

Relación entre las oscilaciones del nivel del mar del Océano Pacífico y las variaciones del nivel del mar en la costa del Ecuador

Zeneida Wong⁽¹⁾, Ph.D. José Luis Santos⁽²⁾
Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
zeneliz@gmail.com⁽¹⁾, jlsantos@espol.edu.ec⁽²⁾

Resumen

El conocimiento de las variaciones del nivel del mar en estaciones costeras ha permitido el desarrollo de infraestructuras portuarias y ordenamiento territorial. Con registros del nivel del mar en océanos se han determinado patrones de circulación de gran escala y como predicciones de eventos El Niño/La Niña. Este estudio centró sus objetivos en las oscilaciones del nivel del mar presentes en el Océano Pacífico (datos de altimetría) y las registradas por las estaciones mareográficas del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), con lo que se pudo medir el desfase en tiempo con el que llegarían, a las costas del Ecuador, las ondas que viajan por el Océano Pacífico; así también se estableció qué fuerzas astronómicas gobiernan el ciclo de marea en nuestras costas determinando los componentes armónicos correspondientes a las mismas. El periodo de datos común entre las estaciones del INOCAR y los datos de satélite va desde 1 de diciembre de 1992 hasta 1 septiembre de 2008. La influencia de las variaciones interanuales El Niño/La Niña sobre el nivel del mar también serán explicadas y las tendencias a lo largo de los registros se analizarán para conocer si el nivel del mar está aumentando o disminuyendo. Además, se encontrará la proyección estadística del nivel del mar en la costa del Ecuador para diferentes períodos de retorno.

Palabras Claves: Nivel del mar, análisis espectral, componentes armónicos, tendencias del nivel del mar, periodos de retorno, El Niño, La Niña

Abstract

Knowledge of sea level change at coastal tide gauge has allowed the development of port infrastructure and territorial order. Sea level records in oceans can be used as indicator of large scale circulation patterns and as predictions of El Niño/La Niña. This study focused its objectives on the sea level oscillations in the Pacific Ocean (altimetry data), and the sea level recorded by tide gauge stations of the Navy's Oceanographic Institute (INOCAR); thus we able to measure the time lag with which the tide arrive to the coasts of Ecuador. I was established that astronomical forces governing the tidal cycle on our shores by determining the harmonic constituents for the same. The common data period of INOCAR stations and satellite data is from 1st December 1992 to September 1, 2008. The influence of El Niño/La Niña in sea level also be explained, and trends over records will be analyzed to know if the sea level is increasing or decreasing. In addition, we find the sea level statistical projection in the coast of Ecuador for different return periods.

Keywords: Sea level, spectral analysis, harmonic constituents, sea level trend, returns period, El Niño, La Niña.

1. Introducción

Este estudio pretende centrar sus objetivos en las oscilaciones del nivel del mar presentes en el Océano Pacífico y las registradas por las estaciones mareográficas del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR); permitiendo establecer el desfase en tiempo con el que llegarían dichas oscilaciones a las costas del Ecuador. Además se busca determinar la influencia de las variaciones interanuales El Niño/La Niña sobre el nivel medio del mar; así como estimar si en nuestras costas el nivel del mar está subiendo o disminuyendo. Otro importante factor es conocer

cuánto podría variar el nivel del mar dentro de 10, 100, 1000 o más años.

De forma general el nivel medio del mar (NMM) es un promedio de la altura superficial del mar de todos los océanos con respecto a una referencia. Los cambios en el nivel del mar han sido estudiados desde escalas geológicas hasta escalas estacionales; dichos cambios pueden originarse debido a fluctuaciones de la altura superficial de mar, variaciones de las masas de agua, variaciones de temperatura o salinidad, subsidencia costera, movimientos de la corteza a gran escala, entre otros.

El registro de estas variaciones en el NMM se da desde antes del siglo XIX; en los días presentes los estudios del NMM incluyen resolución de los componentes de marea para predicción de alturas de marea en la zona costera y como apoyo en la predicción de los eventos El Niño/La Niña. Estos registros se realizan ya sea por mediciones relativas, mediciones de satélites o mediciones de mareógrafos, teniendo como objetivo principal conocer las variaciones del NMM a lo largo del tiempo.

En la actualidad, la altimetría por satélite, las boyas autónomas y los datos de gravimetría simplifican la medición de las variaciones del NMM. Esta forma de medición tiene sus inicios en 1978 cuando se realizó el lanzamiento del radar de altimetría SEASAT. Esta metodología tuvo un gran progreso desde el lanzamiento de los altímetros de transmisión GEOSAT (1985) y el SEASAT (1986), cuya operación continua permitió a los científicos recolectar y analizar datos sobre la variabilidad de la altura de los océanos. Posteriormente, en 1992 el lanzamiento del satélite altimétrico TOPEX/POSEIDON, que llevaba un altímetro de Francia y otro de EEUU, marcó un paso importante en la medición de altimetría remota. En vista que hay grandes secciones del océano en que no es factible la ubicación de mareógrafos, la altimetría por satélite se convierte en la herramienta más idónea para las mediciones del nivel del mar a largo plazo.

2. Materiales y Métodos

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó anomalías mensuales del NMM (datos de altimetría por satélite de la CLS) entre 60°N y 60°S y entre 160°E y 60°W, con una resolución de 1/3°, así como datos horarios del nivel del mar y promedios mensuales de Presión Atmosférica Superficial (PSA) y Temperatura superficial del Aire TSA de las estaciones mareográficas y meteorológicas de Esmeraldas, La Libertad, Puerto Bolívar y Baltra (Figura 1).

