

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra
con orientación en Geociencias Ambientales**

**Reconstrucción paleoclimática de la variabilidad de la
precipitación en Baja California Sur preservada en los
sedimentos de la Cuenca Alfonso en la Bahía de la Paz**

Tesis

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta

Claudia Cecilia García de la Torre

Ensenada, Baja California, México
2016

Tesis defendida por

Claudia Cecilia García de la Torre

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Juan Carlos Herguera García
Director de tesis

Dr. Arturo Martín Barajas
Dr. Cuauhtémoc Turrent Thompson
M. en C. Francisco Suárez Vidal



Dr. Juan García Abdeslem
Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Tierra

Dra. Rufina Hernández Martínez
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Claudia Cecilia García de la Torre**, como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias de la Tierra con orientación en Geociencias Ambientales.

Reconstrucción paleoclimática de la variabilidad de la precipitación en Baja California Sur preservada en los sedimentos de la Cuenca Alfonso en la Bahía de la Paz.

Resumen aprobado por:

Dr. Juan Carlos Herguera García
Director de tesis

En la bahía de la Paz, BCS se localiza Cuenca Alfonso: una depresión tectónica con una profundidad máxima de 440m, que se caracteriza por tener bajas concentraciones de oxígeno disuelto (<0.01 ml/l), condiciones favorables para la preservación de sedimentos laminados. En esta cuenca, el aporte de material terrígeno es dominado por limos y arcillas, transportados -en su mayoría- por escorrentía fluvial, drenajes intermitentes que se activan durante la temporada de lluvias, principalmente derivadas de ciclones tropicales que pueden llegar a contribuir aproximadamente hasta el 95% de la precipitación total en BCS, cuyos arribos son más frecuentes en agosto y septiembre. En este trabajo exploramos la variabilidad paleoclimática de la precipitación en Cuenca Alfonso basada en la reconstrucción a partir del contenido relativo de Si y Fe en unos registros de sedimentos laminados de gran resolución temporal. Utilizamos dos núcleos: BAP9825 C (40cm) y BAP9825 K (265cm), a partir de los cuales se obtuvo un registro con una longitud de 1947mm ayudados por correlaciones estratigráficas basadas en la escala de grises derivada de radiografías. Por medio de la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX), se obtuvo la abundancia relativa del contenido elemental de Si y Fe en los núcleos de sedimento. La construcción de un modelo de edad extiende nuestro registro a los últimos 4.5 ka derivado de dataciones radiométricas obtenidas por AMS14C. Se encuentran varios periodos con máximo aporte de Si, algunos de ellos se identifican como niveles turbidíticos a partir de las imágenes de rayos X. Las series de tiempo del contenido relativo de Si y Fe presentan periodicidades similares (625, 250, 178, 149, 111, 84, 70, 62 y 50 años). En los análisis de series de tiempo se obtuvieron periodos coherentes y significativos entre ambos elementos, desde escalas multidecadales hasta centenarias. Interpretamos esta variabilidad en términos de los patrones de precipitación de la bahía de la Paz, los que a su vez muestran relaciones coherentes con otros índices paleoclimáticos, variabilidad de la precipitación en Cuenca Pescadero (Nava, 2012); en Cuenca Cariaco (Haug et al., 2002), variabilidad de ENOS en laguna Pallcacocha (Moy et al., 2002), variación de la ODP en San Gorgonio (Mcdonald et al., 2005) y la actividad solar (Solanki et al., 2004).

Palabras clave: variabilidad de la precipitación en Baja California Sur, ciclones tropicales, sedimentos laminados, FRX.

Abstract of the thesis presented by **Claudia Cecilia Garcia de la Torre** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Earth Sciences, in with orientation in Environmental Geosciences.

Reconstruction paleoclimatic of the variability of precipitation in Baja California Sur preserved in the sediments from Basin Alfonso

Abstract approved by:

Dr. Juan Carlos Herguera
Thesis Director

Alfonso Basin is located in the northern part of Bahía de La Paz, BCS, is a tectonic controlled depression with a maximum depth of 440 m, bathed by characteristically low oxygen concentration waters (<0.01 ml/l), conditions that favor the preservation of laminated sediments at the sea-floor. Fluxes of sediments are dominated by terrigenous materials mainly silt and clay, transported to the basin by small and ephemeral creeks during the summer rainy season mainly associated with the passing tropical cyclones in this region, which contribute with more than 95% of the total precipitation in BCS, especially during the late summer months between August and September. In this work we explore the paleoclimatic record of the atmospheric precipitation variability preserved in Cuenca Alfonso sediments based on a reconstruction of the relative content of Si and Fe in laminated sediments with a high temporal resolution. We used two cores BAP9825 C (40cm) y BAP9825 K (265cm) in order to construct a composite record with a total length of 1947 mm aided by stratigraphic correlations based on the X radiographies of these cores. We derived the relative content of Si and Fe from a continuous X ray Fluorescence (XRF) record from the cores. We established a radiochronological framework based on several AMS14C determinations downcore, which allowed us to extend this record 4.5 Kyr into the past. We found several periods showing maxima in the Si content, a few of them have been identified as turbiditic events, based on the x-ray images from these cores. Time series of the relative content of Fe and Si present similar periodicities (625, 250, 178, 149, 111, 84, 70, 62 and 50 yr), and time series analysis show several significant and coherent periods between both elements, from multidecadal to centennial periodicities. We interpret these records in terms of precipitation variability in Bahía de La Paz region, which show further coherent relations with other published paleorecords from Pescadero Basin (Nava, 2012), from Cariaco Basin (Haug et al., 2002), ENSO variability captured from Laguna Pallcacocha (Moy et al., 2002), PDO variability (McDonald et al., 2005) and solar variability (Solanki et al., 2004).

Keywords: variability of precipitation in Baja California Sur, tropical ciclones, laminated sediments, XRF.

Dedicatoria

Esta tesis es dedicada a:

*Mis padres Rafael y Rosalía, mis hermanas Elizabeth y Daniela,
y mi cuñado Ricardo.*

Que son lo más importante en mi vida; por tener siempre su apoyo incondicional, por sus valores y consejos que han sido parte esencial en mi formación tanto personal como académica.

Por la confianza y el infinito amor que han depositado en mí, hoy alcanzo una más de mis metas.

"Daría todo lo que sé, por la mitad de lo que ignoro"

René Descartes

Agradecimientos

Al Doctor Juan Carlos Herguera García por la oportunidad de aceptarme como su tesista, por haberme compartido su conocimiento; por su paciencia, motivación y orientación que han sido parte fundamentales en este tiempo, en general por brindarme todo su apoyo.

Al M. en C. Francisco Suárez⁺ que siempre lo recordaré como una excelente persona, aunque no pudo ver el trabajo concluido agradezco sus aportaciones y comentarios como parte del comité.

Al Dr. Cuauhtémoc Turrent, Dr. Arturo Martín Barajas por formar parte de mi comité, que gracias a su experiencia han aportado valiosas aportaciones y observaciones a este trabajo.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y al posgrado en Ciencias de la Tierra y Ecología Marina.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado a través de la beca 294322.

Al proyecto “Respuestas Físicas y Biogeoquímica de la corriente de California durante periodos de calentamiento: registros del holoceno antropoceno y transición glacial-holoceno”.

A mis compañeros del laboratorio de “Paleo 3” e isótopos estables, Bertha, Cinthya, Aide, Gerardo, Gerardo Junior, Yessica, Mireya, Axel, Jose y Pilar.

Muy en especial a Cinthya Nava por su gran apoyo y orientación que fue indispensable en este trabajo, sobre todo agradezco por su tiempo y amistad, que se ha ganado mi respeto y admiración.

A mi familia, mis primos, tíos y abuelos que siempre he recibido su apoyo y cariño incondicional a pesar de la distancia.

A mis amigos Yesenia, Carolina, Marcela, Daniel, Janelle y Rúben que siempre han estado conmigo, a pesar de la distancia.

A mis amigos, Gretel, Carolina, Andrea, José Luis, Manuel, Omar, Felipe, Lita, Juventino, Miguel, por todos esos momentos que hemos compartido y que he guardado en mi corazón.

A Timoteo, Enrique, Abel, Sergio, Estrella, Rogelio, Esteban, Mastache, Leandro, Marlyn, Radha a todos mis compañeros de generación y otras generaciones que me faltan de mencionar.

A Iván por esos momentos especiales.

A cada una de las personas con las que compartí tiempo y espacio en mi estancia en la bella cenicienta del Pacífico.

Tabla de contenido

	Página
Resumen en español	i
Resumen en inglés	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Tabla de contenido	v
Lista de figuras	vii
Lista de tablas	xi
Capítulo 1. Introducción	
1.1 Antecedentes.....	3
1.1.1 Patrones de precipitación en la región de La Paz.....	3
1.1.2 Los ciclones tropicales.....	4
1.2 Relación de los huracanes con algunos forzamientos climáticos...	8
1.2.1 Forzamientos externos del clima.....	8
1.2.1.1 Los ciclos Milankovich.	8
1.2.1.2 Manchas solares	10
1.2.2 Forzamientos internos (algunos índices climáticos).....	10
1.2.2.1 El fenómeno de El Niño - Oscilación Austral (ENOS).....	10
1.2.2.2 Oscilación decadal del Pacífico (PDO).....	11
1.2.2.3 La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).....	12
1.3 Patrones de sedimentación en Cuenca Alfonso y su relación con la variabilidad de la precipitación.....	12
1.4 Objetivos.....	13
1.4.1 Objetivo general.....	13
1.4.2 Objetivos específicos.....	14
1.4.3 Hipótesis.....	14
Capítulo 2. Material y métodos	
2.1 Área de estudio	15
2.2 Marco geológico e hidrográfico.....	16
2.3 Patrones de precipitación.....	18
2.4 Sedimentación en Cuenca Alfonso.....	18
2.5 Obtención de núcleo de sedimento.....	19
2.6 Procedimiento del tratamiento del núcleo.....	21
2.7 Imágenes de rayos X.....	21
2.8 Análisis de escala a grises.....	21
2.9 Fluorescencia de rayo X.....	22
2.10 Dataciones.....	23
2.11 Análisis espectral singular.....	23
2.12 MTM.....	23

2.13 Otros registros paleoclimáticos.....	24
Capítulo 3. Resultados	
3.1 Reconstrucción del núcleo.....	25
3.2 Resultados del análisis del FRX	29
3.3 Cronoestratigrafía del núcleo.....	30
3.4 Análisis espectral singular.....	33
3.5 Análisis espectral MTM.....	36
Capítulo 4. Discusiones	
4.1 Ciclones tropicales como principal aporte de precipitación.....	46
4.2 Silicio como índice de precipitación.....	51
4.3 Variación de la precipitación registrada en sedimentos laminados en Cuenca Alfonso durante el Holoceno medio al tardío.....	52
4.4 Comparación con otros registros.....	56
4.4.1 Análisis de coherencia.....	58
4.4.2 Periodos fundamentales de la serie de silicio en relación con otros proxys.....	64
4.4.3 Análisis Wevelet.....	67
Capítulo 5. Conclusiones.....	61
Literatura citada.....	70

Lista de figuras

- Figura 1. Principales regiones oceánicas que propician la ciclogénesis y recorridos medios de tormentas tropicales, ciclones y huracanes. La región subtropical del Pacífico origina ciclones con trayectorias hacia el nor-noroeste que afecta la región sur de la Península de Baja California.5
- Figura 2. Mapas de la evolución estacional de las temperaturas de la superficie del mar (Tomado de Moshinsky, 2002). La escala de temperaturas a la derecha de la figura.....7
- Figura 3. Ciclos de Milancovich: a) excentricidad de la órbita de ~100,000 años, b) la oblicuidad ~40,000 años y c) precesión de los equinoccios ~21,000 y 23,000 años (Nava, 2012).9
- Figura 4. Mapa de localización y batimetría de Cuenca Alfonso (*Chumiline, 2011*).. 15
- Figura 5. Mapa de cuencas de drenaje de arroyos (Modificado de Chumiline, 2011).
..... 17
- Figura 6. Patrones de precipitación mensual de la Paz registrados en la estación 3074 para el periodo de 1940-2008 obtenidos en <http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/>..... 18
- Figura 8. Mapa de localización de los núcleos, BAP98-25C (40 cm) y BAP98-25K (265 cm).....20
- Figura 9. Correlación de escala a grises de la radiografías de los núcleos; los intervalos con valores bajos en la escala de grises corresponden a sedimentos terrígenos, algunos de ellos son depósitos de turbidita..... 25
- Figura 10. Construcción del núcleo compuesto, a partir de las radiografías de los núcleos BAP9825K (I, II, III, IV, V) y BAP9825 C.26
- Figura 11. Registro compuesto del porcentaje del silicio, destacando en colores las diferentes losas utilizadas en esta reconstrucción.....27
- Figura 12. Datos de porcentaje de silicio en profundidad, los rectángulos en amarillo marcan los niveles turbidíticos identificados en las radiografías.28
- Figura 13. Serie de tiempo del porcentaje de Si en profundidad omitiendo los niveles turbidíticos que estarían ubicados en las franjas amarillas.28
- Figura 14. Gráfico de las abundancias relativas promedio de los elementos identificados por el FRX para los tres niveles de emisión utilizados en los núcleos BAP98-25C y BAP98-25K..... 29
- Figura 15. Serie de tiempo de los elementos con mayor abundancia relativa obtenidos en los análisis de FRX. Observar en la figura los elementos

Ca, Fe y Si son los que aparentemente muestran la mayor concentración relativa.....	30
Figura 16. Identificación de profundidades de las muestras de las que se extrajeron los foraminíferos planctónicos.	31
Figura 17. La tasa de sedimentación obtenida en el modelo de edad es de 0.438mm/año, la que utilizamos para transformar la profundidad a tiempo. Obteniendo la edad más antigua de 4426 años AP para la base del núcleo, con la corrección que mencionamos anteriormente al eliminar los niveles turbidíticos.	32
Figura 18. Series de tiempo del Fe y Si después de convertir la profundidad a tiempo utilizando la tasa de acumulación obtenida en la figura 16.....	33
Figura 19. El primer gráfico representa la serie de tiempo del contenido relativo del Si-FRX al que le hemos restado la tendencia. En los gráficos siguientes se representan los primeros 4 modos principales que resultan del análisis singular espectral.	34
Figura 20. El primer gráfico representa la serie de tiempo del contenido relativo del Fe-FRX al que le hemos restado la tendencia. En los gráficos siguientes se representan los primeros 4 modos principales que resultan del análisis singular espectral. Observar cómo los diferentes modos capturan las diferentes periodicidades de la serie de tiempo.....	35
Figura 21. Porcentaje de varianza que explica los 10 principales modos de variación de las series de tiempo de Si (azul) y Fe (rosa).	36
Figura 22. Espectros de frecuencia MTM de los modos fundamentales identificados de la serie de tiempo del PC1, PC2, PC3, PC4, del Si-FRX, en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos con una significancia mayor a 0.5.....	37
Figura 23. Espectros de frecuencia MTM de los modos fundamentales identificados de la serie de tiempo del PC1, PC2, PC3, PC4, del Hierro, en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5.....	38
Figura 24. Espectros de frecuencia MTM de la serie de tiempo general, del Hierro (rosa) y Silicio (azul) en cuenca Alfonso, en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5.....	41
Figura 25. Espectros de frecuencia MTM de la serie de tiempo de Ti en Cuenca Cariaco (Huag et al, 2001), como índice de la migración latitudinal de la	

- ZCIT, en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5..... 42
- Figura 26. Espectros de frecuencia MTM de la serie de tiempo de la Laguna Pallcacocha (Moy et al., 2002), índice de la variabilidad ENOS en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5. 42
- Figura 27. Espectros de frecuencia MTM de la serie de tiempo de la variación de la ODP, (Mcdonald, 2005) en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5. 43
- Figura 28. Espectros de frecuencia MTM de la serie de tiempo de Si de cuenca Pescadero (Nava, 2012), en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5. 43
- Figura 29. Espectros de frecuencia MTM de la serie de tiempo de la variabilidad solar (Solanki et. al, 2004), en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5. 44
- Figura 31. Mapa de trayectorias de ciclones tropicales de diferentes categorías (ET perturbación tropical, TD depresión tropical, TS tormenta tropical y H1 -H5 categoría huracán 1-5), que se han presentado en un radio de 80 km alrededor de La Paz, desde 1949 de la base de datos en <https://coast.noaa.gov/hurricanes/?redirect=301ocm> 48
- Figura 32. La variabilidad de la precipitación registrada en la estación número 2507, donde cada símbolo de huracán (rojo) representa un huracán registrado presentado en determinado año, observando que 23 de 37 de estos están sobre la línea del promedio anual de la precipitación para La Paz..... 50
- Figura 33.Registro de Si cuenca Alfonso, marcando episodios con menores concentraciones de Si (contrastes grises), muy probablemente por una menor incidencia de tormentas, mientras que los puntos en amarillo representan las turbiditas que han sido identificadas en el registro, posiblemente asociados a una mayor incidencia de tormentas en la región. 53
- Figura 34. Comparación de Silicio y Calcio del registro de Cuenca Alfonso. 54

Figura 35. Gráfica de los registros de la variabilidad de precipitación Cuenca Alfonso (este trabajo), variabilidad de la precipitación en Cuenca Pescadero (Nava, 2012); precipitación en Cariaco (Haug et al., 2001); número de manchas solares (Solanki et al., 2004), variabilidad de ENOS en Laguna Pallcacocha (Moy et al., 2002; variación de ODP (Mcdonald et al., 2005).....	56
Figura 36. Mapa de ubicaciones de los los registros de variabilidad de la precipitación en Cuenca Alfonso (este trabajo), en Cuenca Pescadero (Nava, 2012); precipitación en Cariaco (Haug et al. 2001); variabilidad de ENOS en Laguna Pallcacocha. (Moy et al. 2002; variación de ODP en San Gorgonio, California (Mcdonald et al., 2005).	57
Figura 37. Espectro de frecuencia del resultado de análisis de coherencia modo espectral cruzado de los registros cuenca Alfonso y Cariaco (<i>Haug et al., 2002</i>).	58
Figura 38. Espectro de frecuencia del resultado de análisis de coherencia modo espectral cruzado de los registros cuenca Alfonso y Pallcacocha. (<i>Moy et al., 2002</i>).....	59
Figura 39. Espectro de frecuencia del resultado de análisis de coherencia modo espectral cruzado de los registros cuenca Alfonso y la variación de ODP en San Gorgonio, California (<i>Mcdonald et al., 2005</i>).....	60
Figura 40. Espectro de frecuencia del resultado de análisis de coherencia modo espectral cruzado de los registros cuenca Alfonso y Cuenca Pescadero (<i>Nava, 2012</i>).....	61
Figura 41. Espectro de frecuencia del resultado de análisis de coherencia modo espectral cruzado de los registros cuenca Alfonso y las manchas solares (Solanki et al., 2004).....	62
Figura 42. Serie de los periodos de 250 años con líneas amarillas se indican los niveles turbidíticos reducidos en el núcleo de la cuenca Alfonso.	64
Figura 43. Comparación del PC4 de periodos de 166 años resultado del análisis espectral singular de Cuenca Alfonso y las manchas solares SN (Solanki et al., 2004).....	65
Figura 44. Comparación de registros de Cuenca Alfonso y reconstrucción ODP.	66
Figura 45. Análisis de Wavelet de la serie de tiempo de Si de Cuenca Alfonso.....	68

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Categorías de ciclones tropicales con escalas según Saffir-Simpson.....	5
2	Ubicación de los núcleos de sedimento de la Cuenca Alfonso, en Bahía de la Paz.....	20
3	Dataciones realizadas en el núcleo, identificadas en profundidad, edades radiocarbono y conversión de años antes del presente (donde 1950 es el presente).....	31
4	Las frecuencias y periodos que se obtuvieron de los primeros cuatro modos principales de Si y Fe del análisis espectral singular.....	40
5	Comparación de periodos compartidos del resultado del análisis MTM realizado en la series generales de los diferentes registros.....	45
6	Ciclones tropicales que se han presentado en el periodo de 1949-2013...	49
7	Periodos que son significativos y coherentes.....	63

Capítulo 1. Introducción

La región de La Paz, B.C.S., se caracteriza por su precipitación pluvial escasa con un promedio anual de 120mm. Las lluvias más frecuentes ocurren en el verano, con algunas precipitaciones aisladas durante el invierno y otoño. Están prácticamente ausentes en primavera. Los meses con mayor precipitación, asociada al arribo de ciclones tropicales, son agosto y septiembre (Rodríguez Castañeda, 2007).

El interés del estudio es conocer los factores climáticos que modulan la precipitación en el extremo sur de la península de Baja California entre los que se encuentra el arribo de los ciclones tropicales como un factor importante. La zona de estudio corresponde a la región límite suroccidental del monzón mexicano. En cuanto a la variación interanual, esta puede variar en función de la intensidad de los eventos y procesos mencionados.

Por su importancia para los ecosistemas, para la recarga de acuíferos, la agricultura, los asentamientos humanos y el turismo, el estudio de la precipitación y sus controles tiene gran trascendencia social.

El registro instrumental, por su corta duración, limita el estudio del comportamiento y de los controles de la precipitación. En general, es solo a partir del siglo XIX cuando algunos países inician sus servicios meteorológicos con la idea de generar registros del clima que les permitan entender y predecir el mismo. En México se inician las labores del Servicio Meteorológico Nacional a partir de 1969 con la adquisición de nuevos equipos para obtener las fotografías de las nubes y las trayectorias e intensidades de huracanes, así como la formación de depresiones y tormentas tropicales en el Pacífico (CONAGUA, 2012). Solo hasta 1980 se extendió la red meteorológica a todo el territorio nacional, alcanzando 3000 estaciones (Nava, 2012). Debido a esto, los registros meteorológicos de nuestro país son relativamente cortos, lo que constituye un impedimento para el estudio de la variabilidad de la precipitación en escalas multidecadales, centenarias y milenarias.

Los registros paleoclimáticos proporcionan información del pasado para poder entender la variable importancia que han tenido los procesos que observamos en el presente y a

lo largo del tiempo, así como a explorar otras posibles relaciones de retroalimentación no observables en el corto período de tiempo del registro instrumental.

Los archivos geológicos se convierten de esta forma en una importante fuente de información climática. Entre los archivos paleoclimáticos están las bandas de crecimiento de las estalagmitas, los anillos de árboles, núcleos de hielo, sedimentos lacustres y marinos de alta resolución. Estos se utilizan para reconstruir la temperatura, la variabilidad de la precipitación, la circulación oceánica y atmosférica en el pasado y se contrastan con las salidas de los modelos computacionales del clima para evaluar el realismo de estos modelos bajo diferentes forzamientos.

En este trabajo utilizamos un registro de sedimentos marinos para reconstruir la variabilidad de la precipitación del área de estudio, que se ve reflejada en el aporte de sedimentos terrígenos provenientes del continente hacia el fondo de la Cuenca Alfonso, situada en el sur de la península de Baja California, zona que se ubica en la franja de convergencia del sistema sub-tropical al sur y el sistema templado de la corriente de California, donde el clima desértico en la región de la Paz es característico por la escasez de lluvias.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Patrones de precipitación en la región de La Paz

La región de La Paz, B.C.S., se caracteriza por su precipitación pluvial escasa con un promedio anual de 120mm. Las lluvias más frecuentes ocurren en el verano, con algunas precipitaciones aisladas durante el invierno y otoño. Están prácticamente ausentes en primavera. Los meses con mayor precipitación, asociada al arribo de ciclones tropicales, son agosto y septiembre (Rodríguez Castañeda, 2007). Este es un factor que contribuye a cambiar el paisaje estival de la península desde los 30°N hasta los Cabos (23°N). Siendo esta región de la península de Baja California el área preferente para la entrada de huracanes durante el período estival (Danemann y Ezcurra, 2007).

1.1.2 Los ciclones tropicales

Un ciclón tropical es un vórtice con una gran masa de aire cálido y húmedo con fuertes vientos que giran alrededor de una zona de baja presión. Se originan sobre el mar entre las latitudes 5° a 15° de los hemisferios norte y sur, en la época en que la temperatura del agua es mayor o igual a 26.5° C. En el hemisferio norte los ciclones giran en el sentido contrario a las manecillas del reloj. Los ciclones tropicales tienen un área casi circular mostrando las presiones más bajas en el centro, transportan gran cantidad de humedad y frecuentemente se trasladan con velocidades de 10 a 40 km/h.

En general, el origen de estos ciclones se asocia a condiciones particulares en la superficie del mar, que controlan a su vez su desarrollo y persistencia. Las más importantes son: (i) Las variables termodinámicas involucran una temperatura superficial del mar de 26.5°C hasta al menos los 50 metros de profundidad; (ii) la presencia de inestabilidad convectiva y humedad relativa $\geq 40\%$ en los niveles bajos de la atmósfera (800-700mb) (e.g., Palmén, 1948; Gray, 1968). Las condiciones dinámicas que favorecen a estos fenómenos son el efecto de la vorticidad planetaria (a distancias de 500 km del ecuador), la presencia de un sistema de baja presión con vorticidad positiva a 925mb y un corte vertical del viento zonal débil ($CV < 8\text{m/s}/650\text{mb}$) entre 800 y 200mb (Gray, 1979).

Los ciclones tropicales que arriban al sur de la península de Baja California tienen diferentes categorías en la escala Saffir-Simpson (Tabla 1), tienen su origen en la región del Pacífico tropical oriental una de las principales regiones para la formación de ciclones (Figura 1), donde a finales de verano el calentamiento de la alberca de agua cálida del Pacífico tropical oriental y su extensión hasta el golfo de California propicia las condiciones dinámicas y termodinámicas necesarias para la generación y transporte hacia el golfo de California de los ciclones tropicales (Figura 2).

