



ARTÍCULO

Variación del nivel medio del mar en el caribe colombiano

Mean Sea Level Variation at the Colombian Caribbean

Fecha recepción: 2006-06-21 / Fecha aceptación: 2006-08-16

Rafael Ricardo Torres Parra
E-mail: rtorres@cioh.org.co.

Juan Carlos Gómez López
E-mail: camizc@cioh.org.co.

Fernando Afanador Franco
E-mail: Fafanador@cioh.org.co.

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH,
Isla Manzanillo, Cartagena de Indias, D.T. y C.

Resumen

Utilizando la base de datos del Centro del Nivel del Mar de la Universidad de Hawai, se analizaron los registros corregidos de siete estaciones mareográficas en el mar Caribe. Se encontró gran diferencia entre los resultados de variación del nivel medio del mar, por lo cual se utilizaron específicamente para la cuenca Colombia cuatro series de tiempo disponibles. La información de Puerto Limón y la de Port Royal no son consideradas para estimar la variación del nivel medio del mar, teniendo en cuenta lo corto de las series y la calidad de los datos que las conforman. Se efectuó un análisis comparativo de las series del nivel del mar de Cartagena y Cristóbal con base en el comportamiento mensual durante 41 años, encontrando que la primera presentó mayor dispersión de los datos, así como mayor variación estacional. Por lo anterior y debido a la calidad de la serie de tiempo de Cartagena se consideró que la mejor información disponible para estudiar la variación del nivel medio del mar para el sur de la cuenca Colombia del mar Caribe, es la encontrada en la serie de tiempo de Cristóbal en Panamá. Se estableció que si el comportamiento del nivel medio del mar es similar al registrado entre 1907 y 1997 en Cristóbal, este deberá aumentar entre 2.01 y 3.58 *mm/año*.

Palabras claves: Variación del Nivel Medio del Mar, Serie de Tiempo, Mar Caribe. Mareógrafo.

CIOH
www.cioh.org.co

Abstract

Using the database of the University of Hawaii Sea Level Center, seven tide gauge stations corrected records on the Caribbean Sea were analyzed. Due to a great difference among the results of the mean sea level variability, four time series available for the Colombian Basin were used. Information at Puerto Limon and Port Royal were not considered for estimation of the mean sea level variation taking into account the series were too short and because of the data quality. A comparative analysis was carried out within the sea level series at Cartagena and Cristobal, based on the monthly behavior during 41 years, finding out that the first showed higher data dispersion and stationality variability. Due to the foregoing and because of Cartagena's time series quality, it was considered that the best information available for studying the mean sea level variation at the south of the Colombian Basin at the Caribbean Sea, was founded on the Cristobal's time series at Panama. It was established that if the behavior of the mean sea level is similar to the one registered at Cristobal between 1907 and 1997, this should rise between 2.01 and 3.58 mm/year.

Key words: Mean Sea Level Variation, Time Series, Caribbean Sea, Tide Gauge.

Introducción

Todos los países costeros tienen la necesidad de mejorar el conocimiento científico y la comprensión de los procesos oceánicos y costeros, con el propósito de formular y aplicar políticas sostenibles sobre el océano y las zonas costeras. Parte de este conocimiento está relacionado con las diferentes amenazas de origen marino que ponen en riesgo las poblaciones e infraestructura costera y deben ser tenidos en cuenta para lograr el desarrollo sostenible.

Las amenazas de origen marino pueden clasificarse de acuerdo con la velocidad de

impacto en súbitos o de evolución lenta. Entre las primeras tendríamos los tsunamis, huracanes u oleaje de tormenta, en tanto que entre los segundos están procesos erosivos y a una mayor escala de tiempo el aumento relativo del nivel medio del mar, el cual se presenta principalmente por actividad tectónica o el descongelamiento de los casquetes polares y la expansión térmica del agua del mar como consecuencia del calentamiento global.

El presente artículo en todo momento hará referencia a la variación relativa del nivel medio del mar, analizando la tendencia de esta variación para la costa continental de Colombia en el Caribe a partir del análisis de series de tiempo disponibles, lo cual se considera de suma importancia pues da información a cerca de esta amenaza, la cual unida con la vulnerabilidad existente en este litoral, dada la población, ecosistemas e infraestructura existente, permite conocer el riesgo en esta región.

