dutertrei* y *G. Bulloides,* con diferente resistencia al grado de disolución selectiva (Figura 38ab) pudieron producirse en el laboratorio. Por otro lado, las diferencias observadas entre los núcleos BAP96J-6C y CH94-IC para la secciones de láminas 109 a

119 y 120 a 128 no presentaron evidencias relacionadas con un tratamiento distinto de los núcleos en el laboratorio aunque también presentan diferencias porcentuales entre las especies representativas *N. dutertrei* y *G. bulloides* en ambos núcleos. Sin embargo, presentan una mayor coherencia en la correlación de los índices de fragmentación e *IPA* (Figura 18, 38ac).

V 2.4 Análisis de regresión lineal simple.

Los bajos coeficientes de correlación de los índices de relativos correlacionados se debió principalmente a la limitación que impone la correlación de láminas entre los núcleos BAP96J-6C, CA94-8K y CH94-IC al introducir un suavizado en los valores de cada una de las series para estos dos últimos núcleos.

V 3 Variabilidad temporal del índice de preservación.

El grado de preservación relativa de las asociaciones de FP está en función del grado de saturación de la calcita en la columna de agua y en la interfase agua sedimento en el fondo de la CSALA (Broecker y Peng, 1981), que a su vez es función de las tasas de recambio de las masas de agua en el fondo de la cuenca y del enriquecimiento del agua intersticial con CO_2 por oxidación de la materia orgánica (Coulborn *et al.*, 1980).

El fondo de la cuenca esta bañada por las aguas subóxicas del Pacifico intermedio. El bajo contenido de oxígeno en el fondo junto con la alta productividad de las aguas superficiales, controlada por la advección de las aguas frías ricas en nutrientes de la Corriente de California y los procesos de surgencias asociadas a los vientos estacionales del Noroeste son responsables de la producción en la superficie, del flujo hacia el fondo y la preservación del carbón orgánico, ópalo biogénico y caparazones calcáreos en el fondo de la cuenca (Calvert, 1964; Berger y Souter 1970; Ingall y Jahnke, 1997).

La variabilidad de las tasas de acumulación de FP en los sedimentos y sus tasas de producción en la columna de agua está modulada por los patrones de circulación oceánica que ejercen un control en las tasas de producción de otros componentes biogénicos en el sistema de la Corriente de California y en la cuenca del Pacifico Norte (Pearcy y Shoener, 1987 en Parés *et al.*, 1997; Bernal, 1983 y Polovina *et al.*, 1995). Esta variabilidad en las tasas de acumulación de FP sugiere que la señal que nos transfieren los patrones de preservación de las asociaciones de FP está relacionada con la variabilidad de la productividad orgánica en la columna de agua, modulada por los patrones de circulación oceánica.

La reconstrucción de paleotemperatura CBP, ThSp-CBP propone que el flujo máximo de FP ocurre durante este período de surgencias. Por lo que las altas tasas de sedimentación sean posiblemente el mecanismo responsable de la preservación y de la mayor preservación de FP en los sedimentos durante períodos de alta productividad orgánica en la CSALA.

V 4 Correlación entre el registro instrumental de temperaturas COADS, y el registro biogénico de paleotemperaturas.

Es importante conocer cuales son los factores que controlan la producción, distribución, expatriación y mecanismos de exportación al sedimento del material biogénico en la zona fótica para comprender la señal paleoambiental de las asociaciones sedimentadas de microfósiles plángticos. Aunque Reynols y Thunnell 1985; Deuser y Ross 1989; Sautter y Thunnell, 1991; Ortíz y Mix; 1992 y Guptha *et al.*, 1997, han contribuido a discernir los mecanismos de producción y sucesión estacional de asociaciones de FP en diferentes condiciones hidrograficas, cada región presenta mecanismos particulares como la autoecológia de las especies en relación a su sinecológia que también pueden modificar la señal paleoambiental de las asociaciones acumuladas en los sedimentos.