Tabla 1. Categorías de ciclones tropicales con escalas según Saffir-Simpson

Categoría	Presión central (mb)	Vientos (Km/h)
Perturbación tropical	1008.1 a 1010	
Depresión tropical	1004.1 a 1008	< 62
Tormenta tropical	985.1 a 1004	62.1 a 118
Huracán categoría 1	980.1 a 985	118.1 a 154
Huracán categoría 2	965.1 a 980	154.1 a 178
Huracán categoría 3	945.1 a 965	178.1 a 210
Huracán categoría 4	920.1 a 945	210.1 a 250
Huracán categoría 5	< 920	> 250

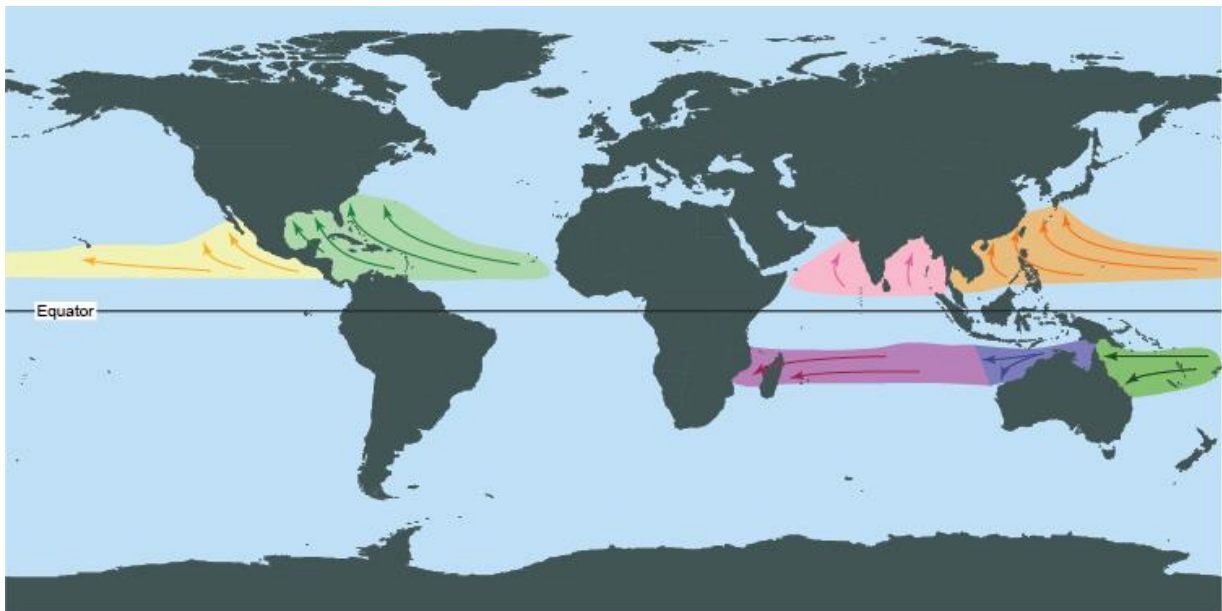


Figura 1. Principales regiones oceánicas que propician la ciclogénesis y recorridos medios de tormentas tropicales, ciclones y huracanes. La región subtropical del Pacífico origina ciclones con trayectorias hacia el nor-noroeste que afecta la región sur de la Península de Baja California.

En la evolución de la temperatura de la superficie del mar a lo largo del año (Figura 2), se puede apreciar que una lente de agua cálida tiene su menor extensión en el hemisferio norte sobre los océanos Atlántico y Pacífico durante los meses de invierno. También se aprecia que esta masa de agua cálida aumenta su extensión hasta alcanzar su máximo a finales de verano en septiembre, para comenzar a contraerse durante el otoño. Se observa como esta extensión de la alberca de agua cálida se extiende hasta el Golfo de California entre los meses de julio a noviembre, en claro contraste con la costa del Pacífico de la península de Baja California, que no presenta temperaturas que permiten sustentar ciclones tropicales. Esto es debido a la advección de las aguas relativamente más frías de la Corriente de California. Es interesante mencionar aquí que la temporada de ciclones tropicales comienza a partir de mediados de mayo en el océano Pacífico mientras que en el Atlántico comienza hasta los primeros días de junio. El final de la temporada ocurre al mismo tiempo, a finales de noviembre, en ambos océanos. Esta temporada de ciclogénesis está relacionada con la mayor extensión de las altas temperaturas de la superficie del mar y cuando estas temperaturas alcanzan su mayor profundidad en la capa de mezcla superficial.

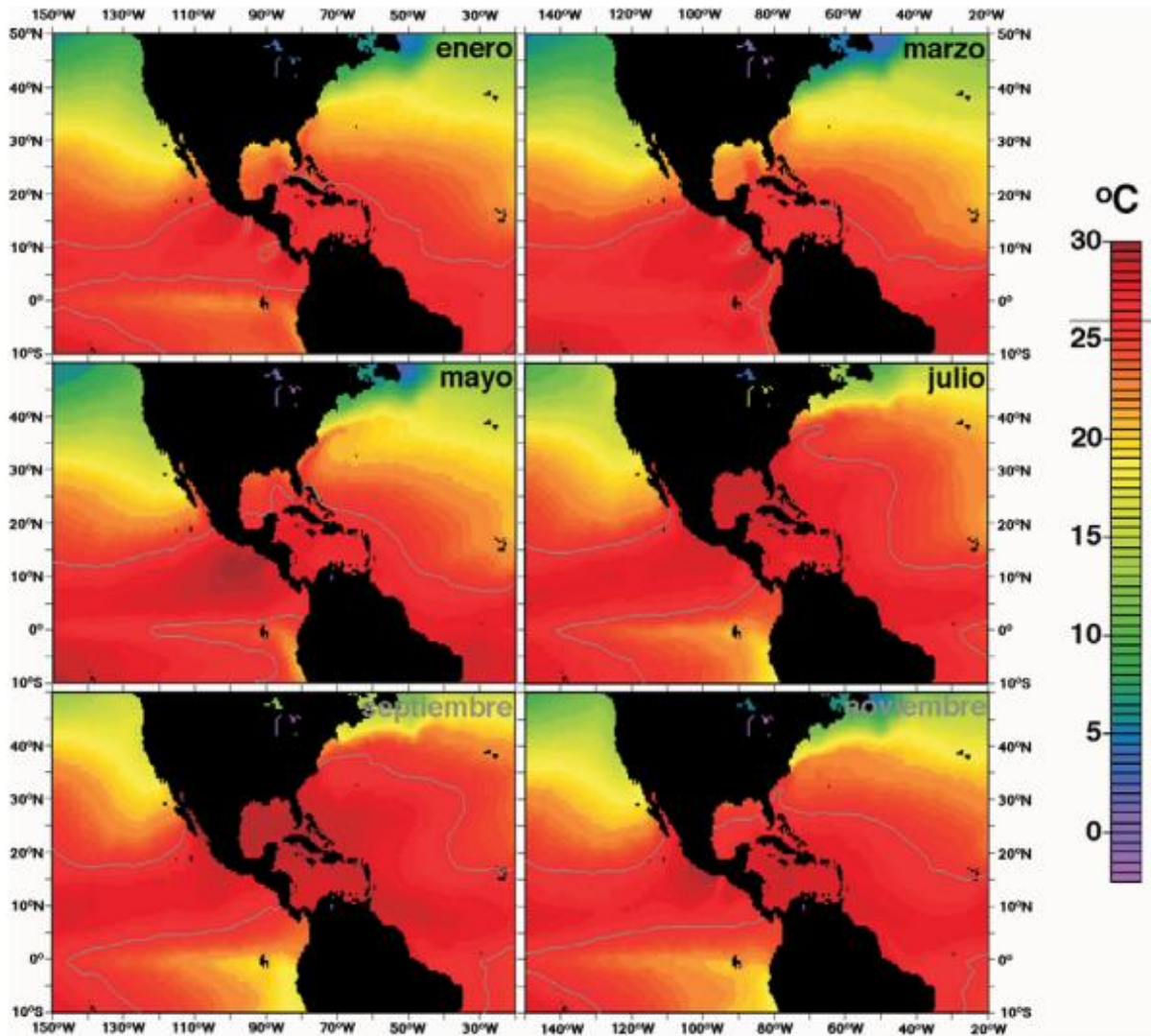


Figura 2. Mapas de la evolución estacional de las temperaturas de la superficie del mar (Tomado de Moshinsky, 2002). La escala de temperaturas a la derecha de la figura.

Cerca del 40% de todos los ciclones tropicales que se forman en el Pacífico tropical oriental afectan las costas occidentales de México y el sur de Baja California (Jáuregui, 2003). El impacto de estos fenómenos puede ser devastador para algunas regiones debido a generación de lluvias intensas, vientos fuertes, oleaje e inundación costera por marea de tormenta. Sin embargo, los ciclones tropicales son una fuente importante de agua para toda esta zona, favoreciendo el llenado de presas, y lluvias remanentes que permiten la agricultura temporal en esta región de clima desértico y semiárido (Cavazos et al., 2008).

1.2 Relación de los huracanes con algunos forzamientos climáticos.

Consideramos dos tipos de forzamiento: los externos son forzamientos independientes del clima de la Tierra y los internos que son forzamientos con relaciones de retroalimentación controladas por el sistema climático.

1.2.1 Forzamientos externos del clima.

1.2.1.1 Los ciclos Milankovich.

La variabilidad de los parámetros orbitales de la Tierra en su recorrido alrededor del sol controla la cantidad de radiación solar que recibe el planeta estacionalmente a escalas de decenas a centenas de miles de años. La excentricidad, la oblicuidad y la precesión de los equinoccios son los parámetros orbitales más importantes.

La excentricidad de la órbita de la Tierra tiene una periodicidad de ~100,000 años, resultante de la fuerza gravitacional que ejercen otros planetas. La variabilidad de este parámetro es debida a que la órbita del planeta alrededor del sol no es un círculo perfecto, sino una forma elíptica variable. Cuando esta elipse es más elongada, el planeta recibe una menor radiación durante el período de mayor alejamiento del sol; cuanto más circular sea esta órbita el planeta recibe la misma cantidad de radiación a lo largo del año.

La oblicuidad es el cambio en la inclinación del eje de rotación de la Tierra, que puede variar entre 22.5° a 24.5° , y controla la estacionalidad de las altas latitudes. A mayor inclinación, las altas latitudes de ambos hemisferios reciben una mayor radiación solar. Este parámetro tiene una ciclicidad cercana a los 40,000 años (Ruddiman, 2008). La amplitud de esta inclinación es de 2° con respecto al plano de la eclíptica.

El tercer parámetro orbital es la precesión de los equinoccios, que es producida por el momento de fuerza ejercido por el sistema Tierra-Sol sobre la inclinación del eje de rotación terrestre (23.5°) con respecto al Sol. La posición del planeta en la órbita elíptica

alrededor del Sol se va retrasando, y al variar la posición y distancia del planeta con respecto al sol, varía la radiación solar que reciben los hemisferios durante los equinoccios. Tiene periodos entre 21,000 y 23,000 años.

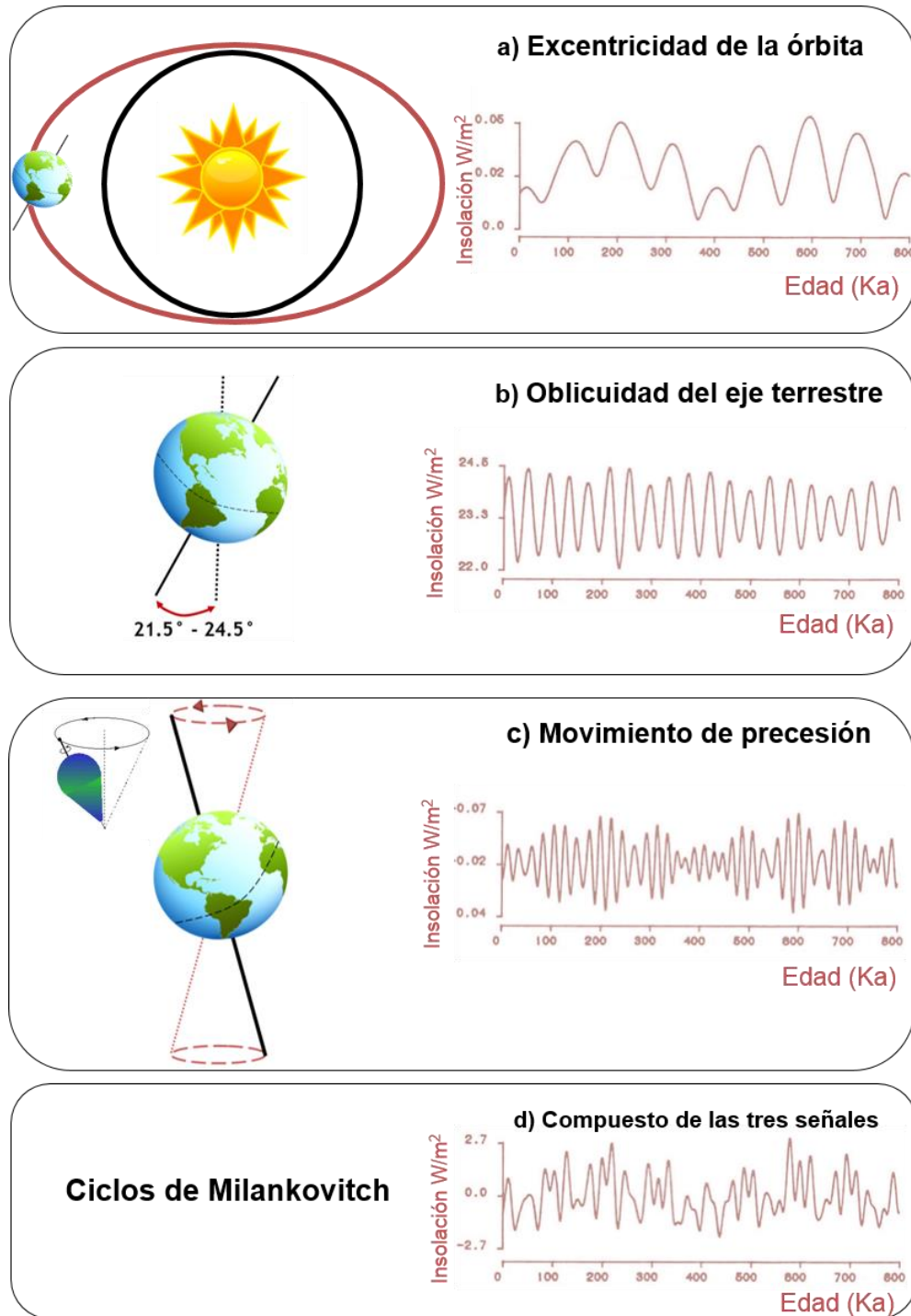


Figura 3. Ciclos de Milankovitch: a) excentricidad de la órbita de ~100,000 años, b) la oblicuidad ~40,000 años y c) precesión de los equinoccios ~21,000 y 23,000 años (Nava, 2012).

1.2.1.2 Manchas solares

Las manchas solares son causadas por disturbios en el campo magnético del Sol que emana hacia la fotosfera, la parte visible de la "superficie". Los potentes campos magnéticos cerca de las manchas solares producen regiones activas en el Sol, las cuales frecuentemente generan destellos solares y eyecciones de masa coronal conocidas como "tormentas solares". En estos eventos son marcados algunos ciclos como el ciclo de Gleissberg con secuencia de máximos relacionados con ciclos de 166 años, de 80 a 90 años que modula las amplitudes del ciclo de 11 años (Guerrero, 2009).

Se ha reportado una relación entre el aumento de manchas solares y los huracanes y en los últimos ciento veinticinco años ha habido dos máximos de huracanes, de los cuales diez corresponden a periodos de máximos en las manchas solares (Vicuña, 2007).

1.2.2 Forzamientos internos y algunos índices climáticos

1.2.2.1 El fenómeno de El Niño – Oscilación del Sur (ENOS)

El fenómeno de El Niño - Oscilación del Sur (ENOS) es un patrón climático en el sistema océano- atmósfera caracterizado por un cambio en la circulación zonal de la celda Walker a lo largo del ecuador y en la circulación meridional de la celda Hadley en la región tropical del Océano Pacífico. Se manifiesta por importantes cambios en la temperatura de la superficie del mar en la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial y tropical. Este fenómeno tiene periodos variables de recurrencia entre 3 y 7 años.

Martínez Sánchez (2011) ha estudiado la variabilidad de los huracanes para el período comprendido entre 1970 al 2010 en las diferentes fases en este fenómeno. En su trabajo distingue entre la fase cálida (*El Niño*), fría (*La Niña*) y una fase neutral, observando una mayor frecuencia de huracanes de todas las categorías durante la fase neutral y en segundo lugar la fase *El Niño*, así como trayectorias más extensas y una mayor duración para los huracanes de categoría 1 y 5 en eventos *El Niño*. Durante los eventos de *La Niña* observa una menor frecuencia de huracanes intensos (Martínez Sánchez, 2011).

Ivanova y Gámez (2013), reportan que el número de ciclones de alta intensidad durante los eventos de *El Niño* es significativamente mayor al número de ciclones de alta intensidad durante los años La Niña. La energía acumulada es significativamente mayor durante los años *El Niño* en comparación con los años *Neutros*, y no encuentra diferencia con los años La Niña.

1.2.2.2 Oscilación decadal del Pacífico (PDO)

La PDO es una oscilación climática a escalas interdecadales que en sus fases positivas muestra un patrón espacial característicos en las anomalías de las temperaturas de la superficie del mar (TSM) relativamente más negativas en las altas latitudes del Pacífico, mientras que la Corriente de California y el resto del Pacífico extratropical muestran anomalías positivas; en contraste durante las fases negativas las temperaturas de la superficie del mar son anómalamente positivas en las altas latitudes del Pacífico Norte mientras que la Corriente de California y el resto del Pacífico extratropical muestran anomalías negativas. El patrón espacial de estas anomalías es muy similar a las observadas durante años El Niño y La Niña, sin embargo, el período típico de esta variabilidad es interdecadal, en contraste con el interanual típico del fenómeno del ENOS.

El análisis de la relación entre el PDO y la actividad ciclónica del Pacífico Noreste muestra que durante las fases negativas del PDO la latitud media de la región de formación de los ciclones sube en relación a la latitud media de las fases positivas, es decir, durante las fases negativas del PDO los ciclones suelen formarse más al norte que durante las fases positivas.

Las diferencias en las trayectorias durante las fases negativas y positivas del PDO indican que los ciclones durante las fases cálidas suelen presentar trayectorias más largas, aún cuando entran por el continente. La distancia promedio que recorren los ciclones durante las fases frías es de 2486 km, mientras que durante las fases cálidas es de 2823 km, siendo estas significativamente diferentes (Ivanova y Gámez, 2013).

El número promedio anual de ciclones de baja intensidad es mayor durante las fases negativas del PDO, mientras que el promedio anual de ciclones de alta intensidad es mayor durante las fases positivas (Ivanova y Gámez, 2013).

1.2.2.3 La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)

La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se encuentra en la vaguada ecuatorial, donde convergen los vientos alisios cargados de calor y humedad, que producen una baja presión permanente que propicia la formación de convección que puede alcanzar hasta la estratósfera. Esto propicia su alta nubosidad y consecuentemente, la gran precipitación en esta región. El calor latente que se libera en la ZCIT por la condensación de vapor de agua es fundamental para la circulación atmosférica, mientras que la alta nubosidad de esta región contribuye de una forma muy importante al albedo planetario.

El sur de la península de Baja California está localizada sobre el trópico de Cáncer y es sensible a los fenómenos meteorológicos que se originan en la ZCIT. Sin embargo, esta región tiene características de un clima árido, exceptuando las porciones más elevadas de la Sierra de la Laguna, donde hay una mayor interacción entre la cadena montañosa y los ciclones tropicales y definen una zona meteorológica más húmeda (Salinas, 1998).

1.3 Patrones de sedimentación en Cuenca Alfonso y su relación con la variabilidad de la precipitación.

La composición de material particulado en el mar es el resultado de la interacción de varias fuentes, terrígenas tanto fluviales como eólicas, biogénicas marinas y autígenas. Estas diferentes fuentes implican distintos procesos responsables de su formación, que pueden ser físicos, químicos y biológicos en la columna del agua (Nameroff, 1996; Chester, 2003).

El aporte de los sedimentos terrígenos está controlada principalmente por el clima, que define tanto la tasa e intensidad del intemperismo, como las descargas fluviales y el transporte de sedimentos en los sistemas de drenaje, así como la distancia hasta la cuenca de depositación y el aporte eólico (Duce y Tindale, 1991; Jickells et al., 1998, 2005; Kremling y Streu, 1993; Prospero, 1999; Trapp et al., 2010).

El aporte de los terrígenos aumenta considerablemente durante las precipitaciones torrenciales, huracanes y tormentas de polvo en zonas desérticas. En cambio, los sedimentos biogénicos marinos están controlados por la tasa de productividad biológica en la zona fótica del océano. La fotosíntesis en la zona fótica y su pastoreo por el zoopláncton controlan la formación de partículas biogénicas marinas calcáreas y silíceas, con una mayor abundancia de fitopláncton (diatomeas y coccolitofóridos) sobre el zooplancton (radiolarios y foraminíferos) (Kennett, 1982).

La producción de partículas biogénicas en estas aguas, su transferencia por la columna de agua y la sedimentación de sedimentos terrígenos y biogénicos en el fondo de la Cuenca Alfonso se preservan como sedimentos laminados debido a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto ($0 < 0.1$ ml/l) en el agua a profundidades por debajo de los 150 m (Pérez Cruz, 2013). Condición que permite la formación de los sedimentos laminados, y la formación de un archivo geológico que permite estudios paleoceanográficos de alta resolución (Bernal, Franco 2002; Pérez Cruz, 2006; Douglas et al., 2007).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Reconstruir la variabilidad climática de la precipitación para los últimos 4500 años, con base en la acumulación de sedimentos terrígenos en la Cuenca Alfonso, situada al norte de la Bahía de la Paz, Baja California Sur. Se analizaron registros de la composición elemental de sedimentos en núcleos someros. Específicamente se utilizó de la

variabilidad de Si y Fe determinados por fluorescencia de rayos X (FRX) como proxies de sedimentación terrígena.

1.4.2 Objetivos específicos

- Obtener los registros de la composición elemental mediante análisis de fluorescencia de rayos X en los dos núcleos, uno de caja BAP98-25C de 40 cm de longitud y otro Kasten BAP9825 K de 265 cm, extraídos en la Cuenca Alfonso, BCS.
- Elaborar la cronología de los núcleos, basada en dataciones de AMS¹⁴C en foraminíferos planctónicos.
- Analizar las series de tiempo de componentes elementales de Si y Fe con información sobre la sedimentación de terrígenos y establecer sus periodos estadísticamente significativos.
- Explorar las posibles relaciones con otros registros de alta resolución en la región oriental del Golfo de California durante este período.
- Explorar las posibles relaciones con otros índices paleoclimáticos de alta resolución para explorar la naturaleza del forzamiento climático de la precipitación en la región suroccidental del Golfo de California.

1.4.3 Hipótesis

El aporte de terrígenos a la Cuenca Alfonso está controlado por procesos que modulan la variabilidad de la precipitación asociada a los ciclones tropicales que arriban al sur de la península de Baja California.

Capítulo 2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

La Cuenca Alfonso está situada al sureste de la península de Baja California (Figura 4, forma parte de una depresión tectónica en la región norte de la Bahía de La Paz (Nava-Sánchez et al., 2001). Tiene una profundidad máxima aproximada de 440 m.

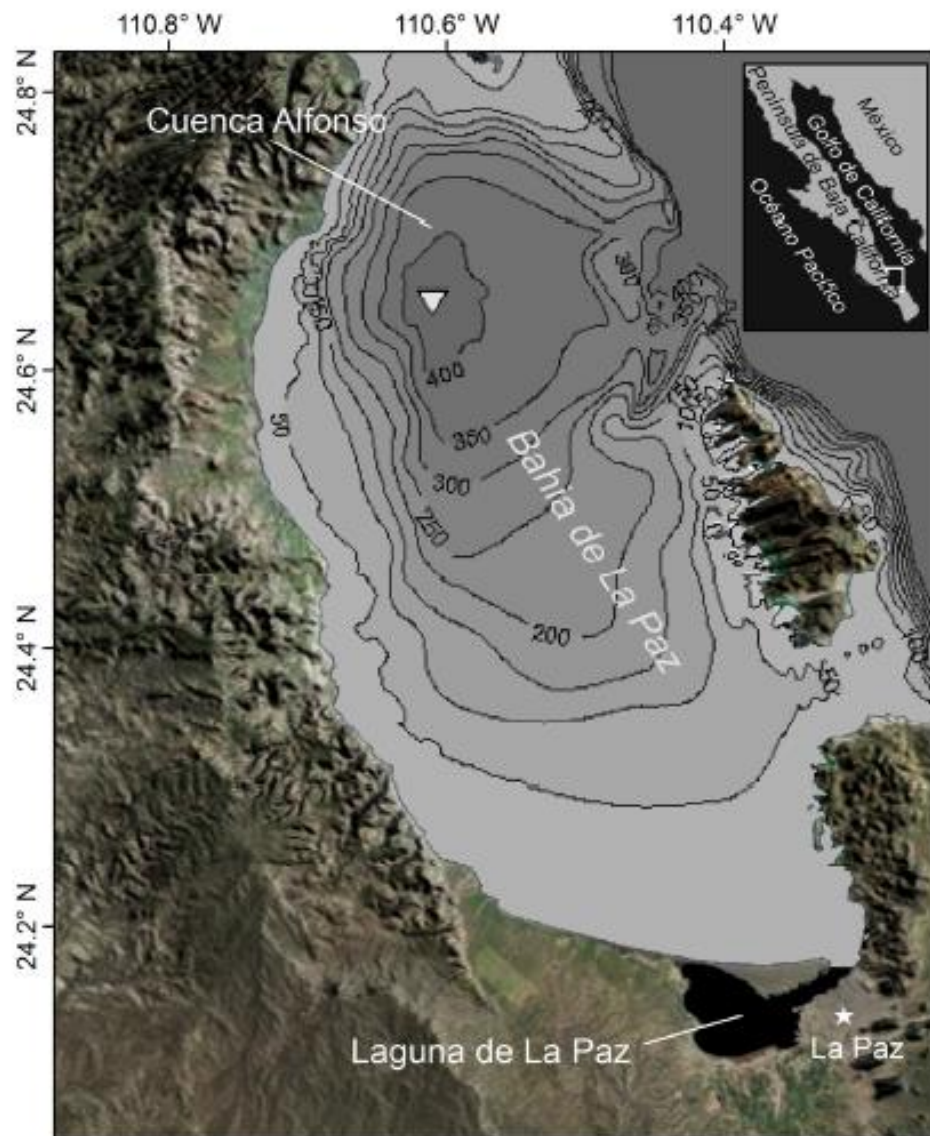


Figura 4. Mapa de localización y batimetría de Cuenca Alfonso (Chumiline, 2011).