El cálculo de la variación del nivel del mar puede ser empleado para concebir planes de contingencia o de ordenamiento territorial, manejo de la zona costera, estudios de impacto en ecosistemas vulnerables como los corales, entre otros. El presente artículo se desarrolló en marco del proyecto de Jurisdicción de la Dirección General Marítima, en el cual uno de los bloques temáticos consiste en el análisis de la línea de más alta marea, para lo cual fue necesario en manejo de las series de tiempo de los mareógrafos disponibles en el Caribe.

Este tema fue abordado con anterioridad en el documento Informe Técnico No. 1: Definición del área de estudio, del Programa Holandés de Asistencia para Estudios en Cambio Climático: Colombia [1]. Sin embargo, en el presente artículo se sigue una metodología diferente.

Metodología

Con el fin de evaluar la variación en el nivel medio del mar en el Caribe Colombiano, se

utilizó la base de datos del Centro del Nivel del Mar de la Universidad de Hawai (UHSLC) [2] el cual mantiene una política de aseguramiento de la calidad de los datos, la cual se aplica a todas las series de tiempo con que cuenta, con lo cual permite conocer al usuario la calidad de la información que proveen.

Para el presente artículo se analizaron series de tiempo de siete lugares en el Caribe cercanos a la costa colombiana, con las características que se indican en la tabla 1. En la Cuenca Colombia están las estaciones de Cartagena - Colombia, Cristóbal - Panamá, Puerto Limón - Costa Rica y Port Royal - Jamaica. En la Cuenca de Venezuela la estación de Magueyes en Puerto Rico y La Guaira - Venezuela. En la Cuenca Caimán se analizó la estación de Puerto Cortes en Honduras. La ubicación de las estaciones se presentan en la figura 1. Para Cartagena existen dos series de tiempo. En el presente artículo solo se utilizó la primera (1952-1992), teniendo en cuenta que la segunda (1993-2000) es corta, no tiene un enlace de nivel vertical con los datos anteriores y el UHSLC recomienda utilizarla con precaución dada la falta de muchos datos y errores de tiempo que impiden corregir posibles cambios de nivel.

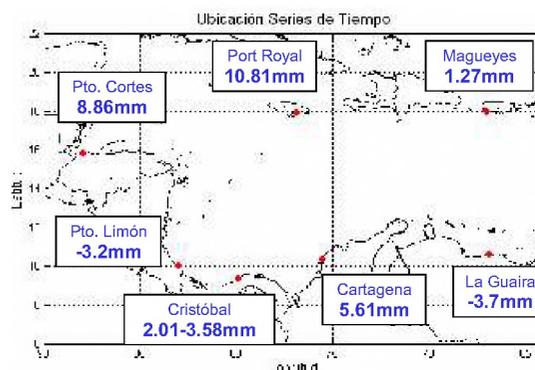


Figura 1. Ubicación de las estaciones y variación del nivel medio del mar de acuerdo con la serie de tiempo disponible en cada estación.

Tabla 1. Series de Tiempo.

Estación	ANMN mm/año	No. Años	Año Inicio	Año Final	% Sin Datos	Observaciones UHSLC
Cartagena	5.61	41	1952	1992	10.4	11 huecos de más de un mes. 17 correcciones de nivel. Incertidumbre de pocos cm.
Cristóbal	2.01	91	1907	1997	4.3	Sin datos para 1979-1980 06 huecos de más de un mes. 03 diferentes ubicaciones relacionadas por nivelación topográfica con marcas de nivel. 05 correcciones de nivel.
Cristóbal*	3.58	41	1952	1992	5.7	Sin datos para 1975. 13 huecos de más de un mes. 08 correcciones de nivel. Incertidumbre de pocos cm.
Puerto Limón	-3.2	12	1970	1981	38.9	Sin datos para 1975. 13 huecos de más de un mes. 08 correcciones de nivel. Incertidumbre de pocos cm.
Port Royal	10.81	7	1965	1971	1.3	01 hueco de más de un mes. Sin correcciones de nivel. Datos tomados por la NOAA**.
Magueyes	1.27	40	1965	2004	3.1	03 huecos de más de un mes. Sin correcciones de nivel. Datos tomados por la NOAA**.
La Guaira	-3.7	10	1985	1994	3.0	02 huecos de más de un mes. Sin correcciones de nivel.
Puerto Cortes	8.86	21	1948	1968	1.3	Sin huecos de más de un mes. No se aplicaron correcciones. Datos tomados por la NOAA**.