La asociación de especies en nuestros registros sedimentarios está representada por 7 especies de las cuales *G. bulliodes, N. pachyderma* y *G. quinqueloba* son características de regímenes de surgencias (Sautter y Thunnell, 1991; Ortíz y Mix; 1992); otras especies como *N. dutertrei, G. glutinata y G. bulliodes* presentan una tolerancia euritermíca y eurihalína que les proporciona atributos oportunistas durante períodos de disponibilidad de alimento con respecto a otras especies (Hemleben *et al.*, 1989) (Figuras 38abc). Watkins y Mix (1998) en el Pacifico Central Ecuatorial determinan la influencia de la productividad en ecuaciones de transferencia de temperatura debido a una respuesta común en las tasas de respiración y crecimiento de FP a estas variables. Por lo que también es importante determinar sus mecanismos de producción considerando sus historias de vida, comportamiento relacionado a su adaptación a diferentes condiciones ambientales en ecotonos donde la variabilidad física y factores bioticos permiten la colonización parcial por las especies dominantes de los ecosistemas adyacentes (Odum, 1971).

Las diferencias en los valores promedios entre los registros de temperatura COADS (anual) y paleotemperaturas, CBP y ThSp-CBP, posiblemente se debió a que nuestra reconstrucción se encuentre sesgada al período de surgencias costeras. Desafortunadamente, se carece de datos de trampas de sedimentos para poder sustentar esta hipótesis (Figura 26 y 27). Sin embargo, la comparación entre los valores medios de temperatura COADS (primavera) y paleotemperaturas CBP nos induce a proponer que el período de máxima producción de FP es durante la primavera. Ya que los valores óptimos de temperatura para las especies más representativas utilizados en la reconstrucción ThSP-CBP corresponden a la temperatura óptima de las asociaciones de un periodo de surgencia costera en la cuenca de San Pedro al sur de la Alta California lo que posiblemente fuerce a nuestras estimaciones a presentar valores de temperatura para este período específico. Las funciones de transferencia de magnitud y coherencia entre los registros de paleotemperatura CBP y

COADS primavera también aportaron elementos para apoyar esta hipótesis, ya que cada uno de sus períodos fueron los que presentaron la mejor correlación.

Es importante hacer notar que en la calibración de nuestra ecuación de transferencia CBP se utilizaron valores óptimos de temperatura de FP que son un promedio de diferentes escalas espaciales y temporales en el océano Pacifico Norte.

La diferencia entre los valores promedios de COADS primavera y de paleotemperatura ThSp-CBP de 1.6 °C con respecto a la reconstrucción CBP se debió posiblemente a que el valor óptimo de *G. bulloides* (en un 35% de representatividad) corresponde a dos periodos de producción intraanual enero-marzo y mayo-junio. Períodos caracterizados por bajas temperaturas al sur de California (cuenca de San Pedro) ya que es a finales de invierno cuando el flujo de la Corriente de California hacia el Ecuador es más intenso y en primavera es cuando se presenta la intrusión de aguas frías subsuperficiales hacia la superficie causada por los vientos estacionales del Noroeste (Sautter y Thunnell, 1991; Ortíz y Mix; 1992).

Otro de los factores que podrían modificar la señal de paleotemperaturas hacia temperaturas mas bajas son los procesos de disolución selectiva de FP, ya que incrementarían la abundancia de especies resistentes como *N. pachyderma* (característica de aguas árticas y subárticas). Sin embargo, las asociaciones de FP que derivaron el registro de paleotemperatura se encontraron bien preservadas, excepto para los valores entre los años 1988 a 1986, los cuales se encuentran considerablemente sesgados por procesos de disolución (Figura 30).

Otro de los factores a considerar son las preferencias térmicas en la profundidad de hábitat de las asociaciones de FP, sin embargo, desconocemos sobre la productividad óptima de estos hábitats en la región de la CSALA. Berger (1970) describe que la distribución vertical de las asociaciones de FP esta compuesta por una mezcla de faunas subárticas, transicionales y subtropicales frente a las costas de Baja California en donde las faunas subarticas y transicionales

son más abundantes en la masa de agua superficial mientras que las faunas subtropicales se incrementa su abundancia en la región subsuperficial de la columna de agua debido a su transporte de las regiones tropicales y subtropicales hacia latitudes más altas por la Contracorriente Ecuatorial del Norte.

V 4.1 Relación entre el registro biogénico de temperaturas de la superficie del mar y los patrones de circulación oceánica.