2.2 Marco geológico e hidrográfico.

La Bahía de La Paz está rodeada por las subprovincias geológicas de la Faja Volcánica de La Giganta y el Complejo Plutónico de La Paz (Ortega-Gutiérrez et al., 1991), la primera tiene rocas de origen sedimentario, la segunda está compuesta principalmente por rocas intrusivas (Hausback, 1984; Aranda- Gómez y Pérez-Venzor, 1988; Fischer et al., 1995; CRM, 1999; Drake, 2005; Alvarado Gastelum, 2007; Cota Castro, 2011).

La región estudiada y sus alrededores presentan una serie de formaciones geológicas de diferentes ambientes de depósito y edades. El basamento comprende rocas graníticas, tonalíticas y metamórficas, descritas como el Complejo Cristalino de La Paz y que afloran al sureste de la Bahía de La Paz (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, 1998).

Las cuencas de drenaje circundantes en la zona de estudio son los arroyos: las Tarabillas, la Tinaja, San Pedro, el Cajoncito, las Cruces y el Coyote, que encauzan corrientes intermitentes y altamente estacionales, los dos primeros (Tarabillas y Tinajas) son los principales arroyos que aportan sedimentos derivados de rocas volcánicas y sedimentarias, pero son de corta extensión (Figura 5). El principal mecanismo de aporte de material terrígeno a la Cuenca Alfonso son las lluvias esporádicas en ocasiones torrenciales ocasionadas por el paso de ciclones tropicales a finales del verano. (Bernal, 2002; Chumiline, 2011).

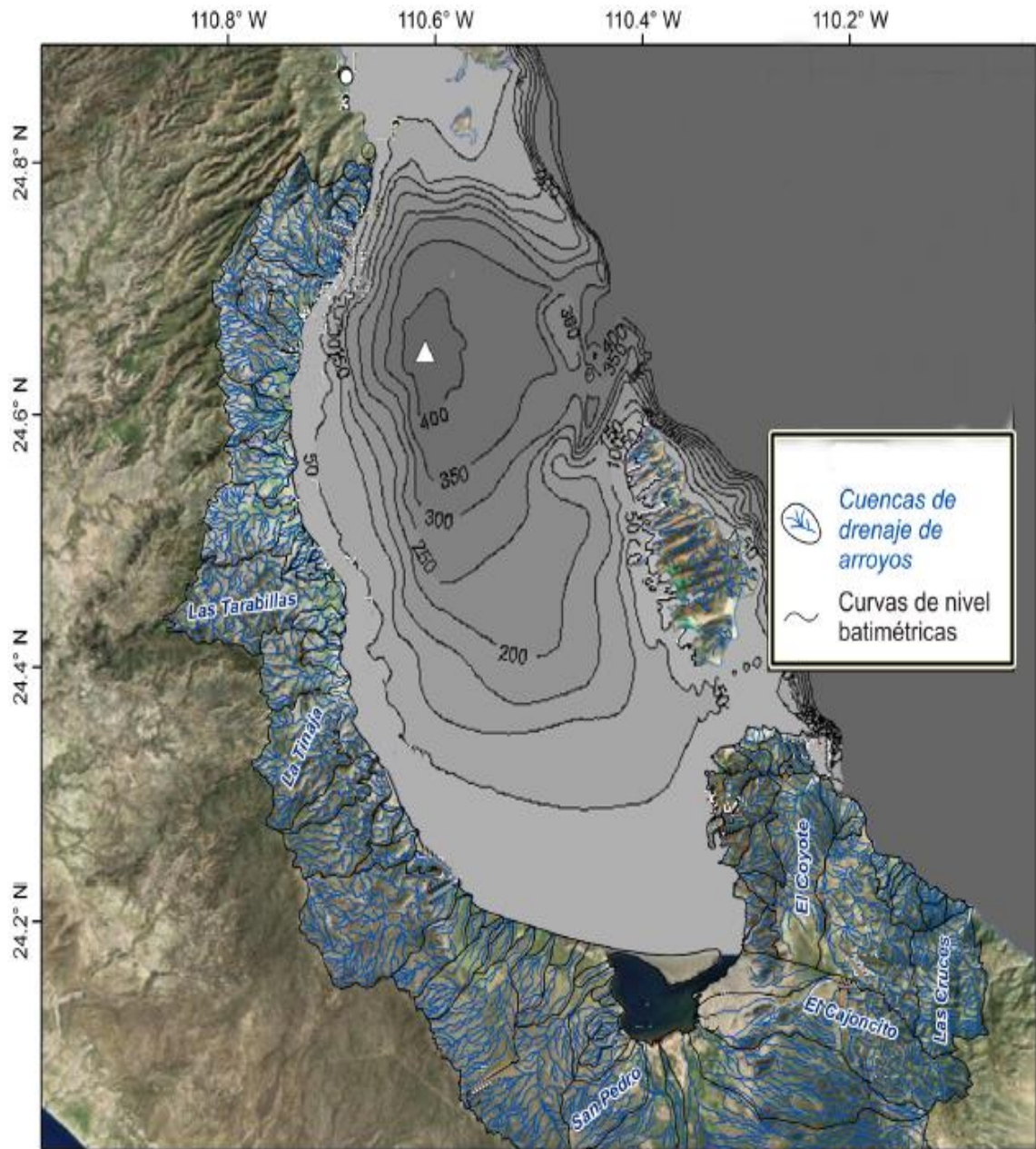


Figura 5. Mapa de cuencas de drenaje de arroyos (Modificado de Chumiline, 2011).

2.3 Patrones de precipitación

Los meses con mayor precipitación son septiembre y agosto (Figura 6), asociadas al arribo de ciclones tropicales (Aguirre Bahena, 2007).

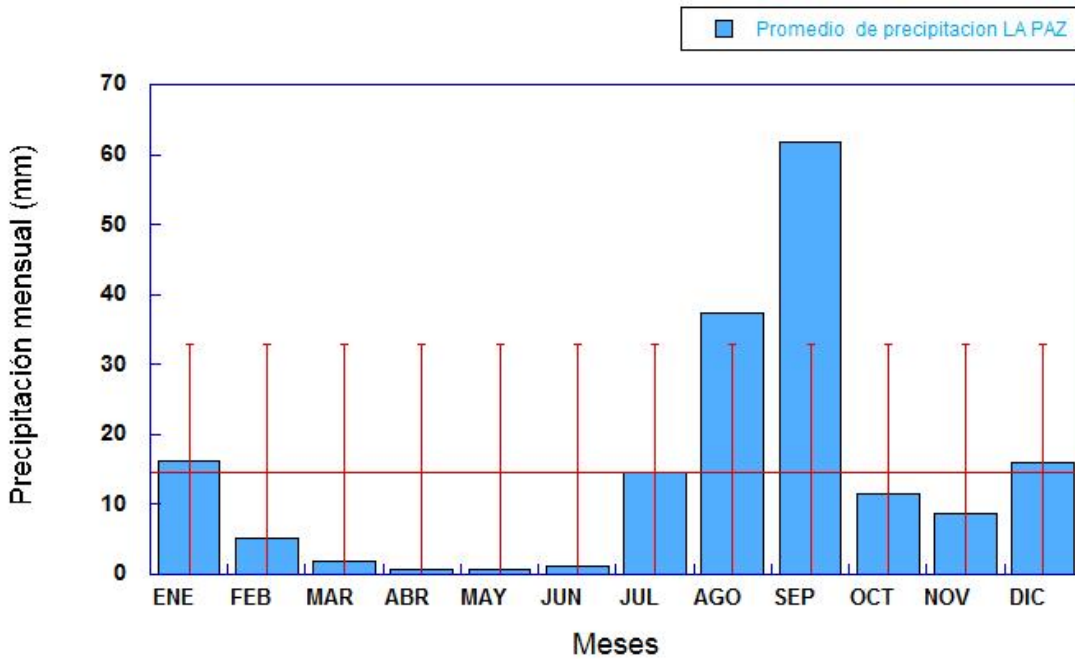


Figura 6. Patrones de precipitación mensual de la Paz registrados en la estación 3074 para el periodo de 1940-2008 obtenidos en <http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/>.

2.4 Sedimentación en Cuenca Alfonso

Los componentes sedimentarios principales son bien de origen biogénico, materia orgánica, carbonatos y ópalo biogénico, o litogénico limos y arcillas de origen continental (Figura 7). Los sedimentos litogénicos son transportados por los afluentes y arroyos generados por la precipitación estacional, básicamente compuestos por limos y arcillas, que al llegar al litoral costero forman importantes plumas de material en suspensión que fácilmente pueden llegar hasta la zona más profunda de la cuenca. La actividad biológica, empaca estas partículas terrígenas en pellets al fondo donde finalmente se depositan (Figura 7). Estos limos y arcillas, son fundamentalmente compuestos por aluminosilicatos y explican el alto contenido relativo de Silicio (Si) y Aluminio (Al) en estos sedimentos su

composición en términos de silicatos fundamentan el uso que vamos a hacer de ellos para relacionar su contenido con los índices de precipitación y que más adelante utilizaremos para derivar la variabilidad de la precipitación regional en el pasado.



Figura 7. Esquema de sedimentación (modificada Pérez Cruz y Urrutia Fucugauchi, 2009).

2.5 Obtención de núcleos de sedimento

Los núcleos se obtuvieron durante la campaña BAP98 a bordo del Buque Oceanográfico *El Puma* durante el verano de 1998 (figura 8). En esta campaña oceanográfica se extrajo el núcleo de caja BAP98-25C de 40 cm de longitud, y el núcleo de Kasten BAP98-25K de 265 cm de longitud (Tabla 2). Los núcleos Kasten permiten perforar hasta una profundidad de 3 m en el sedimento, los de caja tienen una menor penetración, pero tienen la ventaja de obtener intactos los primeros centímetros de la interfaz agua-sedimento.

Tabla 2. Ubicación de los núcleos de sedimento de la cuenca Alfonso, en Bahía de la Paz.

Núcleos	Nucleador	Longitud (cm)	Latitud	Longitud	Profundidad (m)
BAP98-25K	Kasten	265	24°38'968N	110°37.551W	420
BAP98-25C	Caja	40	24°38'968N	110°37.551W	420

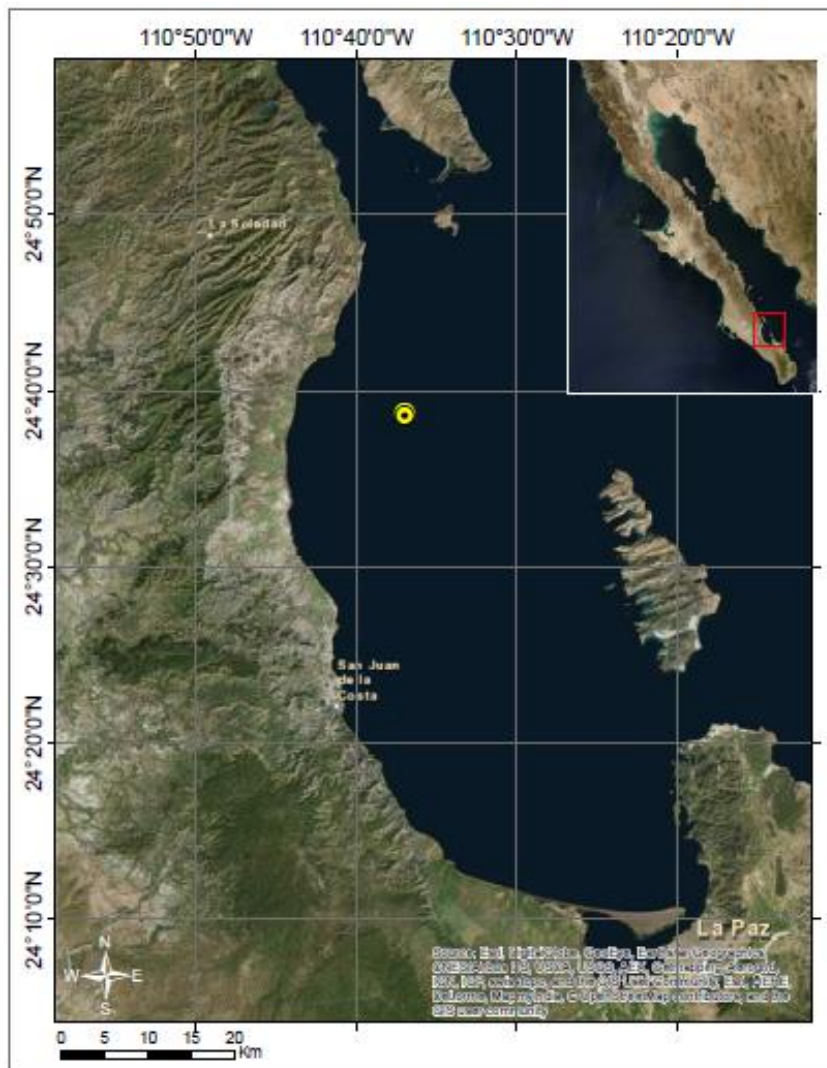


Figura 8. Mapa de localización de los núcleos, BAP98-25C (40 cm) y BAP98-25K (265 cm).

2.6 Procedimiento del tratamiento de núcleos

Se cortaron los núcleos de sedimento a lo largo del eje de profundidad en losas aproximadamente de 1.5 cm de grosor y de 45 cm de longitud. Algunas de estas losas se utilizaron para radiografías de rayos X con el objetivo de identificar la naturaleza y continuidad de las laminaciones en profundidad de los núcleos, al tiempo que sirvieron como guía para el muestreo continuo para los análisis geoquímicos discretos. Estas mismas losas se utilizaron más tarde para los análisis continuos de fluorescencia de rayos X.

2.7 Imágenes de rayos X

Para cada losa de los núcleos se obtuvieron radiografías, las que posteriormente se positivaron en escala 1/1 en papel fotográfico con la finalidad de establecer la estructura laminada de los núcleos y establecer la plantilla para el corte de las muestras discretas y continuas para análisis elementales e isotópicos. Estas imágenes a su vez nos sirvieron para establecer las correlaciones estratigráficas con los núcleos obtenidos en la cuenca.

2.8 Análisis de escala a grises

Los positivos de las radiografías se digitalizaron y se analizaron con el programa de procesamiento de imágenes *ImageJ 1.48v* para establecer la escala de grises. La escala se obtiene trazando una línea digital de ~1mm de ancho, a lo largo del eje vertical de las losas, de esta forma el programa convierte las tonalidades grises de las radiografías a valores entre 0 a 216 por pixeles que más tarde se convirtieron a profundidad en mm. Una menor penetración de los rayos X en los sedimentos produce las tonalidades más negras y los valores de los pixeles se aproximan al cero, consecuentemente las láminas oscuras corresponden a los sedimentos de mayor densidad, generalmente materiales litogénicos muy finos, correspondientes a la fracción limo-arcilla. En el extremo opuesto,

la mayor penetración de los rayos X en sedimentos se produce en sedimentos más porosos y de menor densidad, como son los sedimentos de origen biogénico debido al mayor tamaño de estas partículas, que en los positivos de las radiografías aparecen como láminas claras, que en la escala de grises se convierten en valores cercanos a 200.

2.9 Fluorescencia de Rayos X

Estas mismas losas se analizaron posteriormente por fluorescencia de rayos X (FRX) en el *Geological Collections and XRF Laboratory de Scripps Institution of Oceanography (SIO)*.

Para estimar la composición elemental de los sedimentos utilizamos la técnica de FRX, su principio se basa en la obtención de un contaje elemental continuo de los sedimentos a lo largo del eje vertical del núcleo mediante la fluorescencia de rayos X. Los rayos X al penetrar en las primeras micras de la superficie de los sedimentos provocan la excitación de los electrones de los diferentes átomos de los materiales litogénicos y biogénicos presentes en el núcleo. Los electrones pasan de sus orbitales internos a externos de mayor energía debido a esta excitación; cuando se apaga la fuente de rayos X estos electrones regresan al orbital de menor energía y emiten un pulso de radiación en función de la energía liberada al pasar de un orbital de mayor energía a otro menor. Cada elemento tiene orbitales distintivos por lo que estos pulsos de radiación identifican a cada uno de los elementos. Esta cuantificación la realiza un algoritmo interno del sistema del analizador de FRX de forma que el resultado final del analizador está expresado en términos de contajes absolutos de los diferentes elementos para las diferentes energías de activación de los rayos X. A partir de estos contajes absolutos se derivan su abundancia relativa en el núcleo. Para determinar la abundancia elemental se realizaron escaneos a diferentes intensidades de la fuente (10, 30, 50 Kv) ya que diferentes familias de elementos tiene diferentes potenciales de ionización.

2.10 Dataciones

Para obtener la edad del núcleo se extrajeron muestras de foraminíferos plantónicos en las profundidades de 121, 392, 731, 1225, 1609, 1814, 2195 mm del núcleo BAP9825K. Estas muestras fueron enviadas y analizadas al laboratorio W.M. Keck Carbon Cycle Accelerator Mass Spectrometer Laboratory, en la *Universidad de California Irvine* para realizar determinaciones isotópicas de C14 por medio de la técnica de espectrometría de masas por electrotandem en un acelerador de partículas. Los resultados obtenidos en edad de radiocarbono se transformaron a años calendario (años antes del presente siendo este 1950), con el programa Calib Rev 7.0.4, tomando una edad de reservorio con un ΔR 250 ± 50 años.

2.11 Análisis espectral singular

Para este análisis de series de tiempo se utilizó el software Analyseries 3.0. El Análisis Espectral Singular (SSA) es una técnica estadística que consiste en descomponer una serie de tiempo en unos modos de variabilidad ortogonales independientes entre sí. Este procedimiento fue desarrollado para trabajar con series de tiempo de corta duración y que se encuentran afectadas por ruido, para determinar los patrones fundamentales de variabilidad en un análisis no lineal de series de tiempo. Esta metodología se basa en el conjunto de vistas rezagadas que se superponen buscando patrones que contengan la misma proporción de alta varianza (Ghil et al., 2002).

2.12 MTM

Se utilizó también el método Multi Taper (MTM, por sus siglas en inglés), parte del paquete de análisis de series de tiempo Analyseries 3.0, para obtener una estimación de la densidad espectral de las series de los registros paleoclimáticos. Esta técnica radica en un conjunto de ventanas que reducen la fuga de energía a otras frecuencias debido a

las características propias del espectro para separar los modos de variabilidad significativamente diferentes del ruido (Dettinger et al., 1995; Ghil et al, 2002).

Los periodos se obtuvieron a partir de las frecuencias significativas resultantes del análisis: $p = \frac{1}{f}$; p = periodo y f = frecuencia.

2.13 Otros registros paleoclimáticos

Con la finalidad de explorar las posibles relaciones entre la serie de tiempo obtenida en los núcleos de sedimento de Cuenca Alfonso con otros índices climáticos, como la variabilidad solar, la variabilidad de la precipitación en otras cuencas, se adquirieron datos de otras series a las cuales se realizaron los mismos análisis que se aplicaron al Si y Fe de Cuenca Alfonso, el análisis espectral singular así como el MTM. Esto con el propósito de correlacionar y destacar cuales son los principales periodos compartidos, extraídos para cada una de las series y de esta forma poder explorar qué procesos pueden estar controlando y modulando la variabilidad de la precipitación en la región suroccidental del Golfo de California. Los datos de otras series climáticas se extrajeron de bases de datos públicos almacenados y recuperados en <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data>, sitio web de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

Capítulo 3. Resultados

3.1 Reconstrucción del núcleo.

Se reconstruyó una serie de tiempo compuesta por el núcleo de Kasten BAP9825K y el núcleo de caja BAP9825 C con el objetivo de obtener el registro más completo y continuo de la sedimentación en Cuenca Alfonso desde el presente (Figura 11). Se utilizó el núcleo de caja en la parte superior, o más reciente de la serie de tiempo, debido a la mayor fidelidad de este tipo de núcleo de la interfaz agua sedimento. Este tipo de núcleo preserva con gran fidelidad esta interfaz agua sedimento, asegurando que el techo del núcleo tiene la edad del año en el que se colectó. Al núcleo de caja se le añadió en profundidad el núcleo de Kasten con el objetivo de tener una serie de tiempo lo más larga y continua posible entre el presente y la base del núcleo (Figura 10). El traslape entre ambos núcleos se realizó principalmente mediante la correlación visual de la escala a grises de las radiografías de ambos núcleos (Figura 9).

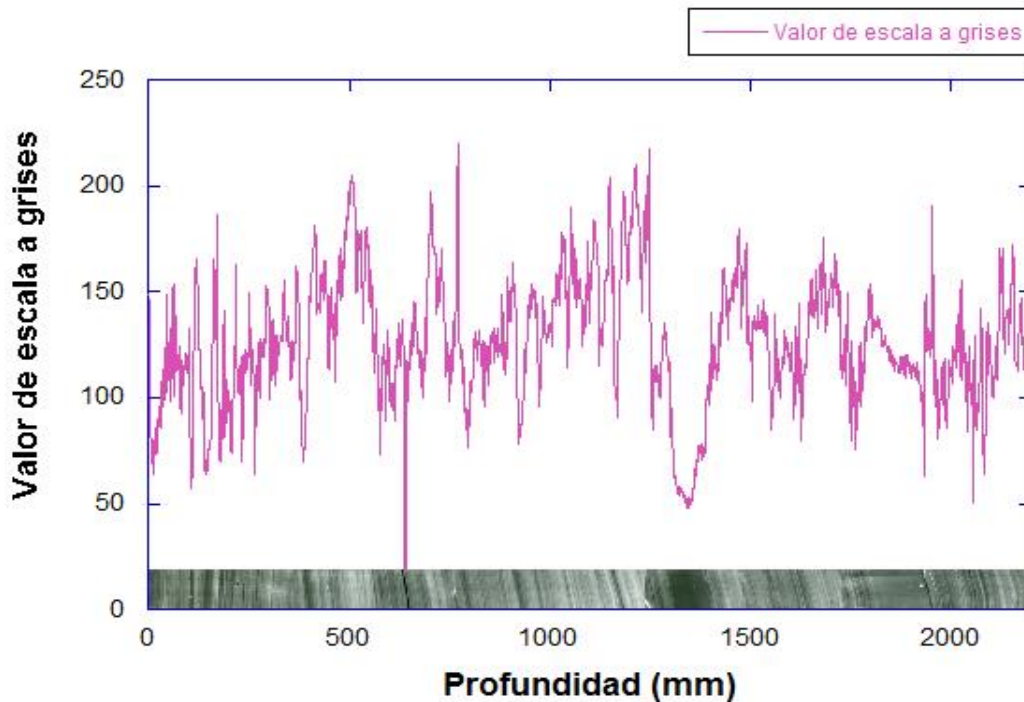


Figura 9. Correlación de escala a grises de la radiografías de los núcleos; los intervalos con valores bajos en la escala de grises corresponden a sedimentos terrígenos, algunos de ellos son depósitos de turbidita.