*Parte de la Serie de Tiempo que coincide con la de Cartagena.
**National Oceanographic and Atmospheric Administration EUA.

Para calcular la variación del nivel medio del mar, para cada una de las estaciones seleccionadas se descargó de la página Web del Centro de Nivel del Mar de la Universidad de Hawai los datos clasificados de “calidad de investigación” disponibles de manera horaria en Tiempo Universal Coordinado -UTC, los cuales se encuentran distribuidos en un archivo para cada año. Estos archivos en su formato original fueron leídos y posteriormente los datos tratados utilizando programas escritos con el software Matlab.

Se tomaron todos los datos horarios disponibles de cada una de las series de tiempo de los mareógrafos y se le ajustó una recta siguiendo el método de los mínimos cuadrados. La pendiente de esta recta corresponde a la variación del nivel medio del mar. Lamentablemente las series de tiempo difieren en el lapso registrado y su duración, algunas tienen porcentajes muy altos de datos faltantes y la mayoría tienen observaciones del Centro de Nivel del Mar (UHSLC) por cambios de nivel vertical, ubicación, medición del tiempo, entre otros, lo cual no permite tener plena confianza en ninguna de las Series de Tiempo. Las características de cada serie se encuentran en la tabla 1.

En la figura 2 se muestran las series de tiempo con datos horarios para las cuatro estaciones de

la Cuenca Colombia utilizadas. En azul la serie de tiempo y en rojo la recta ajustada por el método de mínimos cuadrados.

Resultados

Se encontraron grandes diferencias entre las variaciones del nivel del mar calculadas a partir de las series de tiempo de las siete estaciones

utilizadas, todas ubicadas en el Caribe. El mayor aumento registrado fue en Jamaica utilizando una serie de tiempo de 7 años (10.81 mm/año) y la mayor disminución registrada se encontró en La Guaira, en una serie de tiempo de 10 años (-3.7 mm/año). Estas series de tiempo son muy cortas por lo cual no son muy apropiadas para calcular la variación en el nivel medio del mar, sin embargo son una importante referencia.

Llamó igualmente la atención la diferencia entre Puerto Rico y Jamaica, las dos series de tiempo colectadas por la National Oceanographic and Atmospheric Administration NOAA de los Estados Unidos de América, por su relativa cercanía y condición insular, a pesar de lo cual se encontró una diferencia de 9.54 mm/año entre las dos series de tiempo. Esta diferencia resalta lo inadecuado de utilizar para análisis de variación del nivel medio del mar series de tiempo cortas como la de Jamaica.

Teniendo en cuenta que el comportamiento de la onda de marea se encuentra relacionada con las características de las cuencas oceánicas, y ante las grandes diferencias encontradas entre las estaciones estudiadas, se compararon los datos de acuerdo con su ubicación en las cuencas en que se divide el mar Caribe. Así, para la Cuenca de Venezuela, se encontró una variación en Puerto Rico de 1.7 mm/año , el cual es un valor más apropiado para describir la variación del nivel medio del mar en esta cuenca que los 3.7 mm/año registrados en La Guaira, teniendo en cuenta la corta longitud de la serie de tiempo de Venezuela. En la Cuenca Caimán, tan solo se analizó el valor de una serie de tiempo en Puerto Cortes - Honduras, encontrando una variación del nivel medio del mar de 8.86 mm/año , el cual se considera muy alto, sin embargo no se comparó con otras series de tiempo en esta cuenca.