Los fenómenos en los ecosistemas se pueden agrupar de acuerdo a las escalas espaciales y temporales que ocupan. La circulación de la Corriente de California se encuentra constituida por una sobreimposición de fenómenos que actúan de manera autónoma y que por tener escalas diferentes son afectados por fuerzas diferentes y dinámicas independientes. De esta manera, podemos descomponer a la circulación de acuerdo a las principales escalas temporales y espaciales. Esto nos permite entender como sus variaciones responden a forzamientos específicos que evolucionan de formas diferentes.

La variabilidad de la señal que nos transfieren los FP preservados y acumulados en los sedimentos de la CSALA son coherentes con algunos de los principales modos de variación en el Sistema de la Corriente de California en las escalas de tiempo interanual e interdecadal.

Los cambios en la circulación media de gran escala (dinámica de Sverdrup) tales como cambios de centros de giro, cambios en la intensidad del transporte meridional, etc., se han asociado a cambios climáticos globales.

Namias y Huang (1972) describen fluctuaciones decadales en el nivel del mar al Sur de la Alta California durante los períodos 1948-1957 y 1958-1969 asociados a regímenes climáticos de gran escala a los cuales relacionan con una inestabilidad en la interacción océano-atmósfera que provocó cambios en la estructura de la termoclina (evaporación) derivados a su vez por cambios en la intensidad de los vientos predominantes del noroeste.

Por otra parte, Huang (1972) también atribuye estas variaciones a la diferencia en el transporte meridional de la Corriente de California y el transporte hacia el norte de la Contracorriente de California de masas de agua cálidas altas en salinidad durante el periodo 1958-1969.

Latif y Barnet (1994) atribuyen estos regímenes de variabilidad climática decadal a un ciclo de interacción inestable entre la circulación del giro subtropical (distribución latitudinal de su contenido cálido) del Pacifico Norte y el sistema de baja presión Aleutiano con un período de oscilación de alrededor de 20 años.

Overpeck (1993) y Lean *et al.* (1995) en Biondi *et al.* (1997), describen una alta correlación entre la irradiación solar y anomalías de temperatura a partir de los años 1610 y 1800 hasta el presente en periodos de aproximadamente 11 años.

Las periodicidades de nuestras reconstrucciones de paleotemperaturas para las escalas de tiempo interdecadal de 21 y 11 años fueron asociadas con el ciclo característico en la circulación del giro subtropical del Pacífico Norte y con los ciclos de irradiación solar, respectivamente (Figuras 35a,b).

Biondi *et al.* (1997) muestran como el patrón de variación interdecadal (25 y 12 años) de las varvas de los sedimentos de la cuenca de Santa Barbara es coherente con el ciclo del giro subtropical del Pacifico Norte y con el ciclo de irradiación solar.

Miller *et al.* (1994) y Graham (1994) describen los cambios climáticos observados en el Océano Pacifico Norte asociados a la intensificación del sistema de baja presión de las Aleutianas, debido a un forzamiento remoto del océano tropical vía una teleconexión atmosférica hacia las latitudes medias durante los años 1976-1977 y durante la década 1970-1980.

La periodicidad aparente de estos cambios climáticos en períodos de alrededor de 10 años y la correlación temporal coherente con los cambios observados en los registros de paleotemperatura

CBP y ThSp-CBP (Figura 26 y 27) evidencian que posiblemente gran parte de la energía contenida en la baja frecuencia (11 años) en nuestras reconstrucciones de paleotemperatura se encuentre relacionada con estos cambios climáticos en el Océano Pacifico Norte o a otro proceso físico del que aún desconocemos sus mecanismos.

Otro de los modos de variación importante en la Corriente de California es la variabilidad interanual que se refleja en cambios de una mayor frecuencia (3 a 7 años) en el nivel del mar y en la temperatura superficial (datos generados por el programa CalCOFI y registros de mareómetros en las costas desde 1900 en la Corriente de California) (Chelton, 1981). Estos cambios de mayor frecuencia que transcurren en escalas de tiempo interanual han sido identificados como la respuesta del océano en las latitudes medias al fenómeno de El Niño (Enfield y Allen, 1980 y Chelton y Davis, 1982 en Pares *et al.*, 1997). O'Brien y Pares (1989) establecen como gran parte de la energía contenida en las bajas frecuencias de registros del nivel del mar en las costas de California y Baja California es introducida al océano en latitudes bajas pero transmitida hacia los polos en forma de ondas costeras de Kelvin, lo que nos induce a proponer que la variabilidad de paleotemperaturas en la escala de tiempo interanual (2 a 6 años) está asociada con este evento de gran escala (Figura 35a,b).