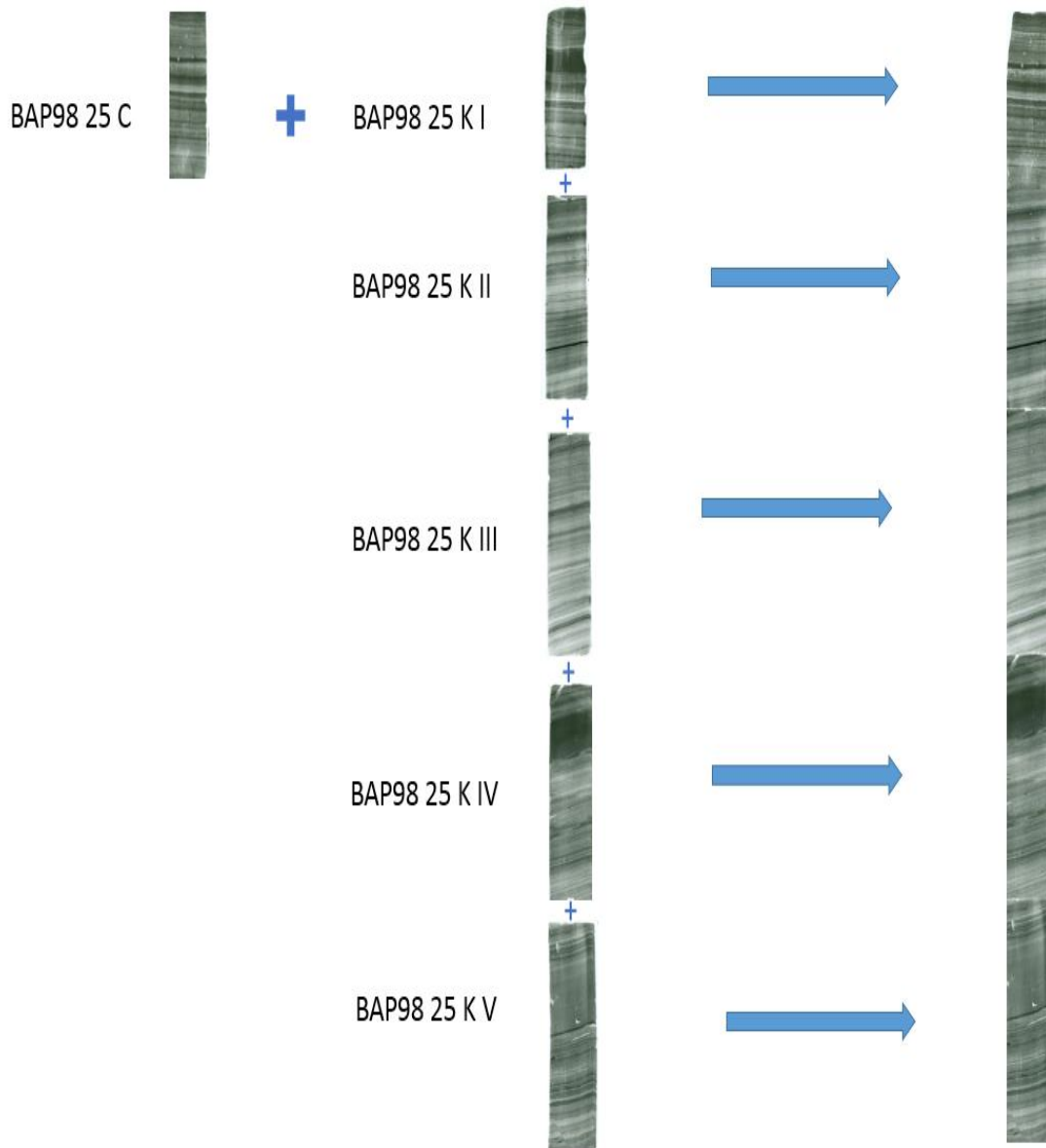


Figura 10. Construcción del núcleo compuesto, a partir de las radiografías de los núcleos BAP9825K (I, II, III, IV, V) y BAP9825 C.

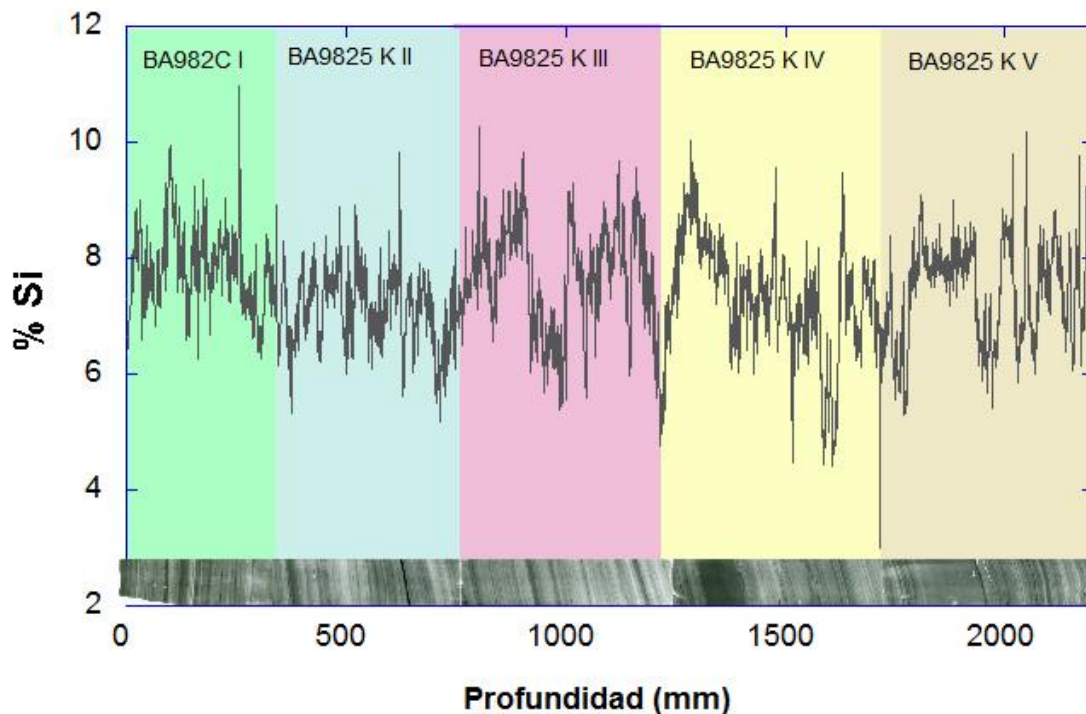


Figura 11. Registro compuesto del porcentaje del silicio, destacando en colores las diferentes losas utilizadas en esta reconstrucción.

A partir de la escala de grises se detectaron varios niveles turbidíticos en profundidad en el núcleo compuesto que también corresponden con altos valores de Si (Figura 12 y 13), algunos de los cuales llegaron a medir más de 10 cm. Estos niveles turbidíticos los colapsamos a 1 mm cuando convertimos la escala de profundidad a tiempo para evitar la distorsión que nos introducen mayor espesor en el cronología, suponiendo que estos eventos turbidíticos ocurrieron en un instante y que como mucho abarcan 1 año de duración.

Se ajustó la profundidad para evitar que la cronología final del núcleo fuera artificialmente más antigua que la real (figura 13). Otro supuesto en el que basamos esta corrección es que el evento turbidítico no produjo una erosión de los niveles inferiores sobre los que se depositó. El problema en el que incurrimos con este supuesto es en el caso de que esta erosión se hubiera producido, entonces la corrección que se hace por el evento turbidítico

está acortando aún más la serie de tiempo; la única forma de solucionar este problema es mediante la correlación con otros núcleos de la cuenca que no estén afectados por estos eventos turbidíticos. Por lo que no se puede excluir que nuestra cronología se encuentre acortada con respecto a la real, efecto que solo podremos corregir cuando comparemos este núcleo con otros similares en la misma cuenca.

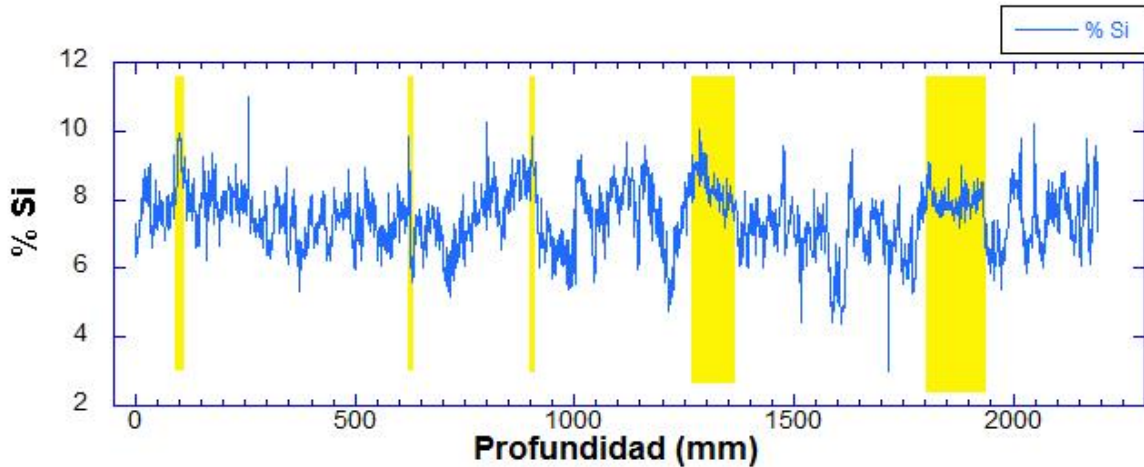


Figura 12. Datos de porcentaje de silicio en profundidad, los rectángulos en amarillo marcan los niveles turbidíticos identificados en las radiografías.

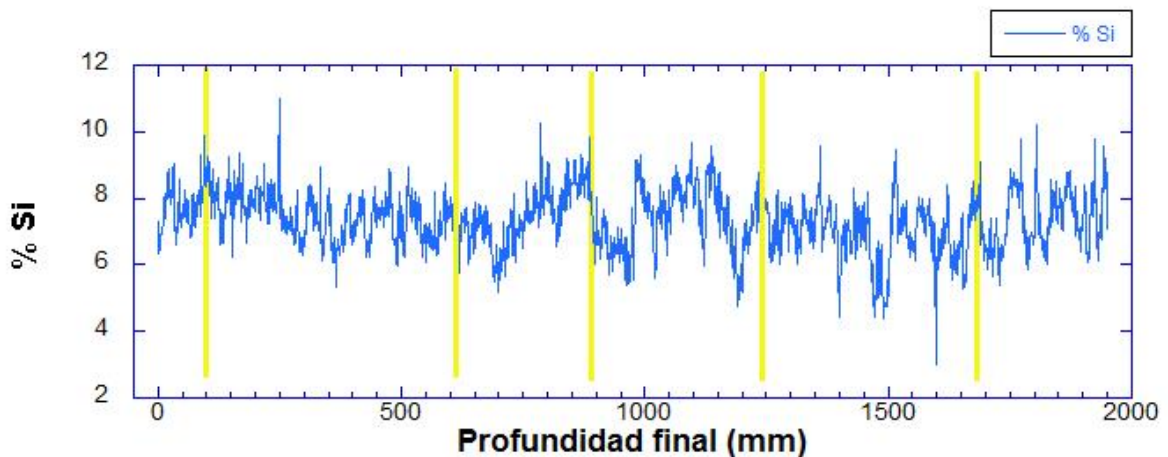


Figura 13. Serie de tiempo del porcentaje de Si en profundidad omitiendo los niveles turbidíticos que estarían ubicados en las franjas amarillas.

3.2 Resultados del análisis del FRX

Abundancia elemental relativa detectada por el método FRX en los núcleos BAP98-25C y BAP98-25 K (Figura 15). Del gráfico de los contenidos relativos promedio (Figura 14) se puede observar que ciertos elementos se encuentran sobrerrepresentados como son el Ca, Cl, Fe, mientras que otros se encuentran subrepresentados como el Al, K. Esto es debido a la diferente sensibilidad de la FRX en la detección de estos elementos y en menor grado, al efecto que tiene el contenido en agua que tiende a enmascarar los contenidos relativos de ciertos elementos como el Al.

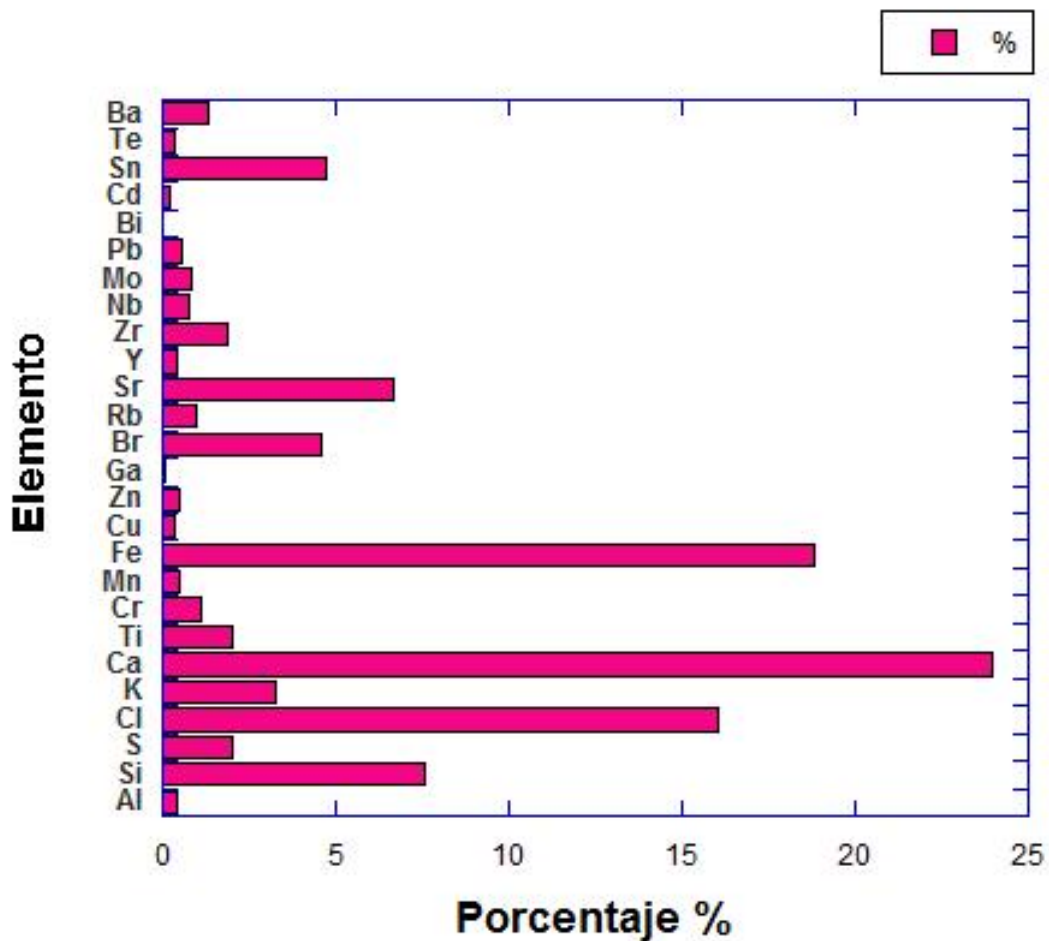


Figura 14. Gráfico de las abundancias relativas promedio de los elementos identificados por el FRX para los tres niveles de emisión utilizados en los núcleos BAP98-25C y BAP98-25K.

Para derivar los índices de precipitación para la cuenca Alfonso se eligieron los elementos Fe y Si, que además de encontrarse entre los más abundantes, son los que se encuentran relativamente más enriquecidos en las arcillas.

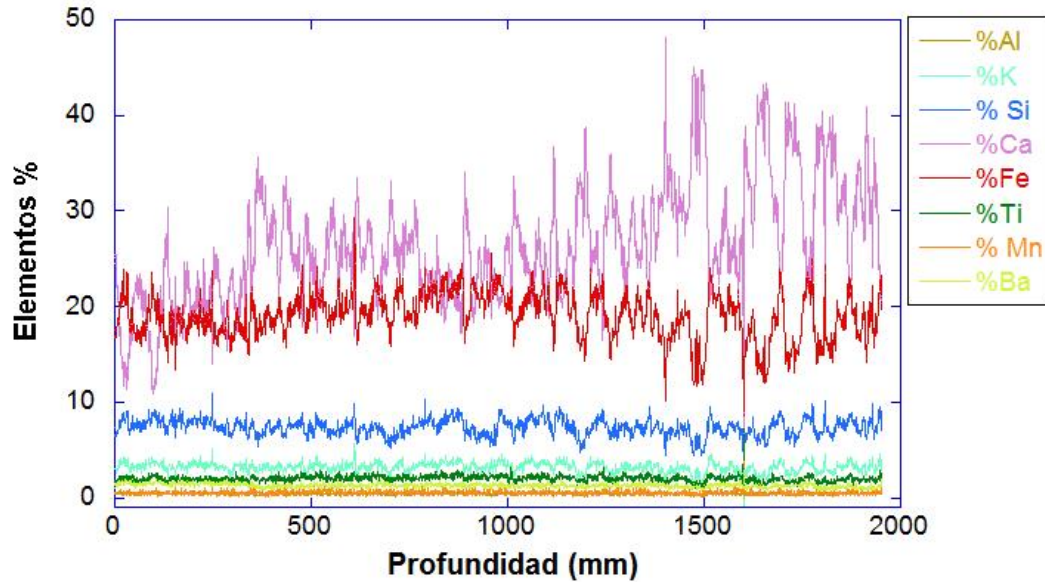


Figura 15. Serie de tiempo de los elementos con mayor abundancia relativa obtenidos en los análisis de FRX. Observar en la figura los elementos Ca, Fe y Si son los que aparentemente muestran la mayor concentración relativa.

3.3 Cronoestratigrafía del núcleo

A lo largo del núcleo se eligieron diferentes profundidades para las dataciones por radiocarbono ^{14}C . De estas muestras se extrajeron los foraminíferos plácticos que se enviaron para las dataciones AMS (Figura 16). Estas dataciones una vez corregidas a edades calendario las utilizamos para convertir la profundidad (mm) a tiempo (años AP en edades calendario) (Tabla 3).

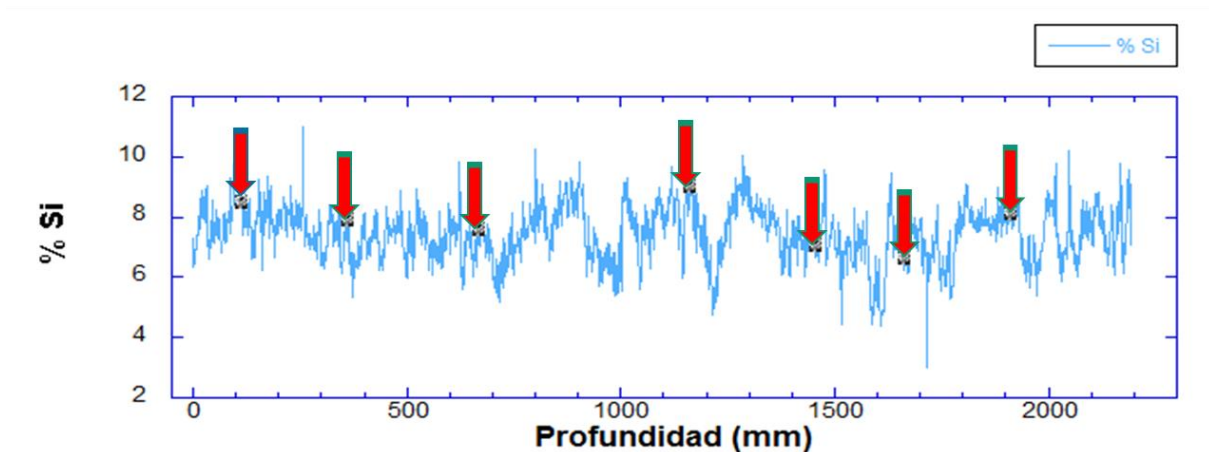


Figura 16. Identificación de profundidades de las muestras de las que se extrajeron los foraminíferos planctónicos.

Tabla 3. Dataciones realizadas en el núcleo, identificadas en profundidad, edades radiocarbono y conversión de años antes del presente (donde 1950 es el presente).

Núcleo	Profundidad (mm)	Edad RCBP	Edad años AP
BAP98-25K	109	925	343
BAP98-25K	359	1465	774
BAP98-25K	678	2090	1397
BAP98-25K	1173	3140	2621
BAP98-25K	1458	3760	3397
BAP98-25K	1666	4015	3702
BAP98-25K	1920	4555	4417

Para obtener la serie de tiempo y conseguir un modelo de edad, se representaron en un gráfico la profundidad (mm) en el eje de las y, con las edades calendario de las en el eje de las x (Tabla 17).

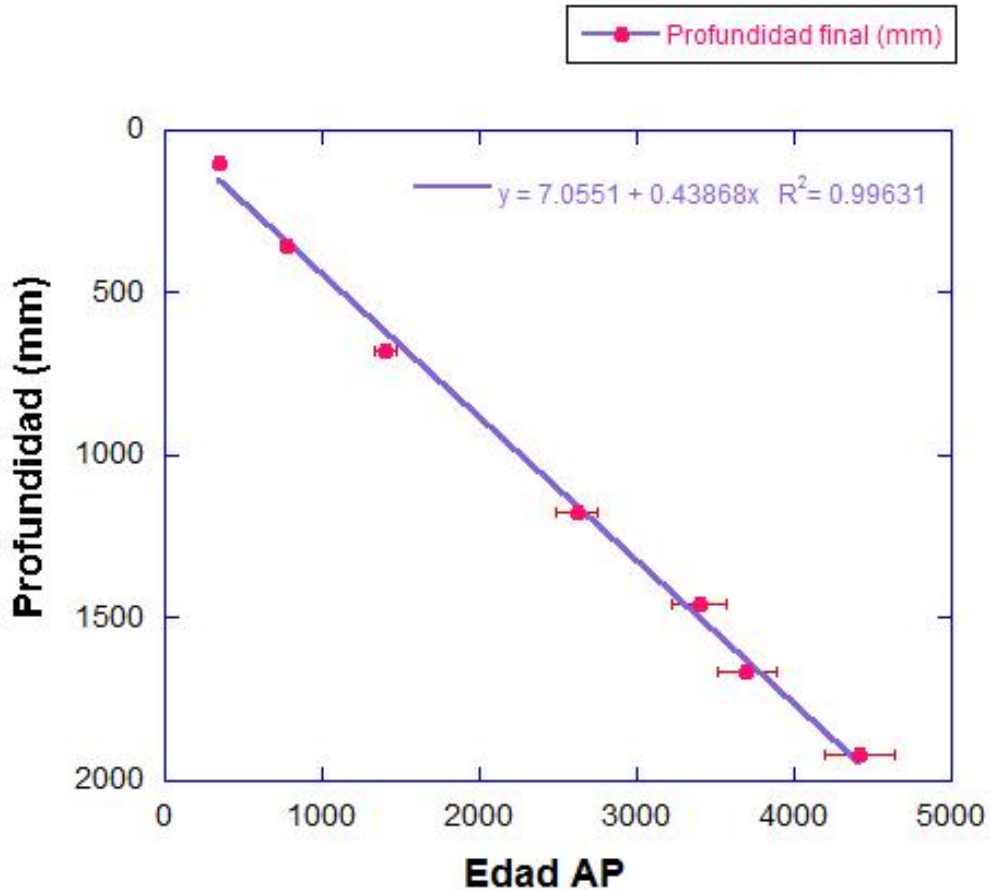


Figura 17. La tasa de sedimentación obtenida en el modelo de edad es de 0.438mm/año, la que utilizamos para transformar la profundidad a tiempo. Obteniendo la edad más antigua de 4426 años AP para la base del núcleo, con la corrección que mencionamos anteriormente al eliminar los niveles turbidíticos.

Decidimos utilizar los contenidos relativos de Si y Fe como índices para derivar la variabilidad de la precipitación de esta región, ya que los sedimentos litogénicos presentan un alto contenido de estos elementos en contraste con los biogénicos, por esta razón se representan en la figura 18 al transformar la profundidad a tiempo.

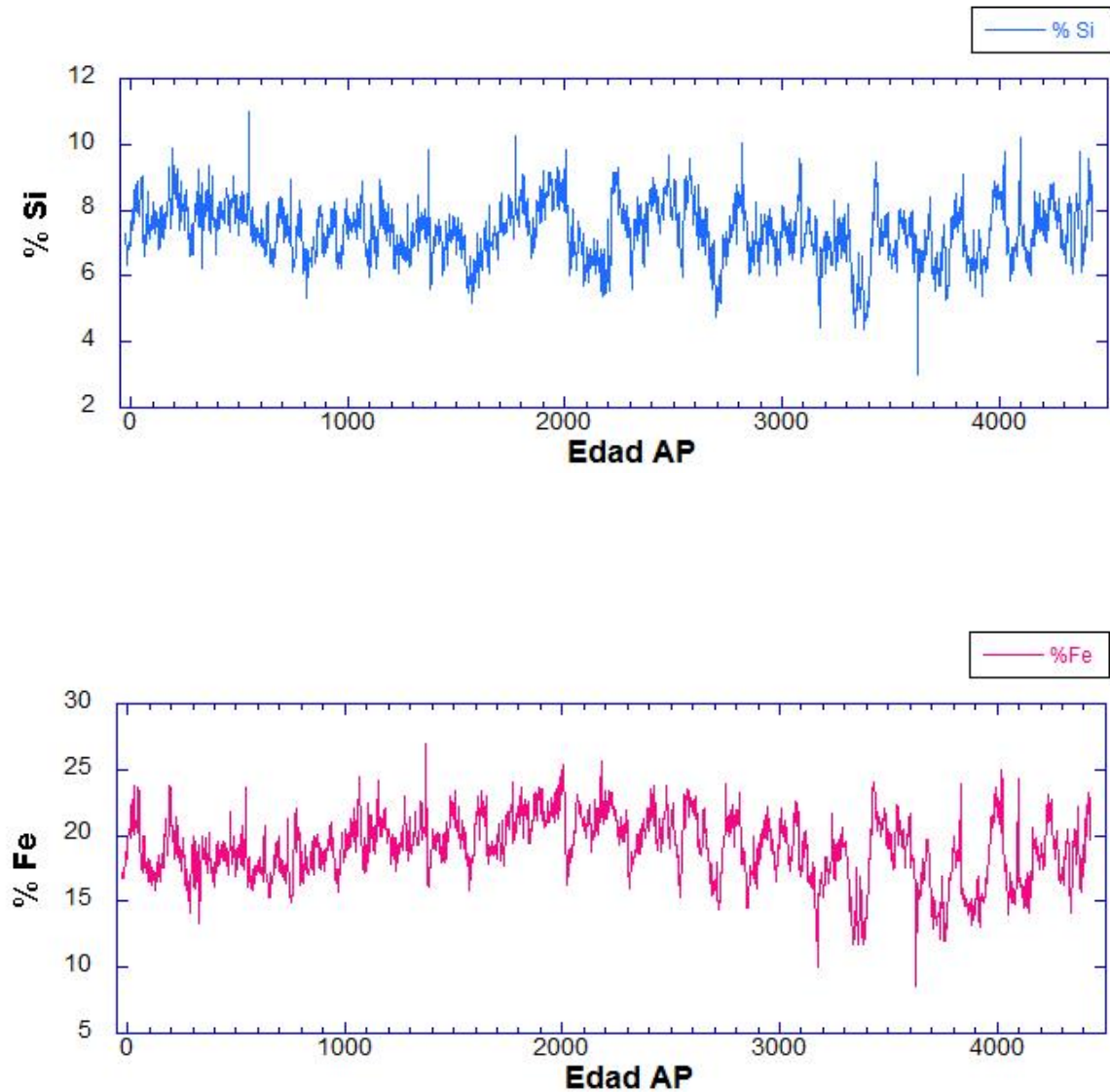


Figura 18. Series de tiempo del Fe y Si después de convertir la profundidad a tiempo utilizando la tasa de acumulación obtenida en la figura 16.