En el caso de la Cuenca Colombia, de especial interés para este artículo, se utilizaron cuatro series de tiempo, ubicadas en Cartagena, Cristóbal, Limón y Jamaica. Para construir

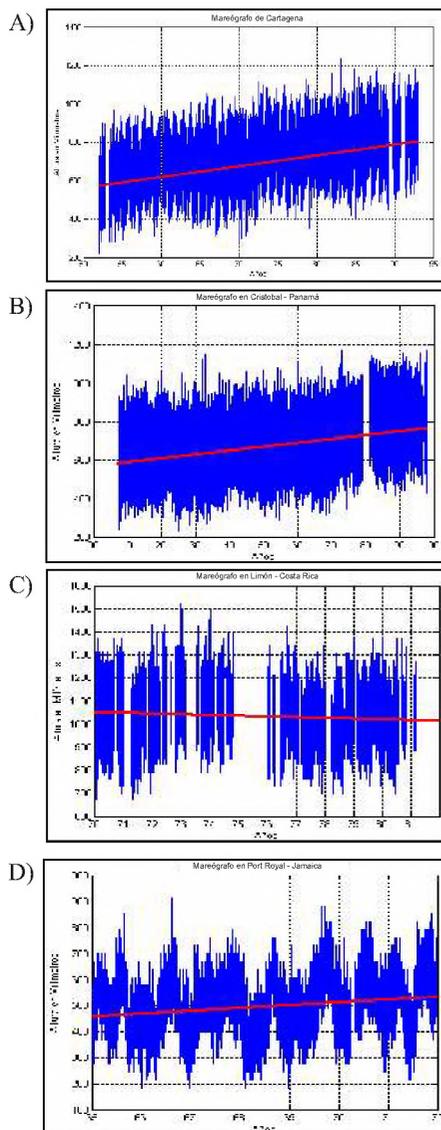


Figura 2. Series de Tiempo y recta ajustada por el método de los mínimos cuadrados. A) Cartagena, B) Panamá, C) Costa Rica, D) Jamaica.

cada una de las curvas que se presentan en la figura 3 se calculó a partir de los datos horarios el promedio de cada año, al cual se le restó el valor del promedio de altura de toda la serie de tiempo para facilitar la comparación entre ellas. La serie de tiempo de Cristóbal no tiene información para 1979 y 1980, la de Costa Rica no tiene información para 1975, por lo cual no se observa promedio calculado para estos años.

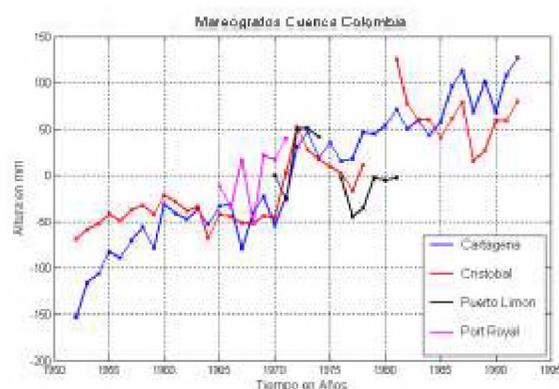


Figura 3. Series de Tiempo de nivel del mar en Cartagena, Cristóbal, Puerto Limón y Port Royal. Promedios anuales con base en datos horarios, restando el promedio multianual.

En la figura 3 se observa una buena coincidencia entre 1971 y 1974 entre los datos de Cartagena, Cristóbal y Puerto Limón. La curva de Port Royal no responde al comportamiento de las series de Cristóbal y Cartagena. La serie de Puerto Limón en toda su extensión tiene un comportamiento similar al de Cristóbal. En general las curvas de Cristóbal y Cartagena tienen buena coincidencia salvo entre 1952 y 1960, donde la pendiente de los datos de Cartagena es mayor.

Teniendo en cuenta lo corto de las series de tiempo de Port Royal y Puerto Limón, así como el alto porcentaje de datos faltantes en esta última serie de tiempo (38.9%), así como otras observaciones de precaución del UHSLC respecto a estos registros, se considera más

representativo para analizar las variaciones del nivel medio del mar en la Cuenca Colombia, los datos de los registros de Cartagena y Cristóbal.