V 5 Correlación de la abundancia, diversidad y dominancia de foraminíferos plánctícos y los patrones de circulación oceánica.

Las corrientes del margen oriental de los giros subtropicales se reconocen entre las más productivas de los océanos. Estos ecosistemas, además de estar abiertos a flujos de energía canalizada hacia la producción orgánica, están también abiertos a la entrada de energía mecánica a gran escala en forma de advección horizontal y del forzamiento local de los vientos. También se caracterizan biológicamente por presentar una elevada heterogeneidad espacial de las poblaciones planctónicas residentes (Haury, 1976 en Bernal y Chelton, 1983).

Bernal (1981) determinó que la respuesta biológica del ecosistema de baja frecuencia en términos de la biomasa de zooplancton es coherente con los cambios interanuales en el patrón de circulación que tiene lugar en toda la Corriente del Margen Oriental, proponiendo que el ecosistema de la Corriente de California se encuentra en forma permanente bajo condiciones de desequilibrio, lo que a su vez sugiere que los procesos biológicos interactivos clásicos: competencia y depredación, serían solamente mecanismos secundarios en la regulación tanto de la abundancia como la proporción de las especies en el plancton.

Chelton (1981) propone que la advección horizontal a gran escala tiene un papel importante en el control de la variabilidad del zooplancton en escalas de tiempo interanual. Los fenómenos de El Niño (ENOA) en el Océano Pacifico Oriental Tropical son un buen ejemplo de esta advección.

La comunidad de FP acumulados y preservados en los sedimentos de la CSALA, presentó una elevada riqueza especifica, 33 de las 41 especies descritas en los océanos modernos (Vincent y Berger, 1981). Además, en términos de sus abundancias absolutas, la diversidad y la dominancia mostraría una variabilidad similar a la observada en las series de temperaturas del registro instrumental COADS en las escalas de tiempo interanual e interdecadal (Figura 34b, 41a,b,c). Está variabilidad ecológica la asociamos a la variabilidad característica en los patrones de circulación oceánica en la cuenca del Pacifico Norte y principalmente en la Corriente de California, ENOA y la circulación del giro subtropical del Pacífico Norte.

Aunque el índice de diversidad mostró periodicidades coherentes con los patrones de circulación oceánica, los resultados de las funciones de correlación cruzada para la diversidad solo explicaron el 30 % de la variabilidad con respecto a la temperatura para el periodo de oscilación de 6 años. Además, la amplitud de la señal para el periodo de 6 años sugiere que la amplitud de la diversidad ha permanecido estable durante los 128 años de registro (Figura 44a).

Sin embargo, la distribución temporal de la diversidad mostró cambios importantes durante los períodos de cambios climáticos derivados de la inestabilidad en la interacción océano-atmósfera observados en la Corriente de California y en la Cuenca del Pacifico Norte como ya apuntaron Miller *et al.* (1994) y Graham (1994) (Figura 40).

La baja predictibilidad del índice de diversidad a cambios de temperatura asociados a los patrones de circulación oceánica evidencia como la respuesta de la comunidad de FP tiene un comportamiento relativamente estable a este forzamiento físico. Debido a la posición latitudinal de la CSALA, localizada en la región caracterizada por masas de agua transicionales del Pacífico Norte y con una gran influencia de las masas de agua subtropicales sobre las aguas subárticas transportadas por la Corriente de California. Aquí la biogeografía de este grupo plánctico tiene un fuerte componente transicional, razón por la que consideramos esta región meridional de la Corriente de California como un ecotono caracterizado biológicamente por presentar una elevada riqueza específica y que está dominado por el forzamiento físico (Odum, 1971).