3.4 Análisis espectral singular

Los resultados del análisis espectral singular se obtuvieron utilizando una dimensión de envoltura (*embedding dimension*) de 100. De los 10 modos principales se presentan resultados de los 4 primeros modos, ya que estos representan los principales modos de varianza de la serie, aunque más adelante tomaremos en cuenta los restantes para las comparaciones de periodos más cortos presentes en otros registros.

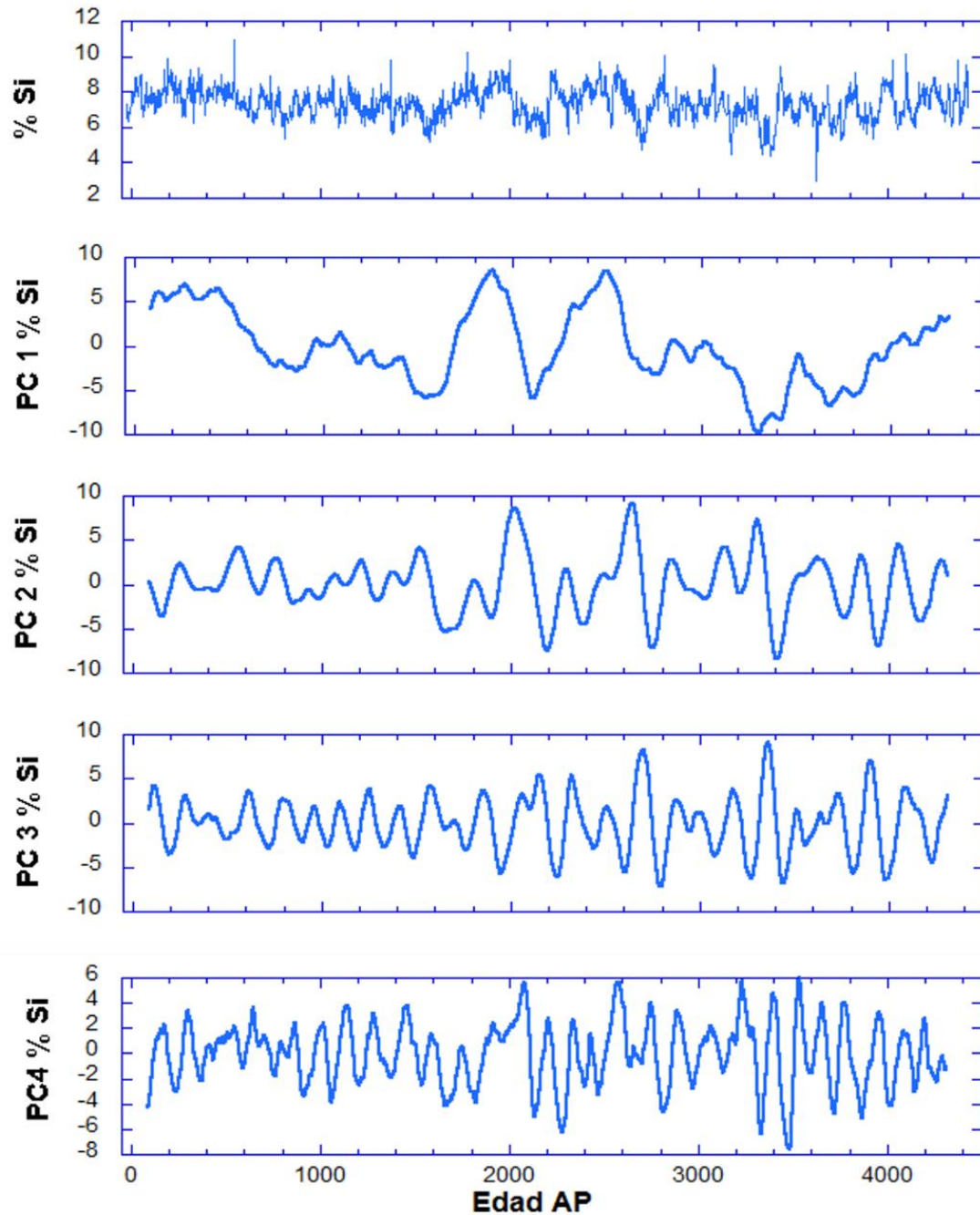


Figura 19. El primer gráfico representa la serie de tiempo del contenido relativo del Si-FRX al que le hemos restado la tendencia. En los gráficos siguientes se representan los primeros 4 modos principales que resultan del análisis singular espectral.

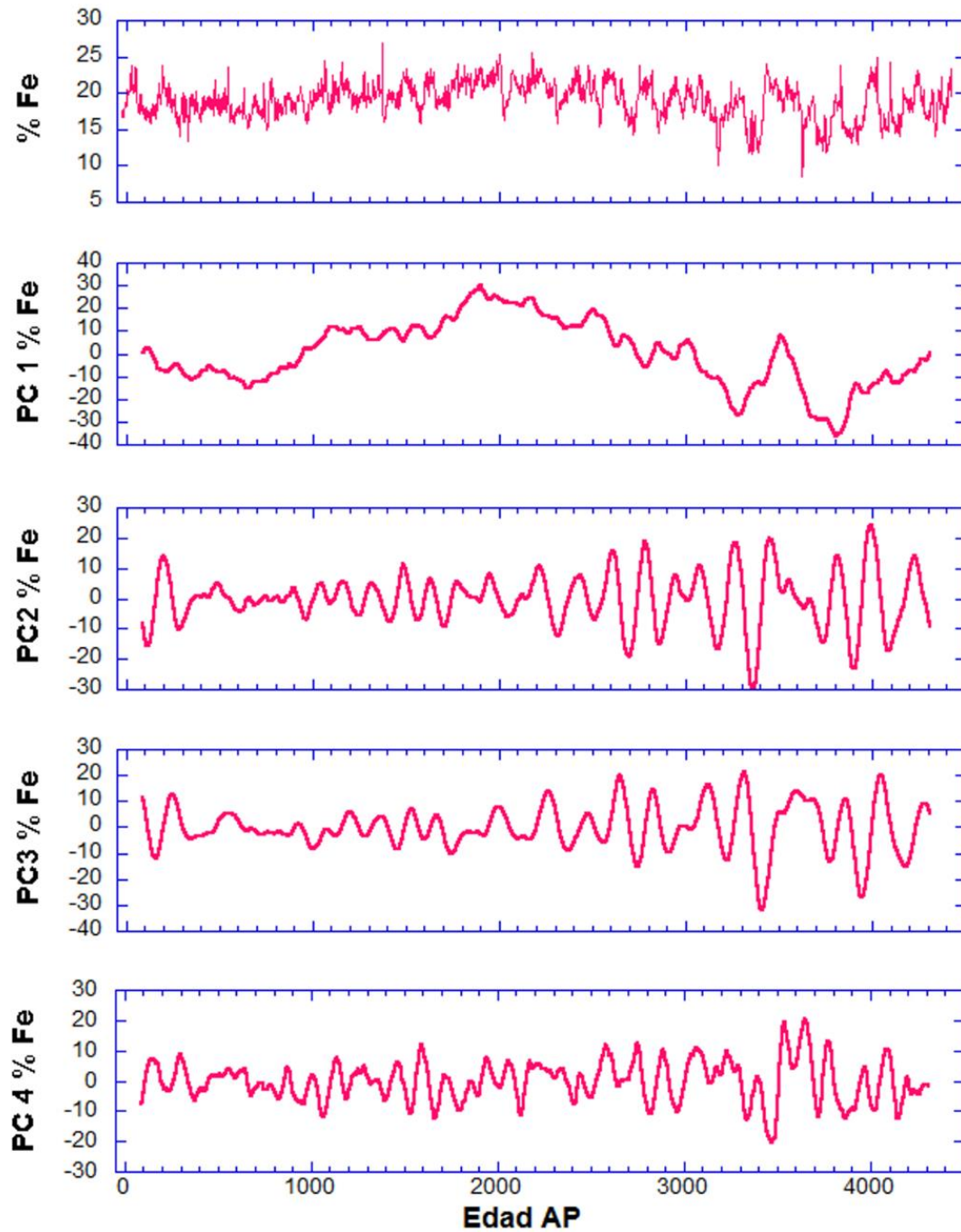


Figura 20. El primer gráfico representa la serie de tiempo del contenido relativo del Fe-FRX al que le hemos restado la tendencia. En los gráficos siguientes se representan los primeros 4 modos principales que resultan del análisis singular espectral. Observar cómo los diferentes modos capturan las diferentes periodicidades de la serie de tiempo.

Se calcularon los modos de varianza (Figura 21) para los modos correspondientes de cada una de las series (figuras 19 y 20).

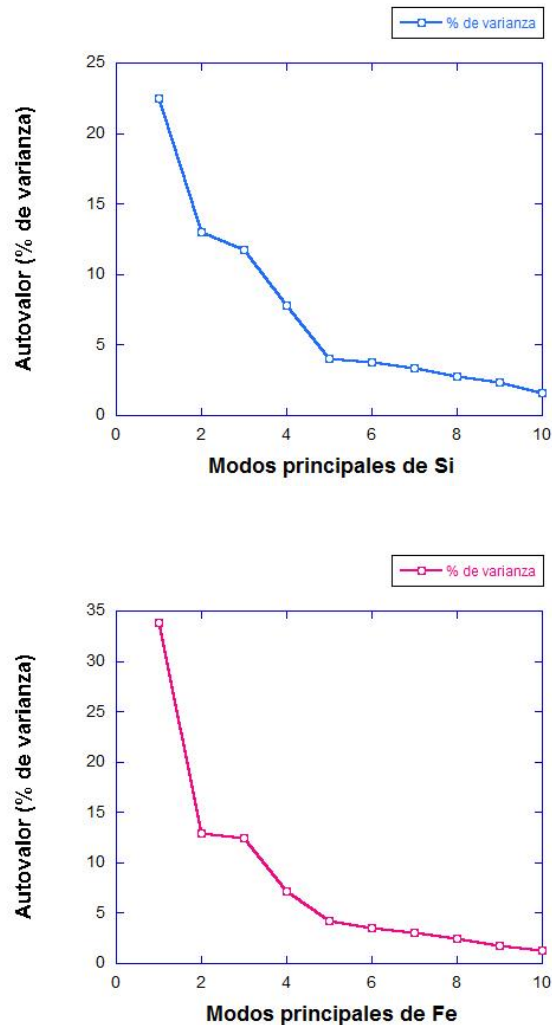


Figura 21. Porcentaje de varianza que explica los 10 principales modos de variación de las series de tiempo de Si (azul) y Fe (rosa).

3.5 Análisis espectral MTM

Los resultados obtenidos en el análisis espectral MTM realizados a cada uno de los modos principales obtenidos aplicando el análisis singular espectral de Fe y Si. Calculados a partir de las frecuencias de mayor energía y con una significancia mayor a 0.5 para cada espectro correspondiente (Figura 22 y 23).

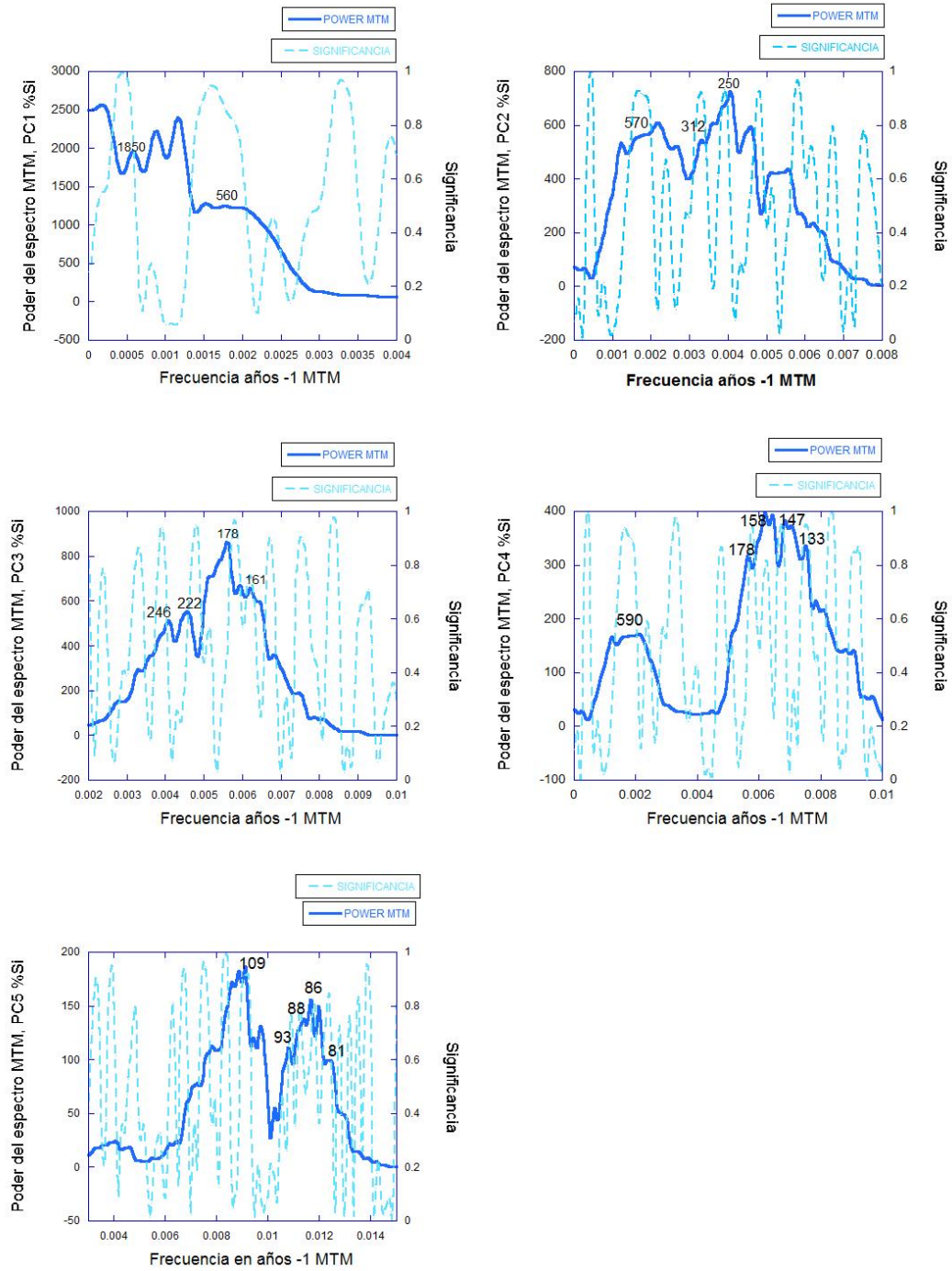


Figura 22. Espectros de frecuencia MTM de los modos fundamentales identificados de la serie de tiempo del PC1, PC2, PC3, PC4, del Si-FRX, en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos con una significancia mayor a 0.5

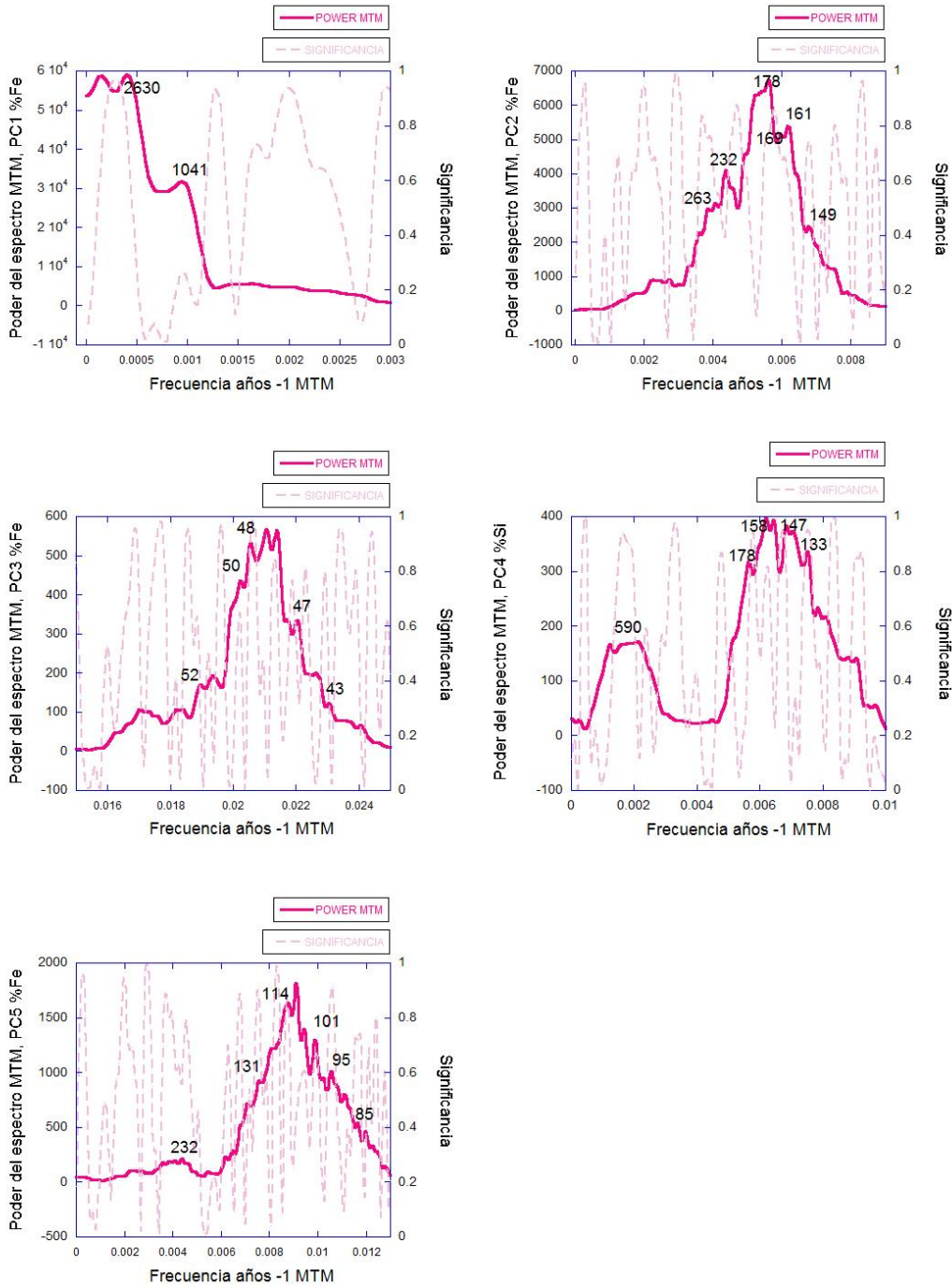


Figura 23. Espectros de frecuencia MTM de los modos fundamentales identificados de la serie de tiempo del PC1, PC2, PC3, PC4, del Hierro, en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5.

De los resultados de los análisis de MTM que se obtuvieron de los primeros cuatro modos principales de las series de tiempo del Fe y el Si, observamos periodos que comparten (Tabla 4) ambos elementos (marcados en azul) (592,179, 159, 147,133), mientras que se observan otros no compartidos. En contraste con los ciclos que no coinciden y que implican controles diferentes para ambos elementos. En el caso del Si y debido a su carácter inerte, la composición de limos y arcillas es fundamentalmente de aluminosilicatos que no son reactivos en la columna de agua ni en los sedimentos, mientras que Fe es más sensible a su removilización o precipitación en los sedimentos por procesos de oxidación-reducción en la columna de agua y sedimentos y en este caso, también estaría afectado controlado por las bajas concentraciones de oxígeno en el fondo de la cuenca. Este carácter más reactivo del Fe estaría controlado por procesos redox y a su vez, por la concentración de oxígeno disuelto en el fondo de Cuenca Alfonso. Esto le puede imprimir otra variabilidad independiente del aporte de terrígenos por transporte particulado hacia la cuenca.

Tabla 4. Las frecuencias y periodos que se obtuvieron de los primeros cuatro modos principales de Si y Fe del resultado del análisis espectral singular.

Silicio			Hierro		
	Frecuencia	Periodo (años)		Frecuencia	Periodo (años)
PC1 MTM	0.00054	1852	PC1 MTM	0.00038	2632
	0.00178	562		0.00096	1042
PC2 MTM	0.00175	571	PC2 MTM	0.0056	179
	0.0032	313		0.0038	263
	0.004	250		0.0043	233
				0.0059	169
PC3 MTM	0.00405	247		0.0062	161
	0.0045	222		0.0067	149
	0.0056	179			
	0.0062	161	PC3 MTM	0.0022	455
				0.0035	286
PC4 MTM	0.00169	592		0.0038	263
	0.0056	179		0.0056	179
	0.0063	159		0.0061	164
	0.0068	147		0.0067	149
	0.0075	133		0.0075	133
			PC4 MTM	0.0017	588
				0.0021	476
				0.0035	286
				0.0056	179
				0.0061	164
				0.0068	147
				0.0075	133

De los resultados de análisis de MTM para la serie general Si y Fe, se obtuvieron los periodos que se muestra en las figura 24 A y B.

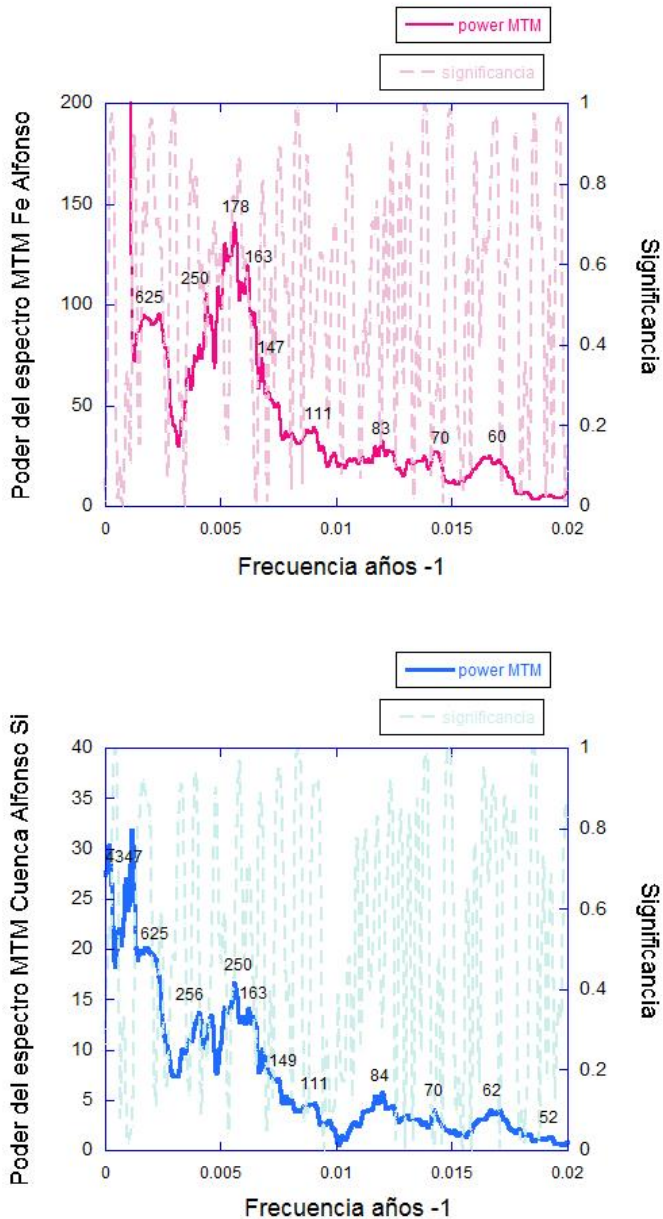


Figura 24. Espectros de frecuencia MTM de la serie de tiempo general, del Hierro (rosa) y Silicio (azul) en cuenca Alfonso, en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5.

De igual manera como a la serie de Si y Fe de Cuenca Alfonso se realizó un análisis MTM para las series de tiempo de los registros paleoclimáticos, donde se destacan los periodos significativos de cada una de las series.

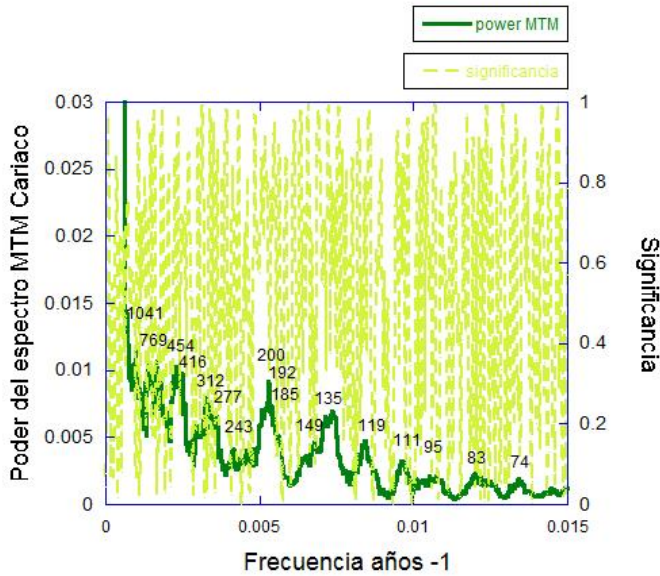


Figura 25. Espectros de frecuencia MTM de la serie de tiempo de Ti en Cuenca Cariaco (Huang et al., 2002), como índice de la migración latitudinal de la ZCIT, en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5.