En la figura 4, se presentan las series de tiempo de Cristóbal y Cartagena incluyendo toda la información disponible. Nuevamente se calculó el valor anual a partir del promedio de los datos horarios de cada año, restando el promedio multianual de la serie de tiempo. En la curva de Cristóbal se observa una pendiente suave entre 1907 y 1964. Tiene también dos picos en 1973 y 1981, de origen desconocido de acuerdo con información del UHSLC. Desde 1964 se observa una mayor pendiente coincidiendo con la de Cartagena. La variación del nivel medio del mar para toda la serie de Tiempo de Panamá (91 años) con base en los datos horarios, corresponde a 2.01 mm/año , en tanto que para el periodo de registro que coincide con la serie de Cartagena (1952-1992 años), fue de 3.58 mm/año . La serie de Cartagena arrojó un valor de 5.61 mm/año , siendo más alto que Panamá, lo cual es consecuencia de la mayor pendiente que se observa entre 1942 y 1960.

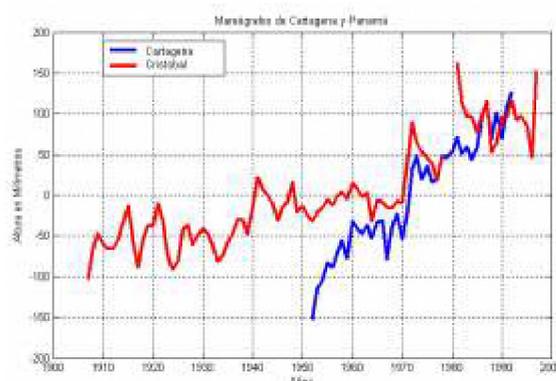


Figura 4. Series de Tiempo de nivel del mar en Cartagena y Cristóbal. Promedios anuales con base en datos horarios, restando el promedio multianual.

Es importante tener en cuenta que en el caso de la serie de Cartagena, el UHSLC, presenta

varias observaciones, especialmente 17 correcciones al nivel vertical de referencia, lo cual introduce gran incertidumbre a la calidad de los datos. A esto hay que adicionarle que el mareógrafo se encontraba ubicado dentro de la Bahía de Cartagena, en la cual desemboca el canal del dique, siendo este un importante aporte de volúmenes de agua dulce proveniente del río Magdalena, el cual tiene su consecuencia en la variación del nivel del mar en la bahía. Igualmente la costa colombiana es afectada por oscilaciones estacionales y de mesoescala, lo cual juega un importante papel en el nivel del mar costero [3].

Con el fin de evaluar el impacto de estos fenómenos estacionales en los registros de los mareógrafos de Cartagena y Cristóbal así como la dispersión de los datos, se analizaron las variaciones mensuales en las dos series de tiempo. Para esto a cada año se le restó su promedio anual, luego se promediaron todos los datos horarios de cada uno de los doce meses del año para el periodo de 41 años de la serie de tiempo de Cartagena. Así por ejemplo se promediaron los 744 datos (31 días x 24 horas) de cada uno de los enero de los 41 años del registro de Cartagena. Aquellos meses a los cuales les faltaran más de 15 días de datos no fueron promediados.

En la figura 5 se presentan las variaciones mensuales para Cartagena. Con la línea azul se unen los promedios mensuales de los 41 años de la serie de tiempo, indicando con la línea perpendicular el valor de una desviación estándar, como un indicador de la dispersión de los datos. En la línea negra se presenta el máximo valor para cada mes y en rojo el mínimo valor encontrado en los 41 promedios calculados. Los datos se encuentran en la tabla 2.

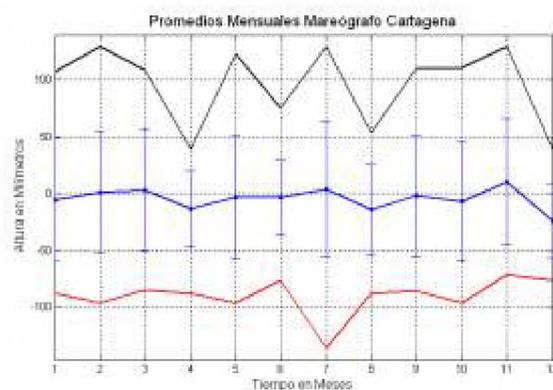


Figura 5. Promedios mensuales de 41 años de datos horarios del mareógrafo de Cartagena.