Esto nos sugiere que los modos de variación en la circulación de la Corriente de California a escalas de tiempo más corto que los definidos en las escalas de tiempo interanual e interdecadal en nuestros análisis paleoecológicos tales como surgencias costeras, frentes, chorros y remolinos en la escalas de tiempo intranual también tienen un papel importante en modular la composición especifica de FP y en su sinecología, una posible adaptación de este componente del plácton al gran espectro de variabilidad física que presenta este ecosistema de margen oriental. Es preciso mencionar que los FP presentan un tiempo de vida promedio de aproximadamente 2 meses en la columna de agua (Berger 1971, Hemleben *et al.*, 1989), el cual se encuentra dentro del rango de los modos de variación de los fenómenos de escala de tiempo corto mencionados anteriormente. De acuerdo a las estimaciones del flujo de FP en la columna de agua con una tasa de 75 m dia^{-1} (Sauter

y Thunell, 1991) implica que los caparazones de foraminíferos pueden tardar entre 7 y 10 días en llegar al fondo de la cuenca.

Por otro lado, las reconstrucciones de paleotemperatura sugieren que gran parte del flujo de FP al sedimento es durante el periodo de surgencias costeras (primavera), el cual se caracterizó por presentar las temperaturas más bajas en esta región y por una mayor producción de ciertas especies de FP como *G. bulloides* y *N. pachyderma,* (faunas de surgencias) y *O. universa, N. dutertrei y G. ruber* (faunas de post surgencias) (Sauter y Thunell, 1991; Ortiz y Mix, 1992) y se esperaría una baja diversidad de FP en la columna de agua.

La mayor diversidad relativa podría explicarse si consideramos que la distribución de foraminíferos se produce en forma de parches y que la mezcla de parches de aguas cálidas y frías con sus faunas asociadas en la advección de mediana escala de las surgencias costeras (magnitud del radio de deformación de Rossby) no es totalmente homogénea debido a la existencia de estructuras como remolinos, chorros, filamentos, etc. Esto nos sugiere que la respuesta biológica de la comunidad de FP a los cambios en los patrones de circulación oceánica se traduce únicamente en cambios en la abundancia absoluta y en la dominancia de especies calidas y frías.

La baja correlación que presentaron los análisis de las funciones de correlación cruzada entre la serie de paleotemperatura ThSp-CBP con la abundancia absoluta, índice de diversidad e índice de dominancia de FP posiblemente se debió a los bajos valores que presentaron con respecto a la media anual y de primavera en está región meridional de la Corriente de California.

El patrón decreciente en la acumulación de FP a partir de los años 60 (Figura 39), posiblemente se encuentre asociado con la tendencia descrita a partir del año de 1951 (y aun más importante a partir de 1970) con el incremento en la temperatura de las aguas superficiales al sur de la Alta California y Baja California.

Roemmich y McGowan (1995) y Lange *et al.* (1990) sugieren que otro de los posibles mecanismos asociados al decrecimiento en la biomasa de zooplancton y en los flujos del plancton al sedimento en la cuenca de Santa Barbara puede estar relacionado a cambios en el forzamiento del viento a gran escala. La intensa circulación atmosférica observada durante el periodo de invierno en el Pacifico Norte a finales de los años 70 (Graham, 1994) provocó cambios en la circulación oceánica de esta cuenca como producto de la bifurcación de los vientos hacia el Occidente (Venrick, *et al.* 1987, en Roemmich y McGowan, 1995), lo que a su vez propició una mayor importación de aguas cálidas, y un descenso en la intrusión de nutrientes, cuyo resultado final fue la disminución observada en la biomasa de zooplancton de la Corriente de California.

El patrón observado en los modos oscilatorios para los periodos de 21, 11 y 6 años de la abundancia absoluta de FP y la dominancia para las faunas de aguas cálidas en los períodos 21, 13 y 2 años, aportan evidencias que el decrecimiento del flujo de FP al sedimento de la cuenca CSALA durante los 45 años recientes transfieren una señal de cambios climáticos de gran escala en el Pacifico Norte asociados con la intensificación del sistema de baja presión Aletuiano ya que nos muestran como a partir de alrededor de 1920 la amplitud de la acumulación de foraminíferos disminuye considerablemente con un incremento sensible en la amplitud de las faunas de aguas cálidas hacia el presente (Figuras 43a,b,c y 48a,b,c).