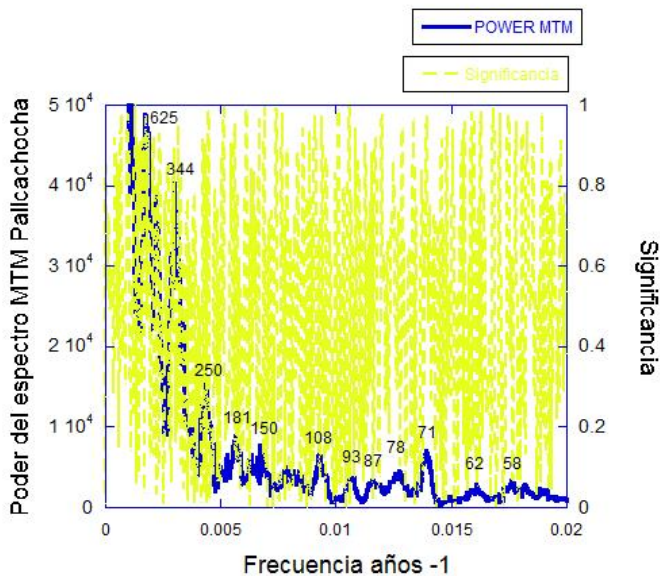


Figura 26. Espectros de frecuencia MTM de la serie de tiempo de la Laguna Pallcacocha (Moy et al., 2002), índice de la variabilidad ENOS en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5.

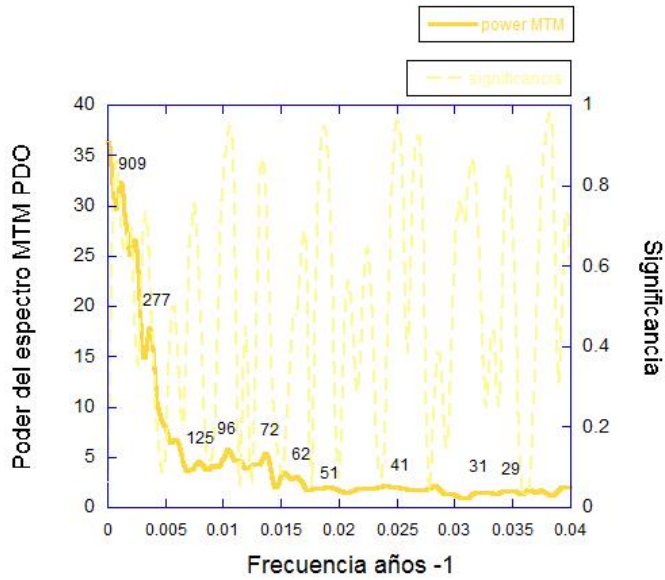


Figura 27. Espectros de frecuencia MTM de la serie de tiempo de la variación de la ODP, (McDonald, 2005) en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5.

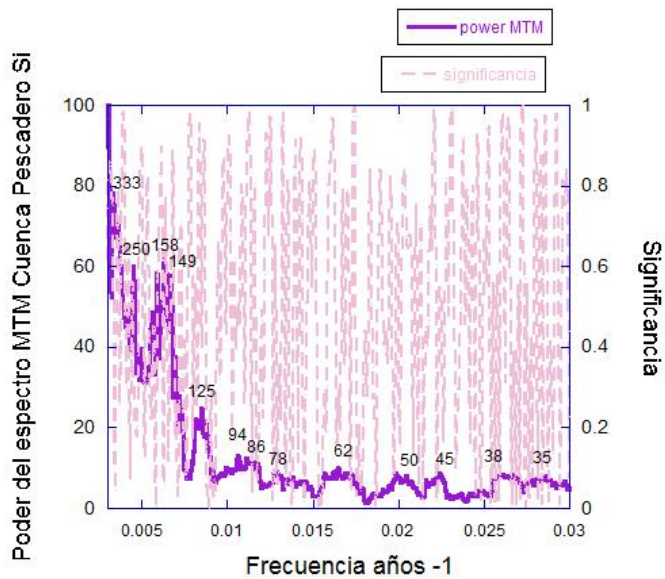


Figura 28. Espectros de frecuencia MTM de la serie de tiempo de Si de Cuenca Pescadero (Nava, 2012), en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5.

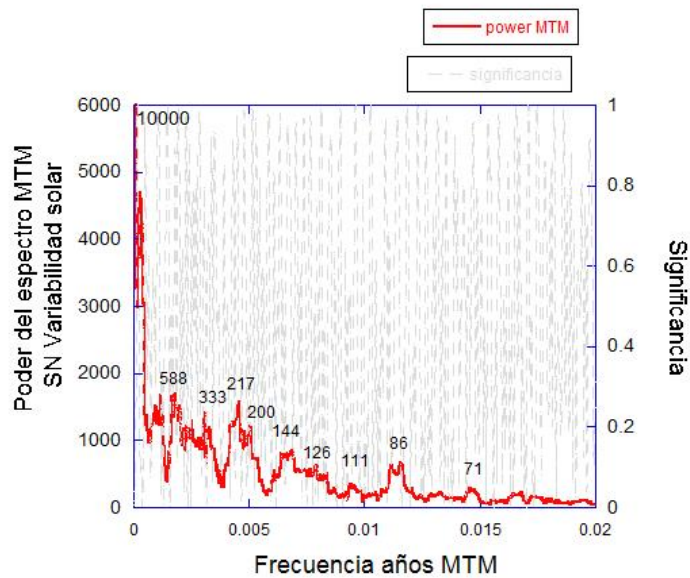


Figura 29. Espectros de frecuencia MTM de la serie de tiempo de la variabilidad solar (Solanki et. al, 2004), en los ejes X se muestra las frecuencias, en el eje Y1 (izquierda) se muestra el poder del espectro y en eje Y2 (derecha) se muestran las significancias. Se señalan los periodos de tiempo con una significancia mayor a 0.5.

De los resultados de MTM a la serie general de Si de Cuenca Alfonso (Figura 24), y de los otros registros de alta resolución (Figuras 25- 29), se sintetizaron los periodos significativos que comparten entre sí (Tabla 5). Cabe destacar los periodos de ~250 años (marcado con azul en tabla 5) y los periodos de 149 y 84 (marcado con azul), que son significativos para la mayoría de los registros, excepto la ODP.

Tabla 5. Comparación de periodos compartidos del resultado del análisis MTM realizado en la series generales de los diferentes registros, con azul se marcan los periodos que son significativos para la mayoría de los registros.

Índice climático	Monzón	Variabilidad solar	ODP	ENSO	ZCIT	
Sitio	Cuenca Alfonso	Cuenca Pescadero	Manchas solares	San Gorgonio	Laguna Pallcachocho	Cuenca Cariaco
Referencia		Nava, (2012)	Solanki et al., (2004)	Mcdonald et al., (2005)	Moy et al., (2002)	Huag et al., (2001)
Periodos compartidos	625			625		
	256	250		250	243	
	164	159				
	149	149	145	151	149	
	111		111	108	111	
	84	86	87	87	83	
	70		71	72	71	74
	62	63		63	62	
	53	50		52	58	

Capítulo 4. Discusión

4.1 Ciclones tropicales como principal aporte de precipitación.

Se utilizó la base de datos climáticos del Noroeste de México <http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/>, para obtener la estación 3074, perteneciente a La Paz con registro de precipitación entre 1940 al 2008, así como la estación 25071 de Mocorito, Sinaloa con datos entre 1961 al 2009. Se seleccionaron estas estaciones por tener las series de tiempo más largas de la región de nuestro estudio, y en el caso de Mocorito por ser esta una zona influenciada directamente por el monzón de verano. Una de las observaciones del gráfico de la precipitación de este último lugar (Figura 30) es precisamente que los máximos de precipitación se producen desde el mes de junio hasta agosto, mientras que en La Paz los máximos de precipitación se presentan a finales de verano en los meses de agosto y septiembre. Es precisamente durante estos meses cuando se presenta la mayor incidencia en los arribos de ciclones tropicales al sur de la península y el Golfo de California. Con esto lo que queremos destacar es que el tipo de precipitación en ambas regiones es marcadamente diferente, sin embargo esto no implica que ambos fenómenos sean independientes entre sí, ya que ambos dependen en principio del calentamiento de las aguas del Pacífico tropical oriental en el verano.

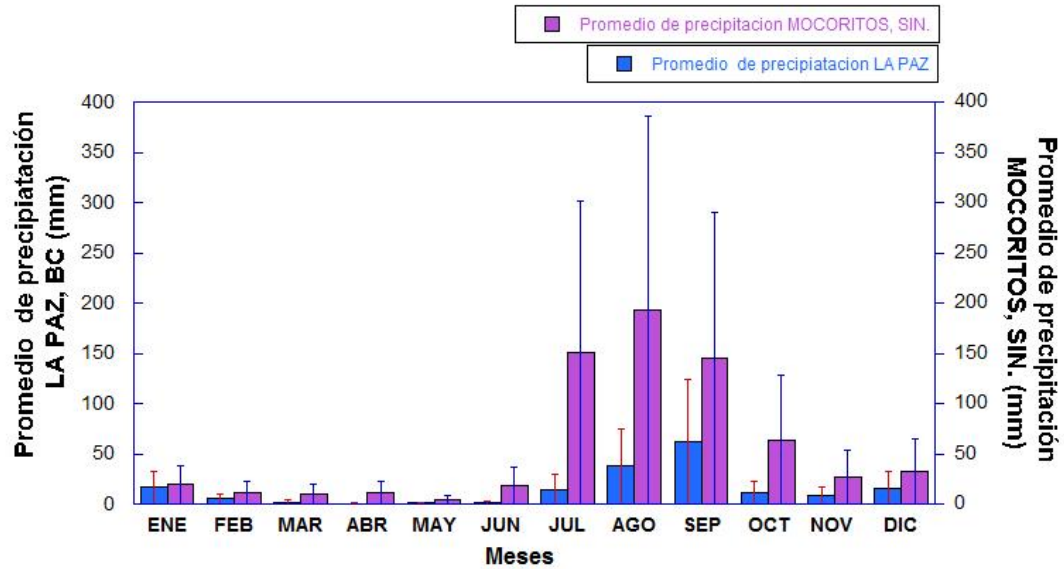


Figura 30. Gráfico de comparación de lluvias entre La Paz y Mocarito donde se puede observar que las lluvias de Mocarito comienzan a principio de verano mientras en la Paz a finales de verano.

En la base de datos de registros de trayectorias históricas de huracanes en el archivo de <https://coast.noaa.gov/hurricanes/?redirect=301ocm>, se extrajeron datos donde se tomó en cuenta como punto de referencia la región de la bahía de La Paz. Se delimitó un radio de 80 km alrededor de esta zona para obtener las trayectorias del paso de huracanes en esta área, ya que estos aportan el mayor porcentaje de agua y sedimentos a la bahía (Silverberg, 2007). Para esta región se han registrado 44 huracanes desde 1949 de las diferentes categorías (Figura 31 y la tabla 6). El número de ciclones tropicales intensos registrados en los de datos históricos es relativamente bajo, lo que limita nuestra capacidad para evaluar como la variabilidad climática a distintas escalas de tiempo puede controlar la actividad de huracanes intensos (Woodruff, 2008).

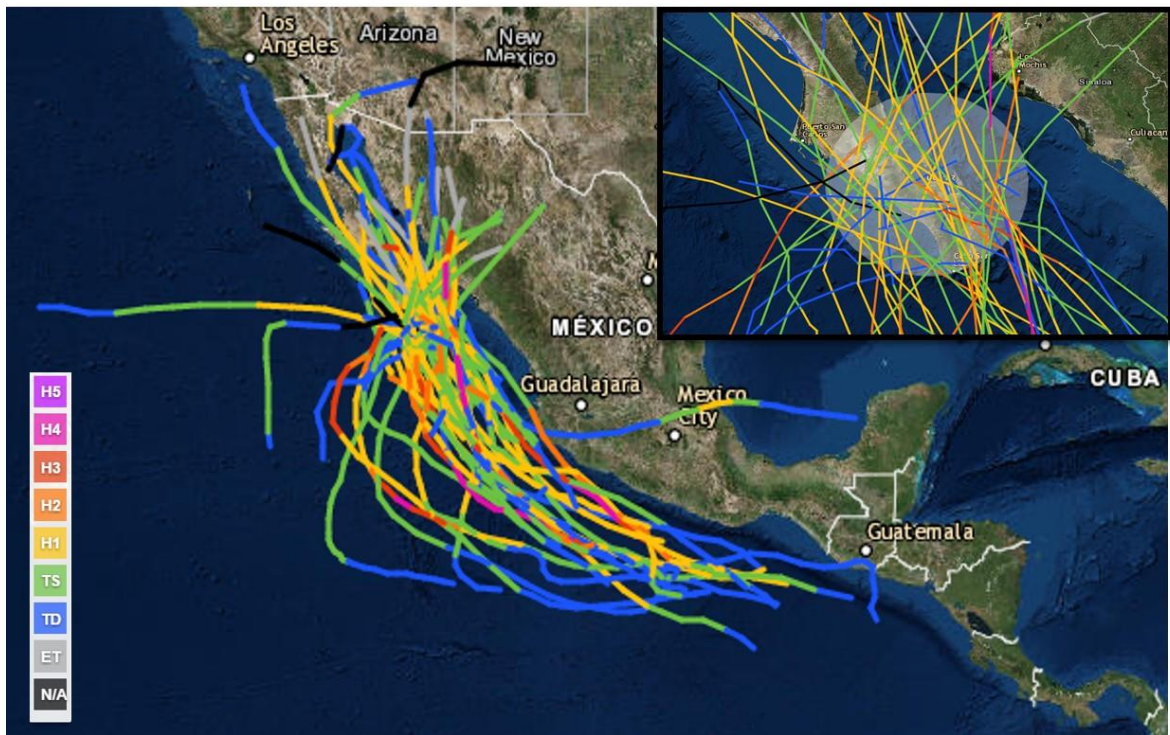


Figura 31. Mapa de trayectorias de ciclones tropicales de diferentes categorías (ET perturbacion tropical, TD depresion tropical, TS tormenta tropical y H1 -H5 categoría huracan 1-5), que se han presentado en un radio de 80 km alrededor de La Paz, desde 1949 de la base de datos en <https://coast.noaa.gov/hurricanes/?redirect=301ocm>.

Tabla 6. Ciclones tropicales que afectaron la Bahía de La Paz durante el periodo 1949- 2013.

Nombre de Huracanes	Fecha
Sin nombre 1949	Sep 09, 1949 a sep 11. 1949
Sin nombre 1954	Jul 12, 1954 a Jul 17, 1954
Sin nombre 1955	Oct 01, 1955 a Oct 04, 1955
Sin nombre 1957	Sep 20, 1957 a sep 23. 1958
Sin nombre 1958	Sep 30, 1958 a sep 06. 1958
Sin nombre 1958	Sep 1, 1958 a sep 12. 1958
Sin nombre 1959	Sep 04, 1959 a sep 11. 1959
Diana 1960	Ago 17, 1960 a Ago 20, 1960
Kirsten 1966	Sep 26, 1966 a sep 29. 1966
Katrina 1967	Ago 30, 1967 a sep 03, 1967
Olivia 1967	Oct 06, 1967 a Oct 15, 1967
Pauline 1968	Sep 26, 1968 a Oct 03. 1959
Hycinth 1968	Ago 17, 1968 a Ago 21, 1968
Irah 1973	Sep 22, 1973 a Sep 27. 1973
Liza 1976	Sep 25, 1976 a Oct 02. 1976
Doreen 1977	Ago 13, 1977 a Ago 18, 1977
Irwin 1981	Ago 27, 1981 a Ago 31, 1981
Lidia 1981	Oct 06, 1981 a Oct 08, 1981
Paul 1982	Sep 18, 1982 a Sep 30, 1982
Genevieve 1984	Jul 07, 1984 a Jul 14, 1984
Polo 1984	Sep 26, 1984 a Oct 03, 1984
Newton 1986	Sep 18, 1986 a Sep 24, 1986
Debby 1988	Ago 31, 1988 a Sep 08, 1988
Kiko 1989	Ago 25, 1981 a Ago 29, 1989
Rachel 1990	Sep 27, 1990 a oct 03 14, 1990
Calvin 1993	Jul 04, 1993 a Jul 09, 1993
Sin nombre 1993	Jul 27, 1993 a Jul 02, 1993
Henriette 1995	Sep 01, 1995 a Sep 08, 1995
Fausto 1966	Sep 10, 1996 a Sep 14, 1996
Isis 1998	Sep 01, 1998 a Sep 03, 1996
Greg 1999	Sep 05, 1999 a Sep 09, 1999
Miriam 2000	Sep. 15, 2000 a Sep 17, 2000
Juliette 2001	Sep 21, 2005 a Oct 03. 2005
Ignacio 2003	Ago 22, 2003 a Ago 27, 2003
Marty 2003	Sep. 18, 2003 a Sep 26, 2003
Otis 2005	Sep 28, 2005 a Oct 05. 2005
John 2006	Ago 28, 2006 a Ago 31, 2006
Henriette 2007	Ago 30, 2007 a Sep 06, 2007
Julio 2008	Ago 23, 2006 a Ago 27, 2006
Lowell 2008	Sep 06, 2008 a Sep 11, 2008
Norbert 2008	Oct 04, 2008 a Oct 12, 2008
Olaf 2009	Oct 01, 2009 a Oct 04, 2009
Georgette 2010	Sep 20, 2010 a Sep 05. 2010
Juliette 2013	Ago 28, 2013 a Ago 30, 2013

Con los datos obtenidos de precipitación y el registro de huracanes que han pasado por el área de estudio hemos graficado la precipitación ubicando los huracanes en cada año (Figura 32). Con la finalidad de observar si se presenta una variabilidad interanual, observamos como 23 de los 37 de los huracanes coinciden con años en los que la precipitación se encuentra por encima del promedio de la precipitación anual, los que están debajo de la línea de promedio pudieron tener menor aporte de precipitación debido a la distancia o la velocidad a la que pasaron dichos huracanes.

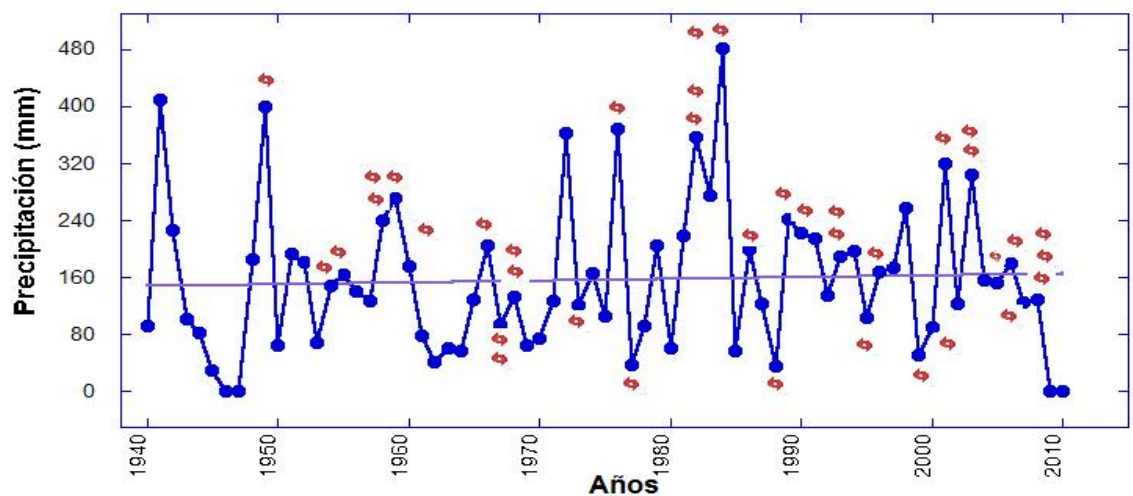


Figura 32. La variabilidad de la precipitación registrada en la estación número 2507, donde cada símbolo de huracán (rojo) representa un huracán registrado presentado en determinado año, observando que 23 de 37 de estos están sobre la línea del promedio anual de la precipitación para La Paz.

La estrecha relación entre la precipitación mayor al promedio anual y la presencia de huracanes en la península sugiere que los ciclones tropicales son el principal aporte de precipitación en Bahía de la Paz.

4.2 Silicio como índice de precipitación.

Los sedimentos marinos en el centro y el sur del Golfo de California, las fracciones limo y arcilla tienen un origen mineralógico similar, reflejando en gran medida una procedencia geológica dominada por rocas ígneas (volcánicas y graníticas) típicas de la geología de la región sur de la península de Baja California (Baba, 1991). Estudios previos (Molina-Cruz et al., 2002; Pérez-Cruz y Urrutia-Fucugauchi, 2009) indican que la Bahía de la Paz recibe aluminosilicatos abundantemente de los tobos silíceas, rocas intrusivas ácidas como granitos y volcánicos riolíticos (Rodríguez Castañeda, 2007) que rodean la bahía. Estas rocas ricas en aluminosilicatos (compuestos principalmente de Al_2O_3 y SiO_2), son las que al erosionarse se transportan a la parte profunda de la cuenca como limo y arcillas, y que dominan porcentualmente la composición mineralógica de los núcleos de sedimentos. El agente principal de transporte hasta la bahía es la escorrentía pluvial que transporta estos sedimentos por los drenajes intermitentes que se activan durante la temporada de lluvias o el paso de ciclones tropicales. Recientemente, un trabajo de Rodríguez Castañeda (2007) reporta que tras el paso de los huracanes “Marty” e “Ignacio” hubo un aumento en el material terrígeno en la trampa de sedimentos ubicada en cuenca Alfonso ($24^{\circ}39'N$; $110^{\circ}36'W$); donde estos dos huracanes representan el 82% de la precipitación total medida en el 2003 (Silverberg, 2007).

El Silicio que se detecta por medio del FRX puede integrar un componente litogénico y otro biogénico, el ópalo biogénico fundamentalmente de diatomeas y radiolarios. Bernal (2001) reporta que en la cuenca de La Paz el ópalo biogénico acumulado en los sedimento constituye entre el 12% y el 20% del total de la muestra. Mientras los terrígenos en los sedimentos con valores entre el 58 a 72% del total de los sedimentos. Por lo que el componente biogénico representa un 25% del total promedio del Si y cambios porcentuales en este componente biogénico puede introducir hasta un 10% de variabilidad en los contajes de los terrígenos. Razón por la que vamos a tener en cuenta la correlación elemental con otros elementos característicos de los terrígenos para poder fundamentar nuestra interpretación de la variabilidad de la precipitación con el contenido de Si en los núcleos.

El Si tiene una correlación moderada con el Ti, Al, y el K y en particular con Al, que es un elemento de origen terrígeno en un estudio en la cuenca Farallón (Tenorio, 2011).

En el caso de la materia particulada de cuenca Alfonso, el Hierro muestra una correlación significativa con Al y Sc, los que también se utilizan como índices de aportes de origen continental (Rodríguez Castañeda, 2007).

Para encontrar una relación entre los elementos Si y Fe en nuestro registro se realizó un análisis MTM (figura 24) donde se observa que ambos elementos tienen las mismas periodicidades fluctuando de igual forma y que utilizamos en este trabajo como proxy de la precipitación expresada en la sedimentación terrígena.

4.3 Variación de la precipitación registrada en sedimentos laminados en Cuenca Alfonso durante el Holoceno medio al tardío.

En este trabajo reconstruimos una serie de tiempo cuyo valor reside en extender el registro instrumental de la precipitación en la región de Baja California Sur, que abarca aproximadamente 6 décadas, extendiéndolo hasta los últimos 4420 años AP. Período que abarca el Holoceno medio y tardío.

Esta reconstrucción está basada en la variabilidad de la concentración de Silicio en núcleos de sedimentos marinos de alta resolución en la Cuenca Alfonso situada en la bahía de la Paz (Figura 33). El Si es uno de los elementos dominantes en el componente terrígeno de estos sedimentos, de forma que este elemento es potencialmente un buen índice del aporte de origen continental a la cuenca, aporte que se produce fundamentalmente por la descarga de los ríos y consecuentemente está controlado por la precipitación que ocurre en esta región. De ahí que nuestra reconstrucción

interpretemos periodos con bajas concentraciones de Si como una ausencia de tormentas; mientras que periodos con mayores concentraciones se asocian a una mayor precipitación originada probablemente con eventos episódicos como pueden ser los arribos de ciclones tropicales a la región sur de la península. Algunos de estos periodos de mínimos que se presentan en la serie se encuentran centrados alrededor de 808, 1386, 1570, 2020-2200, 2695, 3375 y 3625 años AP. Los máximos se observan centrados alrededor de **190, 543, 1370, 1771, 2012, 2229, 2477, 2814, 3087, 3440, 3825, 4026, 4098, 4371 y 4419** años AP. Los marcados en negritas coinciden con los niveles turbidíticos que se han encontrado a lo largo del núcleo y que fueron omitidos para poder pasar la profundidad a tiempo.