Se encontró que el máximo promedio se presentó en noviembre (10.49 mm) y los mínimos en abril (-13.13 mm), agosto (-14.17 mm) y diciembre (-24.09 mm). Es apreciable la incidencia estacional en el nivel del agua medido en el mareógrafo de Cartagena, como por ejemplo en la diferencia entre los promedios de noviembre a diciembre, la cual es de 34.58.

En la tabla 2 también se puede observar la amplia dispersión mensual en Cartagena. Por ejemplo en el caso del mes de julio está la mayor desviación estándar, 60.04 mm, con una diferencia entre el menor y mayor promedio de los 41 años de datos de 265.68 mm, considerándose consecuencia de la variación en la intensidad del veranillo de San Juan. Es decir que de año a año, el comportamiento mensual puede ser muy diferente. La menor desviación estándar se presentó en el mes de diciembre con un valor de 32.55 mm, muy similar a la encontrada en los meses de abril y junio.

Con la serie de datos de Cristóbal se siguió la misma metodología aplicada a los datos de Cartagena. En la figura 6 se presenta el promedio mensual de los 41 años, coincidentes con la serie de tiempo de Cartagena, para poder comparar los resultados usando el mismo periodo de tiempo.

En los datos de Cristóbal se encontró que los máximos promedios se presentan en diciembre (14.33 mm) y noviembre (6.75 mm), y los mínimos en septiembre (-4.27 mm) y junio (-4.26 mm). En este caso la incidencia estacional en el nivel del agua es inferior a la de Cartagena. Igualmente para Cristóbal la máxima diferencia entre los promedios de meses consecutivos fue de 9.89 mm entre octubre y noviembre, muy inferior a los 34.58 mm de diferencia entre los promedios de noviembre y diciembre en Cartagena.

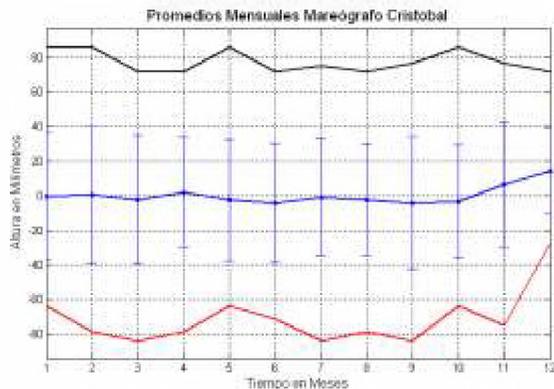


Figura 6. Promedios mensuales de 41 años de datos horarios del mareógrafo de Cristóbal.

Tabla 2. Promedios Mensuales Cartagena y Cristóbal.

Mes	Cartagena (datos en mm)				Cristobal (datos en mm)			
	Prom.	Desv. Estandar	Máximo	Mínimo	Prom.	Desv. Estandar	Máximo	Mínimo
Ene	-5.04	54.07	107.65	-87.53	-0.46	36.70	86.07	-63.73
Feb	1.13	52.75	129.73	-96.09	0.50	39.64	86.07	-78.72
Mar	3.02	53.93	109.04	-84.91	-2.15	37.14	71.85	-84.07
Abr	-13.13	33.46	39.53	-87.83	2.14	31.84	71.85	-78.72
Mav	-3.19	54.43	123.05	-96.09	-2.52	35.19	86.07	-63.73
Jun	-3.55	32.85	75.23	-76.42	-4.26	34.30	71.85	-71.42
Jul	3.94	60.04	129.47	-136.21	-0.69	34.04	75.02	-84.07
Ago	-14.17	39.98	53.20	-87.83	-2.47	32.04	71.85	-78.72
Sep	-2.02	53.64	110.15	-85.87	-4.27	38.16	76.33	-84.07
Oct	-6.47	52.50	110.79	-96.09	-3.14	32.62	86.07	-63.73
Nov	10.49	55.82	129.47	-71.37	6.75	36.42	76.33	-74.88
Dic	-24.09	32.55	39.53	-76.42	14.33	24.72	71.85	-27.39