Se observaron cambios en los índices de diversidad y dominancia por grupos de aguas cálidas asociados a los cambios abruptos en la temperatura superficial, los que a su vez están asociados a los cambios en la circulación atmosférica observada durante el periodo de invierno en el Pacifico Norte a finales de los años 70 debidos a la intensificación del sistema de baja presión Aleutiano (Miller *et al.* 1994 y Graham, 1994). Estos cambios también aportan elementos para soportar la hipótesis anteriormente mencionada (Figura 49).

VI CONCLUSIONES.

1. La sedimentación y el estado de preservación de las asociaciones de foraminíferos plánctícos en los sedimentos de la Cuenca de San Lazáro (CSALA) tiene una coherencia espacial a nivel de láminas y tiene una coherencia temporal en las escalas de tiempo internual e interdecadal.

2. Las asociaciones de foraminíferos plánctícos acumulados en los sedimentos de la CSALA exhiben un buen estado de preservación.

3. Las fluctuaciones del estado de preservación relativa de las asociaciones de foraminíferos plánctícos están relacionadas con la productividad orgánica en la columna de agua deducida a partir de las tasas de acumulación de foraminíferos plánctícos que proponemos está modulada por los patrones de circulación oceánica.

4. La reconstrucción de paleotemperaturas a partir de las asociaciones de foraminíferos plánctícos se encontró fuertemente correlacionada con la temperatura promedio de primavera de la región meridional de la Corriente de California de los últimos 45 años. Esta observación sugiere que gran parte de la acumulación de foraminíferos plánctícos corresponden a este período caracterizado por procesos de surgencias costeras.

5. La señal que transfieren los foraminíferos plánctícos acumulados y preservados en los sedimentos de la CSALA en términos de paleotemperatura, abundancia absoluta, diversidad y dominacia de especies cálidas y frías es coherente con la variabilidad física característica del Pacifico Nororiental, y que afecta la región meridional de la Corriente de California (eventos de gran escala como El Niño y la circulación del giro subtropical del Pacifico Norte).

6. Los FP a su vez proveen una señal coherente con los cambios en la circulación atmosférica (intensificación del sistema de baja presión Aletuiano) de invierno en el Pacifico Norte derivada de la inestabilidad en la interacción océano-atmósfera documentada a partir de los últimos 40 años que trae consigo un posible calentamiento de las aguas superficiales de la Corriente de

California. Posiblemente esté calentamiento sea la causa de la caída de la biomasa de zooplanton en la Corriente de California que se refleja en la acumulación de FP en los sedimentos de la CSALA.

LITERATURA CITADA

Arrhenius G., 1952. Sediment Cores from the East Pacific. Rep. Swedish Deep Sea Exped. 1947-1948, 5: 1-128.

Badan A., 1997. La Corriente de Costa Rica en el Pacífico Mexicano, en: M.F.Lavin, Editor, Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No.3, Unión Geofísica Mexicana,. 99-112.

Baumgartner T. R., Ferreira B. V. y Hentz M. P., 1991. Varve Formation in the Central Gulf of California: A Reconsideration of the Origin of the Dark Laminae from the 20th Century Varve Record. En The Gulf and Peninsular Province of the Californias (P. Dauphin y B. Simoneit, eds.), American Association of Petroleum Geologist Memoir, 47: 617-635.

Berger W. H., 1970. Planktonic Foraminifera: Differential Production and Expatration off Baja California. Limnology and Oceanography, 15: 183-204.

Berger W. H., 1971 Sedimentation of Planktonic Foraminifera. Marine Geol., 11: 325-358.

Berger W. H. y Soutar A., 1970. Preservation of Plankton Shells in an Anaerobic Basin off California. Geologycal Society of America Bulletin, 81: 275-282.

Berger W. H., Bonneau M. C. y Parker F. L., 1982. Foraminifera on the Deep-Sea Floor: Lysocline and Dissolution Rate. Oceanologica Acta, 5: 249-257.

Bernal, P.A., 1981. A Review of Low Frequency Response of the Pelagic Ecosystem in the California Current. CalCOFI Rep., XXII: 49-62.

Bernal, P.A., 1983. Variabilidad Biológica de Baja Frecuencia y Gran Escala en la Corriente de California 1949-1978. Ocean Scale and Regional Comparison FAO, Rome Italy, 3: 713-729.

Biondi F., Lange C.B., Hughes M.K. y Berger W.H., 1997. Inter-decadal Signals During the Last Milleniun (AD 1117-1992) in the Varve Record of Santa Barbara Basin, California. Gophysical Research Letters, 24: 193-196.