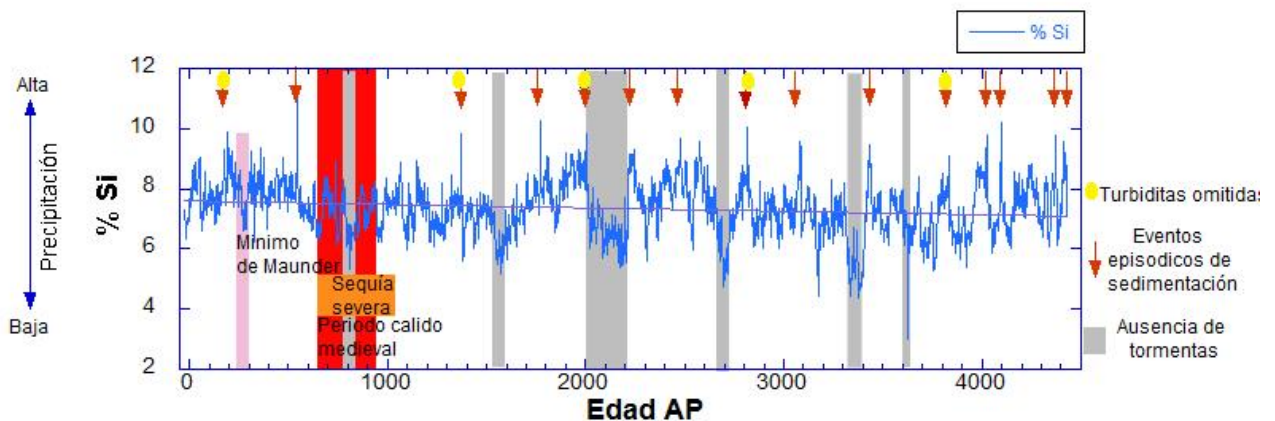


Figura 33. Registro de Si cuenca Alfonso, marcando episodios con menores concentraciones de Si (contrastes grises), muy probablemente por una menor incidencia de tormentas, mientras que los puntos en amarillo representan las turbiditas que han sido identificadas en el registro, posiblemente asociados a una mayor incidencia de tormentas en la región.

En el periodo de Holoceno medio hacia el presente varios registros muestran una tendencia a disminuir el contenido de material terrígeno en sedimentos marinos, lo que es interpretado también como una disminución en la precipitación (Haug et al., 2001; Nava, 2012 y Barron et al., 2004). Cuenca Pescadero se sitúa cerca de la zona de estudio en el margen oriental del Golfo de California. Ahí, Nava (2012) registra una tendencia general de disminución de porcentaje de Si en sedimentos laminados asociado a la precipitación desde 5.5 ka. Por otro lado, en Cuenca Cariaco, Venezuela Haug (2001) asocia la disminución de Ti y Fe a la migración hacia sur de la Zona de Convergencia

tropical. El hecho de que en este registro no se observe una tendencia de la disminución en la precipitación es probablemente porque Cuenca Alfonso tiene un clima altamente influenciado por ciclones tropicales, a diferencia de otras cuencas que registran fenómenos climáticos como el Monzón de América del Norte y las variaciones de la ZCIT.

Otro efecto que puede enmascarar esta disminución del Si hacia el presente es la tendencia del Ca a disminuir, recordar aquí que el Ca es representativo del contenido en carbonato en los sedimentos y su origen biogénico implica un control diferente al de los terrígenos. Esta disminución en el contenido relativo de Ca y los carbonatos puede explicar la tendencia a aumentar del Si hacia el presente debido a la normalización que hacemos de sus concentraciones. De forma que el que el descenso en importancia de un elemento con altas concentraciones relativas se transfiere a los demás como un aumento relativo (Figura 34).

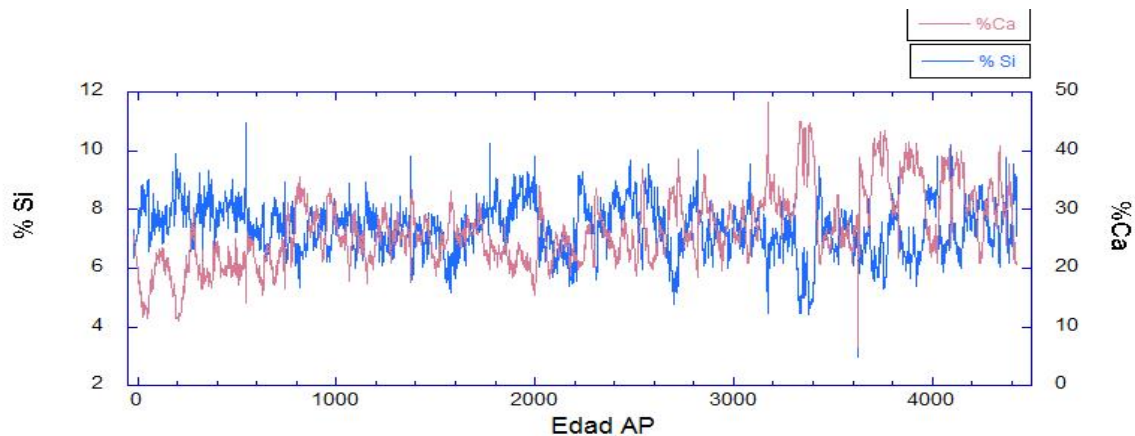


Figura 34. Comparación de Silicio y Calcio del registro de Cuenca Alfonso.

Entre los años 2220 y 3700 el porcentaje de silicio presenta una alta variabilidad dada por los grandes contrastes entre los valores mínimos y máximos de la serie. Los valores más altos de Silicio encontrados en este periodo están asociados al aumento de tormentas, probablemente influenciadas por el aumento en la intensidad de la ZCIT, donde se presenta un aumento en las amplitudes generales de la variabilidad de las concentraciones de Ti y Fe en cuenca Cariaco (Haug et al., 2001). Al mismo tiempo, en

la costa este del Pacífico ecuatorial, el ENOS presenta alta actividad que ha quedado registrada en los sedimentos de laguna Pallcacocha ubicada en Perú (Moy et al., 2002) y es probable que esta alta actividad está influenciando también por el arribo de huracanes a la península, ya que durante años El Niño la frecuencia de huracanes es mayor y sus trayectorias son más extensas (Martínez Sánchez, 2011).

La clave para entender las conexiones entre los huracanes, la ZCIT y ENSO es el océano Pacífico tropical y los mecanismos de transferencia de calor y humedad desde el ecuador hacia altas latitudes.

En el año 800 AP, en el registro de Cuenca Alfonso se observa una aparente ausencia de tormentas (Figura 33), que McDonald (2005) observa durante el período medieval entre 650 y 1050 años AP (marcado en color naranja en la figura 33) los valores negativos de la ODP corresponden a un periodo de sequía severa y prolongada evidente a lo largo del oeste y centro de América del Norte.

4.4 Comparación con otros registros.

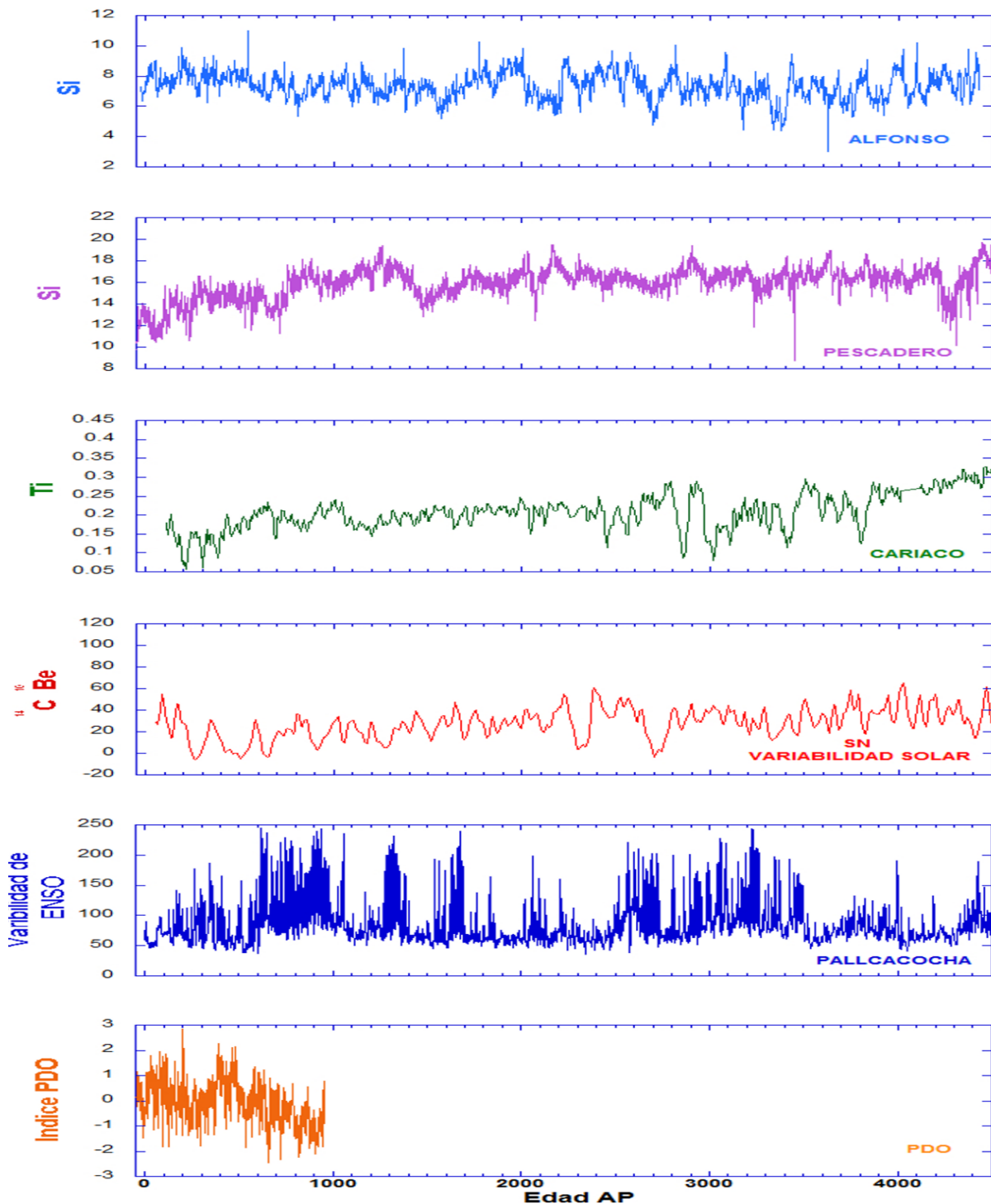


Figura 35. Gráfica de los registros de la variabilidad de precipitación Cuenca Alfonso (este trabajo), variabilidad de la precipitación en Cuenca Pescadero (Nava, 2012); precipitación en Cariaco (Huang et al., 2001); número de manchas solares (Solanki et al., 2004), variabilidad de ENOS en Laguna Pallcacocha (Moy et al., 2002; variación de ODP (McDonald et al., 2005).

Los registros paleoclimáticos (Figura 35), que se han utilizado para explorar las posibles relaciones con forzamientos climáticos que pueden estar influenciando la variabilidad de la precipitación en la región suroccidental del Golfo de California se muestran en la figura 36.

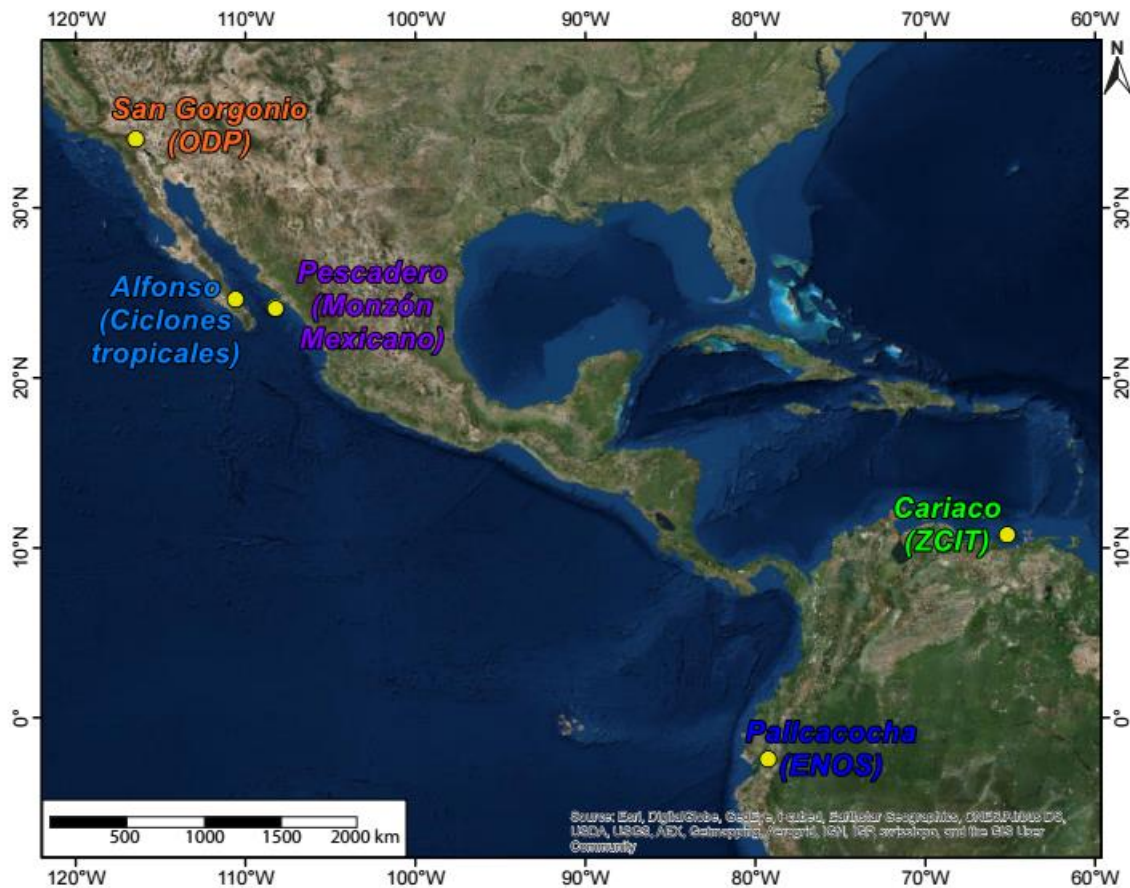


Figura 36. Mapa de ubicaciones de los los registros de variabilidad de la precipitación en Cuenca Alfonso (este trabajo), en Cuenca Pescadero (Nava, 2012); precipitación en Cariaco (Huag et al. 2001); variabilidad de ENOS en Laguna Pallcacocha. (Moy et al. 2002; variación de ODP en San Gorgonio, California (Mcdonald et al., 2005).

4.4.1 Análisis de coherencia.

Se realizó un análisis de coherencia B- Tukey utilizando el modo espectral cruzado. Se consideró un valor de > 0.4 para obtener la coherencia existente que comparte el registro de cuenca Alfonso con los otros registros.

Los periodos resultantes de este análisis se compararon con los periodos resultantes del análisis MTM que se realizó para cada serie general de los proxis mencionados, esto con la finalidad de discernir cuales periodos son coherentes y significativos.

En el análisis de coherencia para cuenca Alfonso y cuenca Cariaco se obtienen los periodos de 2041, 133, 118, 71, 63, 56, 50, 43, 37 y 34 años (Figura 37). Y comparando con del análisis MTM (Tabla 5) obtenemos que solo el de 71 años es significativo y coherente entre ambas series de tiempo.

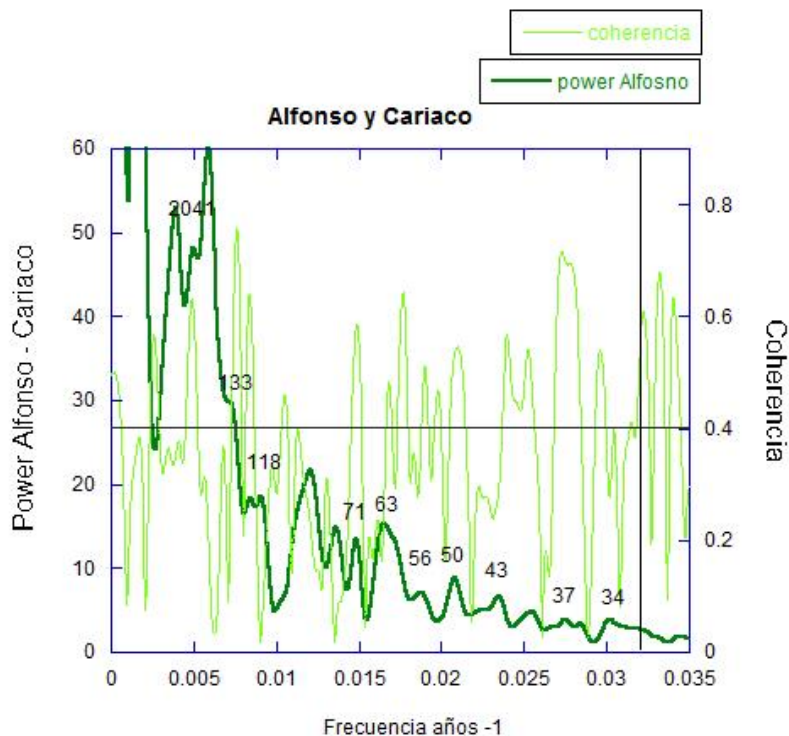


Figura 37. Espectro de frecuencia del resultado de análisis de coherencia modo espectral cruzado de los registros cuenca Alfonso y Cariaco (Haug et al., 2002).

En el análisis de coherencia para cuenca Alfonso y laguna Pallcacocha se obtienen los periodos 2857, 667, 259, 169, 84, 61, 43, 33, 25, 20 años (Figura 38). Y comprando con del análisis MTM (Tabla 5) obtenemos que 259, 84, 61 son coherentes y significativos.

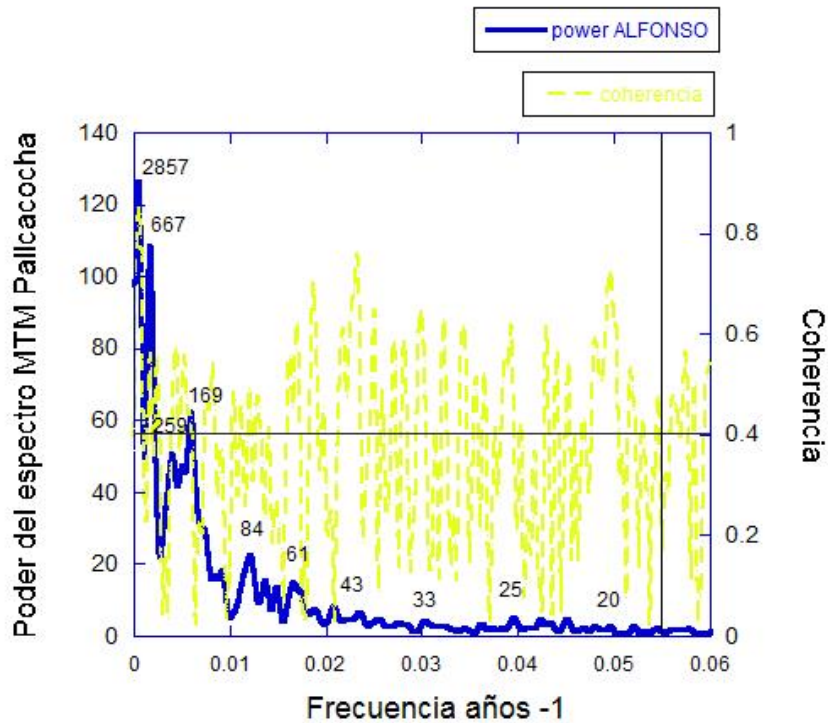


Figura 38. Espectro de frecuencia del resultado de análisis de coherencia modo espectral cruzado de los registros cuenca Alfonso y Pallcacocha. (Moy et al., 2002).

En el análisis de coherencia para cuenca Alfonso y el ODP se obtienen los periodos 2380, 83, 49, 28, 21 años (Figura 39). Y comprando con del análisis MTM (Tabla 5) obtenemos que solo el de 49 años, es coherente y significativo.

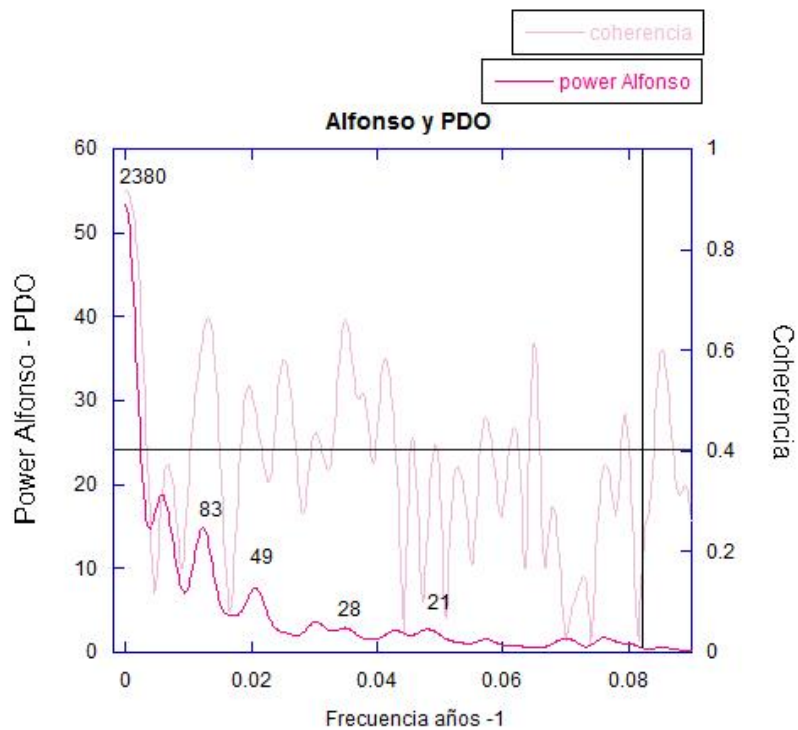


Figura 39. Espectro de frecuencia del resultado de análisis de coherencia modo espectral cruzado de los registros cuenca Alfonso y la variación de ODP en San Gorgonio, California (*Mcdonald et al., 2005*).

En el análisis de coherencia para cuenca Alfonso y cuenca Pescadero se obtienen los periodos 2325, 256, 204, 169, 119, 82, 71, 61, 50 años (Figura 40). Y comprando con del análisis MTM (Tabla 5) obtenemos que los de 256, 82, 61, 50 son coherentes y significativos.

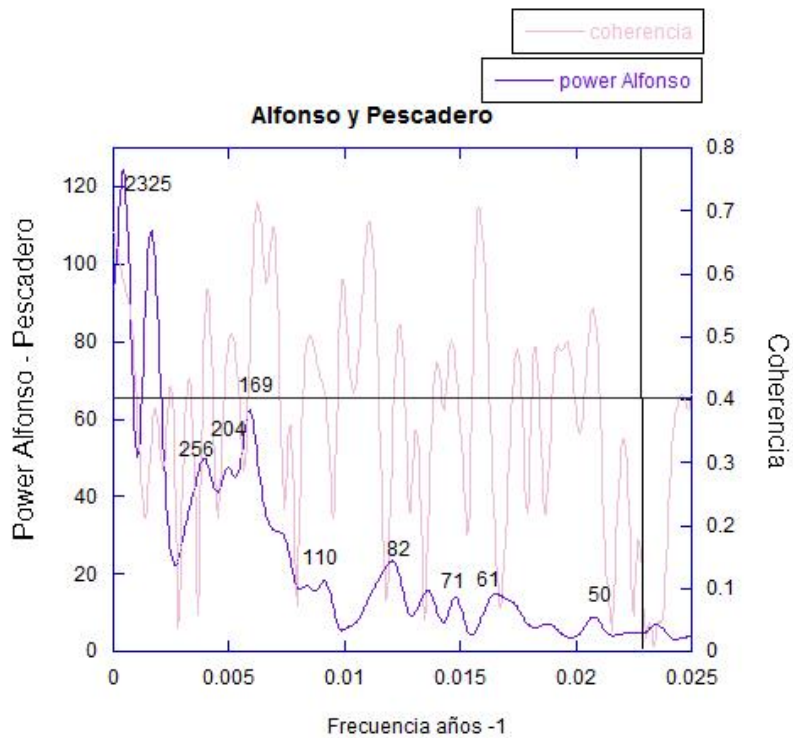


Figura 40. Espectro de frecuencia del resultado de análisis de coherencia modo espectral cruzado de los registros Cuenca Alfonso y Cuenca Pescadero (Nava, 2012).

En el análisis de coherencia para cuenca Alfonso y manchas solares se obtienen los periodos 625, 256, 169, 84, 74, 67, 60, 52, 43, 37, 33 años (Figura 41). Y comparando con del análisis MTM (Tabla 5) obtenemos que los de 256, 84, 74 son coherentes y significativos.