Al analizar la variación en Cristóbal de cada mes durante los 41 años, se encuentra que esta es inferior a la de Cartagena. En la tabla 2 se puede encontrar por ejemplo que la mayor desviación estándar fue de 39.64 mm en el mes de febrero, con una diferencia entre el menor y mayor promedio de los 41 años de datos de 164.79 mm, ambos indicando una menor

dispersión que para el caso de Cartagena. Se encontró que el promedio de las desviaciones estándar de los doce meses del año en Cartagena es de 48 mm en tanto que en Cristóbal es de 34.4 mm, lo que indica que de año a año, el comportamiento mensual es más homogéneo en Cristóbal.

Para corroborar la mayor variación estacional de los datos del mareógrafo de Cartagena en el espectro de frecuencias, se utilizaron las herramientas de procesamiento de señales de Matlab. Para esto se tomaron series de 22 años con los promedios mensuales. La de Cristóbal tenía los 264 datos, en tanto que la de Cartagena, por tener más datos faltantes, en el mejor de los casos se contó con 254 datos. Los 10 datos restantes se calcularon mediante una interpolación realizada por el método Spline. El espectro de frecuencias se presenta en la figura 7.

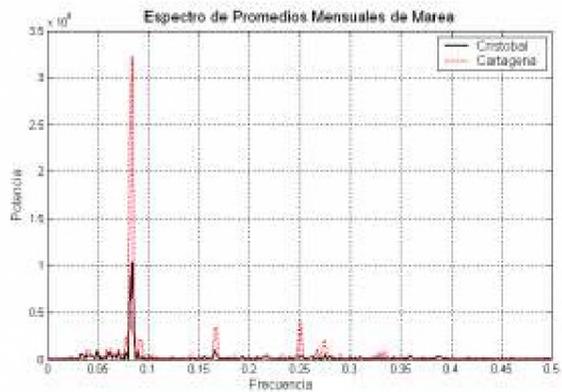


Figura 7. Espectro de los Promedios mensuales de 22 años.

En esta figura se puede observar que la señal de Cartagena concentra mayor varianza que la de Cristóbal, así por ejemplo con un periodo de 12 meses (frecuencia = 0.083) la potencia de Cristóbal es el 31.9% de la de Cartagena.

La señal de Cartagena tiene sus principales periodos en 12 meses, 4 meses y 6 meses, en tanto que la de Cristóbal no presenta potencia significativa en el período de los 4 meses.

Claramente la señal de Cartagena presenta mayor variación estacional que la de Cristóbal.

Discusión

No fue posible calcular la variación del nivel del mar en la costa Caribe colombiana con base en el análisis de las siete series de tiempo seleccionadas en la base de datos del UHSLC, debido a las grandes diferencias entre los resultados, consecuencia de lo limitado de los registros en tiempo y en su calidad. Por lo anterior, se realizó un análisis particular de las cuatro series de tiempo disponibles para la cuenca Colombia.

Del análisis de estas cuatro estaciones, se desestimaron la de Puerto Limón y la de Port Royal debido a ser series muy cortas e incompletas.

Al comparar las series de Cartagena y Cristóbal, se encontró que la primera presentó mayor dispersión de datos analizando el comportamiento mensual de los 41 años, así como mayor variación estacional, lo cual incide en la serie de tiempo al momento de querer utilizarla para calcular la variación del nivel medio del mar, el cual es del orden de los milímetros por año.

Lo anterior se explica por cuanto el mareógrafo de Cartagena se encontraba ubicado al interior de la bahía, donde el nivel del mar es modificado estacionalmente por sus condiciones estuarinas y por los efectos de aguas someras en la onda de marea. Así mismo, por estar en un lugar en el cual se presentan variaciones en el nivel del mar debido a fenómenos oceanográficos de mesoescala, ser una serie de tiempo más corta y tener un alto porcentaje de datos faltantes (10.4%) y 17 correcciones de nivel vertical, donde el UHSLC da una incertidumbre de unos pocos centímetros.