Broecker, W.S. y T.H. Peng, 1982. Tracers in the Sea. (Ed.) Eldigio Press: New York, 690 p.

Byrne, J., 1957 The Marine Geology of Gulf of California, Ph. Doctoral Thesis., Univ. Southern California, 289 pp.

Calvert, S.E., 1966. Origin of Diatom-rich Varved Sediments from the Gulf of California. Journal of Geology, 74:546-563.

Coulbourn, T.W., Parker, L.F. y Berger, H.W., 1980. Faunal and Solution Patterns of Planktonic Foraminifera in Surface Sediments of the North Pacific. Marine Micropaleontology, 5: 329-399.

Deuser W.G. y Ross E.H., 1989. Seasonally Abundant Planktonic Foraminifera of the Sargasso Sea: Succession, Deep-Water Fluxes, Isotopic Composition, and Paleoceanographic Implications. Journal of Foraminiferal Research, 19: 268-293.

Chelton D. B., 1981. Interannual Variability of the California Current- Physical Factors. CalCOFI Rep., XXII: 34-46.

Chelton D. B., y Davis R.E., 1982. Monthly Mean Sea Level Variability Along the West Coast of North America. Journal of Physical Oceanography, 12: 757-784.

Enfield, D.B. y Allen J.S., 1980. On the Structure and Dinamics of Monthly Mean Sea Level Anomalies Along the Pacific Coast of North and South America. Journal of Physical Oceanography, 10: 557-578.

García E., Vidal R. y Tamayo L. Ma., 1984. Precipitación y Probabilidad de la lluvia en la República Mexicana y su evaluación. Universidad Autónoma de México, 230 pp.

Graham N.E., 1994. Decadal-Scale Climate Variability in the Tropical and North Pacific During the 1970s and 1980s: Observations and Models Results. Climate Dynamics, 10: 135-162.

Guptha M. V. S., Curry W. B., Ittekkot V. y Muralinath A. S. 1997. Seasonal Variation in the Flux of Planktic Foraminifera: Sediment Trap Results From The Bay of Bengal, Northern Indian Ocean. Journal of Foraminiferal Research, 27: 5-19.

Haq, B.U. y A. Boersma 1978. Introduction to Marine Micropaleontology. (Ed.) Elsevier: Amsterdam, 376 p.

Hemleben, C.H., Spindler, y M., Anderson, O.R., 1989. Modern Planktonic Foraminifera. (Eds) Springer-Verlag, 363 p.

Huang J. Chi Kan, 1972. Recent Decadal Variation in the California Current System. Journal of Physical Oceanography, 2: 382-390.

Hülsemann, J. y Emery, K.O.,1961. Stratification in Recent Sediments of Santa Barbara Basin as Controlled by Organisms and Water Character. Journal Geology, 3: 279-290.

Ingall E. y Jahnke R.,1997. Influence of Water-Column Anoxia on the Elemental Fractionation of Carbon and Phosphorus During Sediment Diagenesis. Marine Geology, 139: 219-229.

Joshi L. U. y Ku T. L., 1979. Measurement of ^{210}Pb from a Sediment Core off the Coast of California. Journal Radioanalytical Chemistry, 52: 329-334.

Lange C. B., Burke S. K. y Berger W. H., 1990. Biological Production off Southern California is Linked to Climatic Change. Climate Change 16: 319-329.

Lange C. B., Treppke U., y Wefer G., 1994. Seasonal Diatom Fluxes in the Guinea Basin and Their Relationships to Trade Winds, ITCZ Migrations and Upwelling Events. Deep-Sea Research., 41:859-878.

Latiff M. y Barnett T.P., 1994. Causes of Decadal Climate Variability Over the North Pacific and North America. Science, 226: 634-637.

Loeblich, A.R. y Tappan H., 1978. Treatise on Invertebrate Paleontology. R.C. Moore (ed) GSA. Parte C, Vol. 2, 1110 p.

Miller J. A., Cayan R. D., Barnett T. P., Graham N. E. y Oberhuber J. M., 1994. The 1976-77 Climate Shift of the Pacific Ocean. Oceanography, 7: 21-26.