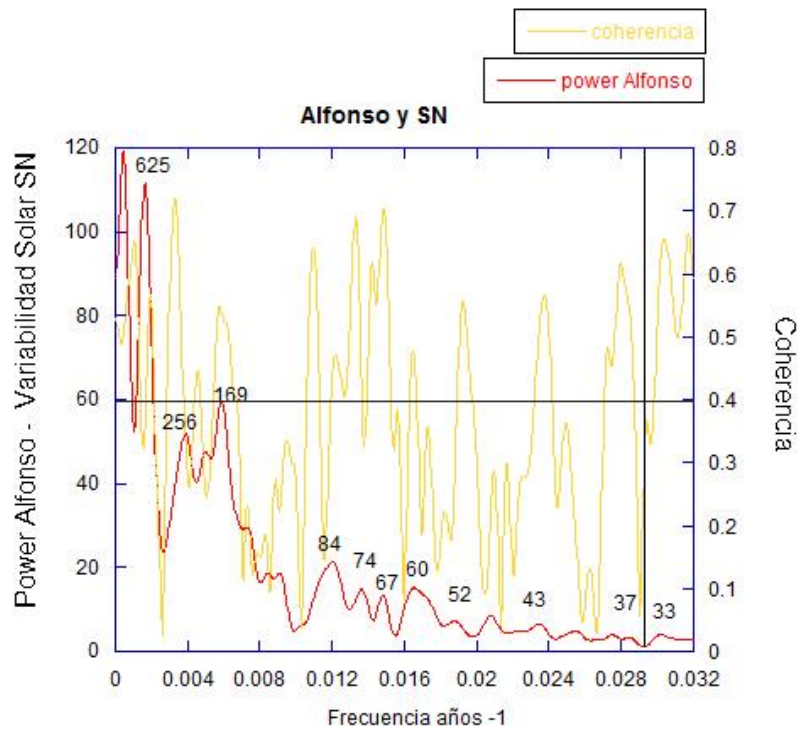


Figura 41. Espectro de frecuencia del resultado de análisis de coherencia modo espectral cruzado de los registros cuenca Alfonso y las manchas solares (Solanki et al., 2004).

Tabla 4. Periodos (años) que son significativos y coherentes para todos los registros.

Control Climático dominante	Ciclones tropicales	Monzón de Norte América	Variabilidad solar (Manchas solares)	ODP	ENSO	ZCIT
Sitio	Cuenca Alfonso	Cuenca Pescadero		San Gorgonio	Laguna Pallcacocha	Cuenca Cariaco
Ubicación	24°38'968N 110°37.551W	24°05'74N 108°14W		34°04'N 116°29W	2°26'S 79°14W	10°43.73'4N 65°10.18 W
Referencia	<i>Este trabajo</i>	<i>Nava, 2012</i>	<i>Solanki et. al, 2004</i>	<i>Mcdonald, 2005</i>	<i>Moy et al. 2002</i>	<i>Huag et al. 2001</i>
	256	256	256		259	
	84	82	84		84	
	74		74			71
	61	61			61	
	52	50		49		

4.4.2 Periodos fundamentales de la serie de Si en relación con otros proxis.

De los periodos significativos y coherentes encontrados es importante e interesante destacar el de 250 años, aunque solo en Pallcacocha, Cuenca Pescadero y manchas solares es significativo y coherente, y en Cariaco solo es significativo. Lo interesante aquí es que los niveles turbidíticos que hemos omitido caen en estos periodos, en donde se observa que después de un bajo en sedimentación, se presenta un aporte alto en silicatos de (Si).

Estos niveles turbidíticos pueden derivarse de sismos y fallamiento existentes en Bahía de la Paz que han modificado la estructura sedimentaria, como se han reportado indicios de turbiditas en núcleos colectados por Chumiline (2011); Gorsline et al. (2000) y González-Yajimovich et al. (2007), en Cuenca Alfonso y el Golfo de California adyacente.

Proponemos que estas turbiditas pueden haberse presentado por el arribo de tormentas extremas. Es interesante que otros proxis también presentan el periodo de 250 años, razón por la cual proponemos que es probable que exista una relación climática.

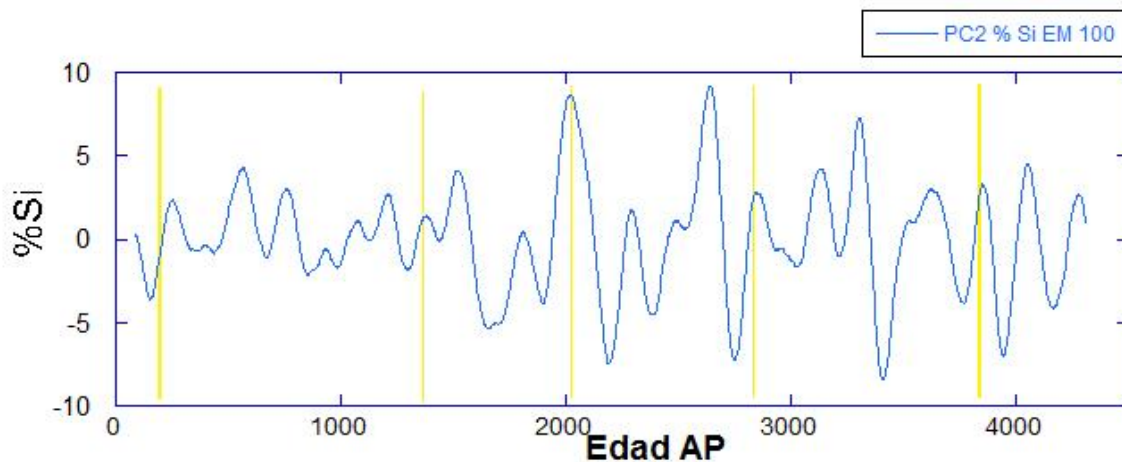


Figura 42. Serie de los periodos de 250 años con líneas amarillas se indican los niveles turbidíticos reducidos en el núcleo de la cuenca Alfonso.

Existe un periodo ampliamente reconocido en el cual prácticamente no hubo manchas solares, este periodo es conocido como el mínimo de Maunder (235- 305 años AP). Al comparar nuestro registro con el registro de manchas solares de Solanki et al. (2004) observamos que existe una relación entre el número de manchas solares y la concentración de Si en Cuenca Alfonso. Un ejemplo claro de esto son las relaciones entre estos dos parámetros en los años 2317, 2710 y 2426 AP (Figura 33). También se observa al comparar en la serie de tiempo continua el P4 de Alfonso con la serie de tiempo de manchas solares (Figura 43).

Estos resultados apoyan el modelo que propone que los ciclos de la producción solar son uno más de los forzamientos importantes que modulan las lluvias en la región de Baja California, por lo menos en los últimos 1000 años (McDonald et al., 2004).

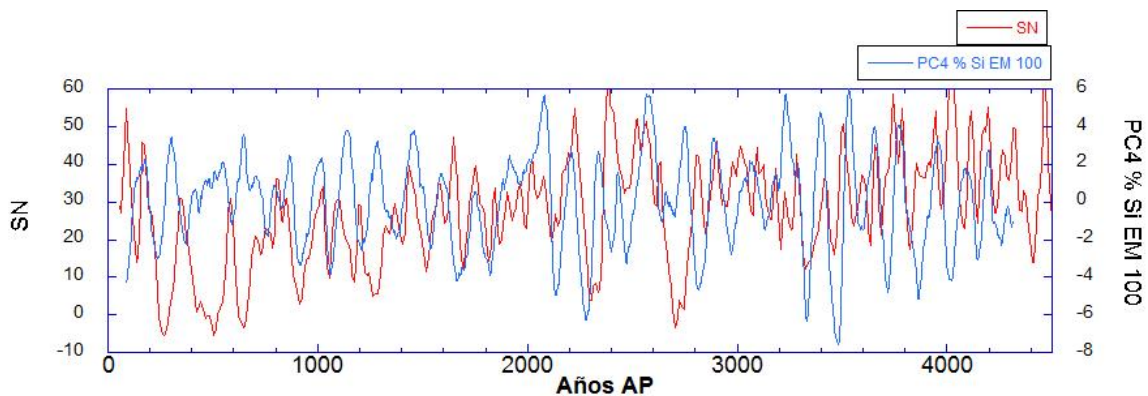


Figura 43. Comparación del PC4 de periodos de 166 años resultado del análisis espectral singular de Cuenca Alfonso y las manchas solares SN (Solanki et al., 2004).

Al sobreponer las series de los últimos 1000 años de los registros de Alfonso y la reconstrucción de ODP de McDonald et al. (2004) se observa que existe una estrecha relación. Esto sugiere que la ODP juega un papel importante en la conexión que existe con los ciclones tropicales, cuando la ODP está en fase positiva las trayectorias de los ciclones suelen presentar trayectorias más largas (Ivanova y Gámez, 2013) y alcanzan a llegar a la península. Para corroborar esta sincronía en las series de tiempo se realizó un análisis espectral MTM y uno B Tukey para evaluar la coherencia lo que dio como

resultado que el registro de la ODP comparte el periodo de 50 años con el registro de Cuenca Alfonso de manera significativa y coherente.

Un evento característico de esta relación entre la ODP y los huracanes es evidente en el año 800 AP ubicado dentro del periodo medieval 650 y 1050 (McDonald et al., 2005), que se caracteriza por valores negativos en la ODP y una sequía severa y prolongada evidente a lo largo del oeste y centro de América del Norte.

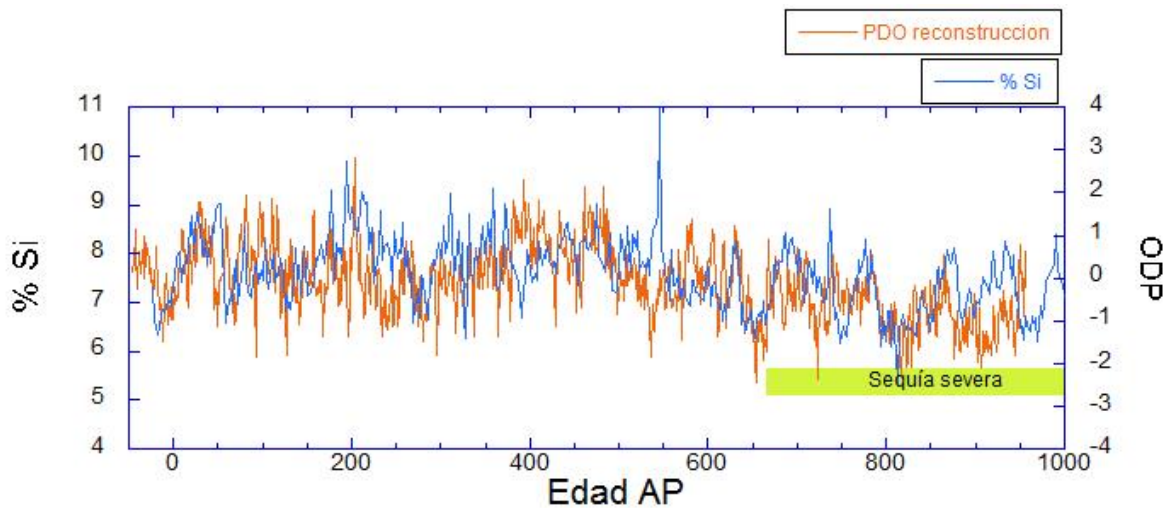


Figura 44. Comparación de registros de Cuenca Alfonso y reconstrucción ODP.

Los periodos 250, 84, 61, 52 se encuentran representados también en el registro del Monzón en la Cuenca Pescadero. Estos periodos son típicos de la variabilidad solar, lo que sugiere que estos dos fenómenos están influenciados por el mismo forzamiento, ya que ambos dependen en principio del calentamiento de la alberca de agua cálida del Pacífico tropical oriental.

La dinámica de ENOS en el Pacífico oriental ecuatorial transporta anomalías de aguas cálidas hasta las costas mexicanas. Relaciones estadísticas sugieren que durante años El Niño aumenta el número de huracanes en el Pacífico mexicano (Martínez Sánchez, 2011). Nuestros resultados confirman esta relación, dado que para los periodos 250, 84

y 61 son coherentes y significativos entre el registro de Cuenca Alfonso y el registro de laguna Pallcacocha, que se utiliza como índice de actividad del ENOS.

4.4.3 Análisis Wevelet.

Con el fin de saber en qué tiempo los diferentes periodos del registro de Si presentan la mayor intensidad, se realizó un análisis Wavelet (Figura 45), muestra que del año 1500 a los ~3500 años AP, el período fundamental de 500 años tiene su mayor intensidad en comparación al resto del registro. No es el caso del periodo de 250 años, el cual tiene su mayor intensidad entre los años 2000 al 3000 AP. Hacia el presente las periodicidades con significancia son 128 y 64 años.

Al comparar la serie de tiempo del Si con la serie de frecuencias (análisis Wevetel) encontramos cierta relación entre la alta variabilidad y el poder espectral de los periodos de 500 y 250 años durante el periodo de tiempo entre 1500 y 3500 años AP (Figura 45).

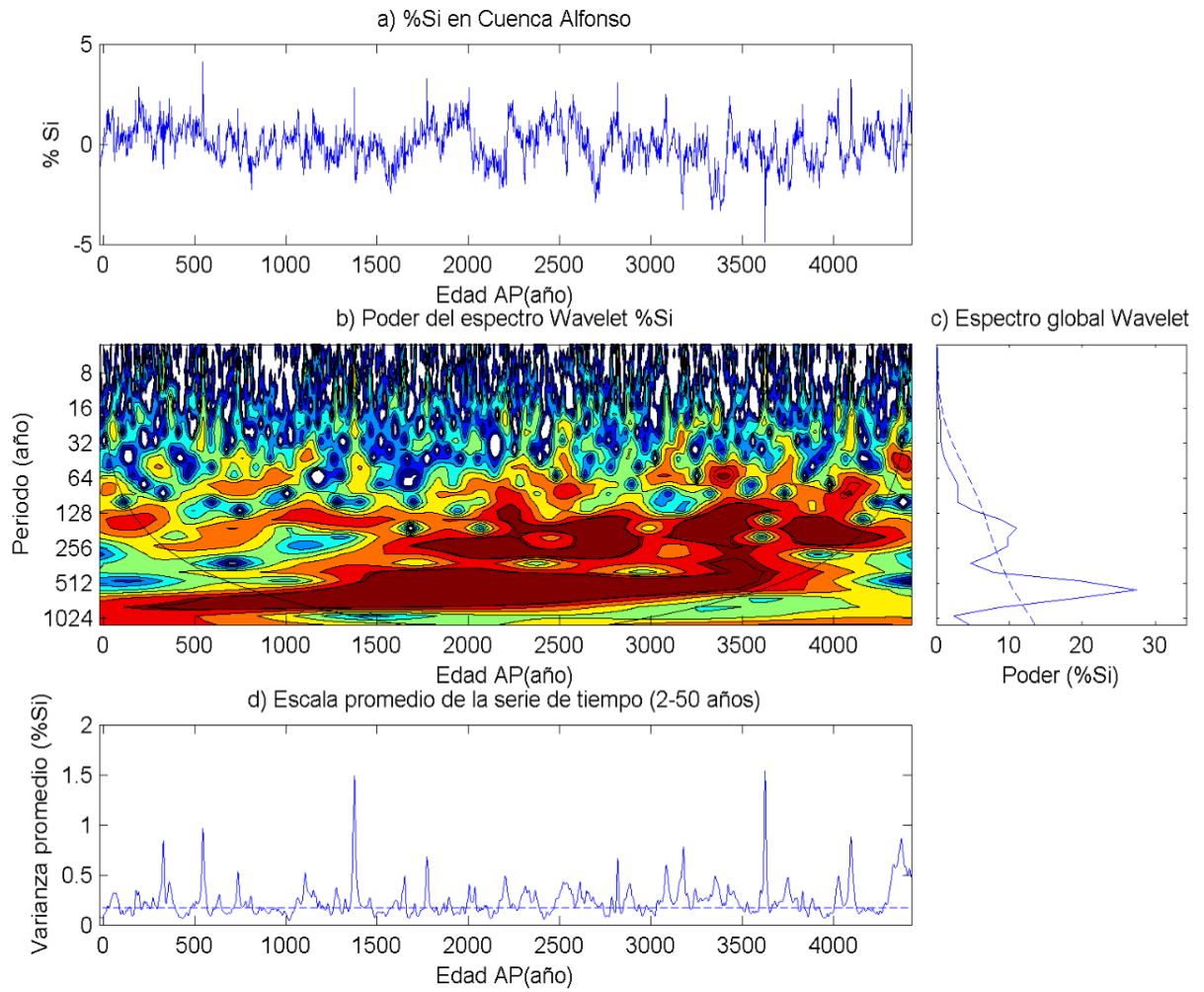


Figura 45. Análisis de Wavelet de la serie de tiempo de Si de Cuenca Alfonso.

Capítulo 5. Conclusiones

Se obtuvo un registro del porcentaje de Si y Fe en un núcleo de sedimentos laminados en la cuenca Alfonso, al norte de La Paz, B.C.S., con una longitud de 1947mm que corresponde a una edad 4427 AP (-2477 a. C) con resolución de 2 años.

La variabilidad del contenido relativo de Si y Fe en los sedimentos laminados de Cuenca Alfonso es un índice adecuado para estimar la precipitación en la región asociada a los huracanes.

Los mínimos que se presentan en la serie se encuentran centrados alrededor de los años 808, 1386, 1570, 2020-2200, 2695, 3375, 3625 años AP.

Los máximos se observan centrados alrededor de 190, 543, 1370, 1771, 2012, 2229, 2477, 2814, 3087, 3440, 3825, 4026, 4098, 4371, 4419 años AP.

El Si varía al mismo ritmo que el Fe, además presenta las mismas periodicidades (625, 256, 250, 178, 163, 149, 111, 84, 70, 62, 50) esto indica que estos dos elementos están asociados a las partículas de origen terrígeno (limos y arcillas).

El periodo significativo de los 84 años en el registro de Cuenca Alfonso se ha encontrado en otros registros, resultando coherente con el monzón mexicano, ENOS y el número de manchas solares, siendo este último el control principal asociado al ciclo de Gleissberg de 80 a 90 años.

Los ciclos de producción solar son uno de los forzamientos importantes que modulan las lluvias en la región de Baja California Sur, ya que existe una relación entre el número de manchas solares y la concentración de Si especialmente a escalas centenarias.

En el núcleo de cuenca Alfonso, los niveles turbidíticos muestran una ciclicidad para periodos de 250 años. Es probable que exista una relación climática ya que este periodo es compartido con otros proxis.

Es posible que la Oscilación Decadal del Pacífico esté modulando la variabilidad de la precipitación en Bahía de La Paz, debido a la estrecha relación entre la serie Si de Cuenca Alfonso y el registro de anillos de árboles en California para los últimos 1000 años.

Literatura citada.

- Alvarado Gastelum R., 2007. Estratigrafía de capas rojas y unidades adyacentes en el área de Punta Coyote, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, 86 p.
- Bahena, A. F. 2007. Cambios temporales en los componentes y flujos de la materia en hundimiento en Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante el periodo 2002-2005. La Paz, Baja California Sur, México: Tesis de doctorado. CICIMAR-IPN.
- Cavazos, T., Turrent TC., and Lettenmaier D. P., 2008. Extreme precipitation trends associated with tropical cyclones in the core of the North American monsoon, *Geophys. Res. Lett.* 35 (21)
- Chester R., 2003. *Marine Geochemistry*. Blackwell Publishing, London, 506 p.
- Choumiline Konstantin 2011 *Geoquímica de la materia particulada en hundimiento y de los sedimentos recientes en Cuenca Alfonso, bahía de la Paz*. La Paz B.C.S. Tesis de doctorado. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur.
- CONAGUA. Servicio Meteorológico Nacional: 135 años de historia en México, 2012. 53p. Recuperado de Enero 2016 de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/CGSMN-1-12.pdf>
- Cota Castro R.M., 2011. Transición entre los depósitos miocénicos sin arco y posteriores al arco, en el área de Alfredo V. Bonfil, arroyo Seco, Municipio de La Paz, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, 91p.
- Danemann, G. D., y Ezcurra, E. 2007. *Bahía de los Angeles: Recursos naturales y comunidad*. Línea base
- Douglas R., González-Yajimovich O., Ledesma-Vazquez J. and Stainess-Urias F., 2007. Climate forcing, primary production and the distribution of Holocene biogenic sediments in the Gulf of California. *Quaternary Science Reviews*, 26(1), 115-129
- Drake W.R., 2005. Structural analysis, stratigraphy, and geochronology of the San José Island accommodation zone, Baja California Sur. M.S.Thesis. Northern Arizona University, Flagstaff, 232 p.
- Duce R.A. and Tindale N.W., 1991. Atmospheric transport of iron and its deposition in the ocean. *Limnology and Oceanography*, 36 (8) 1715-1726.

- Fisher K., Dymond J., Lyle M., Soutar A. and Rau S., 1986. The benthic cycle of copper: Evidence from sediment trap experiments in the eastern tropical North Pacific Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50 (7) 1535-1543.
- Gómez, J. J. A., & Venzor, J. A. P. 1987. Estudio geológico de Punta Coyotes, Baja California Sur. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 7(1), 1-21.
- Grey, W. M. 1968. A global view of the origin of tropical disturbances and storm. *Monthly Wea. Review*. 96(10) 669-700
- Gray, W. M. 1979. Hurricanes: Their formation, structure and likely role in the tropical circulation. *Meteorology over the tropical oceans*, 77, 155-218.
- Guerrero M. 2009, El mínimo solar de Gleissberg podría afectar al calentamiento global, *Planetaria* 18- 30 p
- Ghil, M., Allen, M. R., Dettinger, M. D., Ide, K., Kondrashov, D., Mann, M. E., ... & Yiou, P. 2002. Advanced spectral methods for climatic time series. *Reviews of geophysics*, 40(1).
- Hausback, B. P. 1984. Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, Mexico.
- Frizzell Jr, V. A. 1984. Geology of the Baja California Peninsula. *Geology of the Baja California Peninsula*. (Frizzell, VA, ed.), Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Pac. Sec, 39, 1-7.
- Haug, G. H., Hughen, K. A., Sigman, D. M., Peterson, L. C., & Röhl, U. (2001). Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. *Science*, 293(5533), 1304-1308.
- Ivanova A. y Alba E. Gámez A. 2013 Plan estatal de acción ante el cambio climático para Baja California Sur. Recuperado de :http://iecc.inecc.gob.mx/documentos-descarga/2012_bcs_peacc.pdf
- Jáuregui, E.. 2003. Climatology of landfalling hurricanes and tropical storms in Mexico. *Atmósfera*, 16(4), 193-204.
- Jickells T.D., An Z.S., Andersen K.K., Baker A.R., Bergametti G., Brooks N., Cao J.J., Boyd P.W., Duce R.A., Hunter K.A., Kawahata H., Kubilay N., laRoche J., Liss P.S., Mahowald N., Prospero J.M., Ridgwell A.J., Tegen I. and Torres R., 2005.

Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate. *Science*, 308(5718) 67-71.

Jickells T.D., Dorling S., Deuser W.G., Church T.M., Arimoto R. and Prospero J.M., 1998. Air-borne dust fluxes to a deep water sediment trap in the Sargasso Sea. *Global Biogeochemical Cycles*, 12: 311-320.

Kennett, 1982. *Marine Geology*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 813 p.

Kremling K. and Streu P., 1993. Saharan dust influenced trace element fluxes in Deep North Atlantic subtropical waters. *Deep Sea Research Part I*, 40(6) 1155-1168.

MacDonald, G. M., & Case, R. A. 2005. Variations in the Pacific Decadal Oscillation over the past millennium. *Geophysical Research Letters*, 32(8).

Martínez Sánchez, J. N. 2011. Variabilidad de los Huracanes el pacifico Oriental: tesis de maestría. CICESE

Moy, C. M., Seltzer, G. O., Rodbell, D. T., & Anderson, D. M. 2002. Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch. *Nature*, 420(6912), 162-165.

Nameroff T.J., 1996. Suboxic Trace Metal Geochemistry and Paleorecord in Continental Margin Sediments of Eastern Tropical North Pacific. Ph.D. Thesis, University of Washington, Seattle, 189 p

Nava Fernández, C. E., 2012. Reconstrucción paleoclimática de las lluvias de verano en la región del Monzón Mexicano registros de los últimos 6000 años. Ensenada Baja california: tesis de maestría. CICESE

Nava-Sánchez E.H., 1997. Modern fan deltas of the west coast of the Gulf of California, Mexico. PhD Thesis. University of Southern California, Los Angeles.

Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Alaniz-Alvarez, S. A., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J. J., & Morán-Zenteno, D. J. 1991. Geologic provinces of Mexico: a new proposal and bases for their definition. In *Convencion sobre la evolucion geologica de Mexico y Primer Congreso Mexicano de Mineralogia*. Sociedad Mexicana de Mineralogia y Secretaria de Educacion Publica, Pachuca, Hgo. Memorias (pp. 143-144).

Palmen, E. 1948. On the formation and structure of tropical hurricanes. *Geophysica*, 3(1), 26-38.

- Pérez-Cruz L. and Urrutia-Fucugauchi J., 2009., Magnetic mineral study of Holocene marine sediments from the Alfonso Basin, Gulf of California - implications for depositional environment and sediment sources *Geofísica Internacional*. 48 (3), 305-318
- Pérez-Cruz L., 2006. Climate and ocean variability during the middle and late Holocene recorded in laminated sediments from Alfonso Basin, Gulf of California. *Quaternary Research*, 65 (3): 401-410.
- Prospero J.M., 1999. Long-term measurements of the transport of African mineral dust to the Southeastern United States: Implications for regional air quality. *Journal of Geophysical Research*, 104 (D13) 15,917-15,927
- Rodríguez Castañeda, A.P. 2008. Cambios temporales en los componentes y flujos de la materia en hundimiento en Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante el período 2002-2005. Tesis de doctorado. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, 42 p.
- Zavala, C, S., Belda, D.L., Vázquez, S, H., and Cota D.L., 1998. La aridez en el noroeste de México. Un análisis de su variabilidad espacial y temporal, *Atmosfera*, 29 -44p.
- Solanki, S. K., Usoskin, I. G., Kromer, B., Schüssler, M., and Beer, J. 2004. Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature*,431(7012), 1084-1087.
- Trapp J.M., Millero F. and Prospero J.M., 2010. Temporal variability of the elemental composition of African dust measured in trade wind aerosols at Barbados and Miami. *Marine Chemistry*, 120(1): 71-82.
- Vicuña, G. 2009. Manual de meteorología popular. Editorial Maxtor. 197