Debido a lo anterior se considera que la mejor información disponible para conocer la

variación del nivel medio del mar para la costa Caribe colombiana, es la encontrada en la serie de tiempo de Cristóbal en Panamá.

Teniendo en cuenta estos resultados, se considera que el comportamiento esperado en el aumento del nivel medio del mar para el sur de la cuenca Colombia del mar Caribe, si mantiene un comportamiento similar al registrado entre 1907 y 1997, deberá estar entre 2.01 *mm* y 3.58 *mm*. El primer valor corresponde a la pendiente de una recta ajustada siguiendo el método de los mínimos cuadrados a los 91 años de datos horarios de la serie de Cristóbal. El segundo valor corresponde a la pendiente de la recta ajustada a los datos comprendidos entre 1952 y 1992 (41 años), de esta misma serie.

En el trabajo de Mendelssohn et al. [4], analizando índices asociados con el ENSO en la cuenca del Pacífico como el Índice de Oscilación Sur (SOI) y sus componentes de presión al nivel del mar, el Índice Niño 3 de temperatura superficial del mar e Índice de Oscilación Norte (NOI), aplicando modelos de Estado-Espacio, se encontró en todos ellos una tendencia de largo plazo, la cual tiene un aumento significativo en la pendiente aproximadamente desde mediados de 1950, relacionada potencialmente al calentamiento global. Ya en la cuenca del Caribe, se registra un aumento en la pendiente en los promedios anuales del nivel del mar de serie de Cristóbal mostrados de la figura 4 a partir de 1964, el cual puede obedecer de manera similar a los efectos de la aceleración en el calentamiento global en los pasados 50 años.

Así las cosas, se podría esperar que el valor de los 3.58 *mm/año* de aumento del nivel medio del mar, calculado entre 1952 y 1992, sean el escenario más probable en la cuenca del Caribe durante los próximos años, pues registra lo que se considera el impacto del calentamiento global en la variación del nivel medio del mar.

Estos valores son una buena referencia para el análisis de la amenaza del aumento del nivel

medio del mar para que, complementada con la vulnerabilidad de las poblaciones en la zona costera colombiana sirva para evaluar el riesgo, como se propone por Afanador et all. [5] en este mismo boletín.

Agradecimientos

Al Servicio Nacional del Océano (NOS) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de los Estados Unidos de América, quienes patrocinan el Archivo Conjunto para Nivel del Mar, el cual se mantiene con esfuerzos mancomunados del Centro Nacional de Datos Oceanográficos de EUA (NODC) y el Centro del Nivel del Mar de la Universidad de Hawai (UHSLC), por proporcionar las series de tiempo utilizadas en el presente artículo.

Referencias bibliográficas

- [1] INVEMAR, Programa Holandés de Asistencia para Estudios en Cambio Climático: Colombia. Informe Técnico No. 1: Definición del área de estudio. Santa Marta. INVEMAR, 100 pp. En definición de la vulnerabilidad de los sistemas bio-geofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana y medidas para su adaptación. VII Tomos. 2003.
- [2] Universidad de Hawai Centro del Nivel del Mar. Datos disponibles en <http://uhslc.soest.hawaii.edu/>.
- [3] Andrade C. Circulation and variability of the Colombian Basin in the Caibbean Sea, Ph.D. thesis, p. 223. Univ. of Wales at Menai Bridge, U.K. 2000.
- [4] Mendelsohn R, Bogard S.J, Schwing F.B, y Palacios D.M. Teaching old indices new tricks: A state-space analysis of El Niño related climate indices, *Geophysical Research Letters*, 32, L07709, doi:10.1029/2005GL022350. 2005.
- [5] Afanador F, R. Torres, J. Gómez, J. Gutierrez. Lidar y fotografía aérea digital en la determinación del impacto del aumento en el nivel medio del mar en el sector de “La Boquilla”, Cartagena de Indias; Caribe colombiano. Este mismo boletín. 2006.