Namias J. y Huang J. C k, 1972. Sea Level at Southern California: A Decadal Fluctuation. Science, 23: 351-353.

Odum E. P.,.1971. Fundamentals of Ecology. W. B. Saunders Company, 574p.

Ortíz D. J. y Mix C. A., 1992. The Spatial Distribution and Seasonal Succesion of Planktonic Foraminifera in the California Current off Oregon, September 1987- September 1988. Geological Society Special Publication No. 64, 197-213.

Parés Sierra, A. y. O'Brien J.J, 1989. The Seasonal and Interannual Variability of the California Current System: A numerical model. Journal of Geophysycal Research. 94:121-134.

Parés Sierra, A., López, M. y Pavía, E., 1997. Oceanografía del Pacífico Nororiental, en: M.F. Lavin, editor, Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No.3, Unión Geofísica Mexicana, 1-24.

Parker, L.F.,1962. Planktonic Foraminiferal Species in Pacific Sediments. Micropaleontology, 8:219-254.

Patterson, R.T. y Fishbein E., 1989. Re-examination of the Statistical Methods Used to Determine the Number of Point Counts Needed for Micropalentological Quantitative Research. Journal of Paleontology, 63:245-248.

Polovina J. J., Mitchum G. T. y Evans G. T., 1995. Decadal and Basin-Scale Variation in Mixed Layer Depth and the Impact on Biological Production in the Central and North Pacific, 1960-88. Deep-Sea Research, 42:1701-1716.

Reid, J.L. y R.A. Schwartzlose, 1962. Direct Measurement of the Davidson Current off Central California, Journal of Geophysical Research, 67:2491-2497.

Reimers C. E., Lange C. B., Tabak M. y Bernhard J. M., 1990. Seasonal Spillover and Varve Formation in the Santa Barbara Basin, California. Limnology and Oceanography 37: 1577-1585.

Reynols L. y Thunell R.C., 1985. Seasonal Succession of Foraminifera in the Subpolar North Pacific. Journal of Foraminiferal Research, 15:282-301.

Roemmich D. y McGoman J., 1995. Climatic Warming and the Decline of Zooplankton in the California Current. Science, 267:1324-1326.

Samtleben, C. y Bickert, T., 1990. Coccoliths in Sediment Traps from the Norwegian Sea. Marine Micropaleontology., 16: 39-64.

Sauter R. L. y Thunell C. R., 1991. Planktonic Foraminiferal Response To Upwelling and Seasonal Hydrographic Conditions: Sediment Trap Results From San Pedro Basin, Southern California Bigth. Journal of Foraminiferal Research, 21:347-363.

Seibold E. y Berger W.H., 1982. The Sea Floor. Springer-Verlag,. 288 p.

Sholkovitz E. R, y Gieskes J.M., 1971. A Physical-Chemical Study of the Flushing of the Santa Barbara Basin. Limnology and Oceanography 16: 479-489.

Soutar A. y Crill P. A., 1977. Sedimentation and Climatic Patterns in the Santa Barbara Basin During the 19th and 20th Centuries. Geological Society of America Bulletin, 88: 1161-1172.

Soutar A. e Isaccs J. D., 1969. History of Fish Populations Inferred From Fish Scales in Anaerobic Sediments off California. CalCOFI Rep. 13: 63-70.

Sverdrup, H.U., Jonhson, W.M. y Fleming, H.R.,1942. The Oceans.Prentice-Hall, INC, 1087 p.

Takahashi, K., 1987. Response of Subarctic Pacific Diatom Fluxes to the 1982-1983 El Niño disturbance. Journal of Geophysical Research. 92: 14387-14392.

Thunell 1976. Optimum Indices of Calcium Carbonate Disolution in Deep-Sea Sediments. Geology 4:525-528.

Watkins M.J. y Mix A. C., 1998 Testing the Effects of Tropical Temperature, Productivity, and Mixed-Layer Depth on Foraminiferal Transfer Functions. Paleoceanography 13:96-105.

Vincent, E. y Berger H.W., 1981. Planktonic Foraminifera and Their Use in Paleoceanography. En The Oceanic Lithosphere. Jonh Wiley and Sons (eds). The Sea. Vol7., Cap. 25., pp. 1025-1119.

Zar J.H., 1984. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, Inc. 718 p.