Estas estaciones son las que cuentan con un mayor porcentaje de datos válidos. Baltra cuenta solo con el 61,6% de datos válidos y no dispone de información meteorológica, sin embargo se la incluyó en este estudio por la necesidad de saber que ocurre en la costa insular. El periodo común para todas las series va de diciembre de 1992 a septiembre del 2008.

La principal herramienta empleada para el procesamiento de la información, así como la mayoría de las gráficas realizadas fue el software MATLAB, cuya librería cuenta con diversas funciones y comandos que facilitaron el desarrollo de las diversas ecuaciones requeridas para cumplir los objetivos de este trabajo. Primeramente se realizó un control de calidad a las series de datos de INOCAR, en el cual se eliminaron puntos aislados que correspondían a

outliers y spikes y también se asignó NaN (Not a Number) donde no había datos.



Figura 1. Ubicación de las estaciones mareográficas y meteorológicas del INOCAR.

Luego de calcular las series de promedios diarios se observaron puntos de cambio los cuales no estaban justificados en la base de datos provista por INOCAR, los mismos que podrían corresponder a que los datos estén bajo planos de referencia distintos; a falta de esta información se los consideró como puntos de cambio no documentados.

2.1. Métodos Estadísticos

La primera etapa del análisis de datos, tras la comprobación y edición de los mismos generalmente involucra estimaciones de la media aritmética, varianza, coeficiente de correlación, u otras cantidades derivadas del muestreo estadístico. Estas cantidades nos dicen qué tan bien nuestros sensores están trabajando y ayudando a caracterizar la variabilidad oceanográfica observada.

El estadígrafo más usado es la media aritmética el cual se empleó para el cálculo de promedios diarios y mensuales así como la climatología de las series.

Mediante el método de los mínimos cuadrados de la regresión lineal se encontró los coeficientes de la función que mejor se aproxime a los datos de la recta de mejor ajuste.

El coeficiente de correlación permitió establecer el grado de asociación existente entre las oscilaciones del Océano Pacífico y el nivel del mar en nuestras costas. Además se calculó este coeficiente entre las series de nivel del mar de INOCAR y sus respectivas series de PSA y TSA.

Para las proyecciones estadísticas del nivel del mar se empleó el Método de Gumbel de la estadística de extremos. Esta metodología trabaja con los máximos anuales de las series y permite calcular las probabilidades de ocurrencia de altura del nivel del mar para diferentes periodos de retorno.

2.2. Análisis de series de tiempo

Por razones históricas, el análisis de datos secuenciales es conocido como análisis de series de tiempo. El propósito básico de los métodos de este análisis es definir la variabilidad de una serie de datos en términos de funciones periódicas dominantes. También buscamos conocer la forma del espectro.

Para encontrar las frecuencias de oscilación en el presente trabajo se empleó el análisis espectral y el análisis armónico. El objetivo del análisis espectral es describir la distribución de la varianza (respecto a la frecuencia) de una serie de tiempo, las contribuciones de los diferentes componentes de frecuencias están dadas en términos de energía espectral (PSD); con este análisis, mediante el método de Welch [16] y con el uso de una ventana Hanning, se identificaron las frecuencias significativas tanto para los datos de anomalías mensuales como para los promedios diarios.

El análisis armónico de marea se fundamenta en la hipótesis de que las variaciones del nivel del mar pueden ser descritas en función de un número finito de contribuciones armónicas, permitiendo identificar periodos anuales, semestrales y cualquier otra oscilación que se encuentre bien definida dentro de las mareas. En este análisis se empleó un serie de aproximadamente 18 años. Los principales componentes armónicos que contribuyen a la marea astronómica se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales componentes de marea

Nombre	Descripción del componente	W(grados/hora solar)
Componentes principales que determinan el tipo de marea		
M ₂	Lunar Principal semidiurna	28.894
S ₂	Solar Principal semidiurna	30.000
N ₂	Elíptica lunar mayor semidiurna	28.440
K ₁	Lunisolar declinacional diurna	15.041
O ₁	Lunar declinacional diurna	13.943
Componentes para aguas someras		
M ₄	Primer overtide de M ₂	28.894x2
M ₆	Segundo overtide de M ₂	28.894x3
S ₄	Primer overtide de S ₂	30.000x2
MS ₄	Marea compuesta entre M ₂ y S ₂	28.894+30.000

Fuente: http://web.vims.edu/physical/research/TC_Tutorial/tideanalysis.htm

Además se empleó el análisis espectral cruzado para determinar el nivel de concordancia que existe entre dos variables como función de frecuencia. Las características del espectro pueden ser cuantificadas en función de la amplitud (espectro de fase) y también en función de fase (espectro de fase), este último hace referencia al ángulo (o tiempo de desfase).

3. Resultados

Del cálculo del análisis espectral de los datos de anomalías mensuales del nivel de mar tanto para los datos de satélites como de las estaciones de INOCAR, se encontró una frecuencia significativa de 0.0625cpm (periodo de 16 meses) con una alta energía espectral; la predominancia de esta frecuencia pudo deberse al efecto aliasing (o contaminación), esta oscilación podría corresponder al ciclo anual. Para contar con mayor información se aplicó el análisis espectral a los promedios diarios (Figura 2), encontrándose una banda de frecuencia significativas entre 0.0015cpd y 0.0016cpd (periodos entre 22 y 21 meses). Además se evidenció oscilaciones con periodos entre 8 y 10 meses, entre 77 y 90 días, y una de 7.4 días; todas ellas se encontraron presentes a lo largo de la costa ecuatoriana.

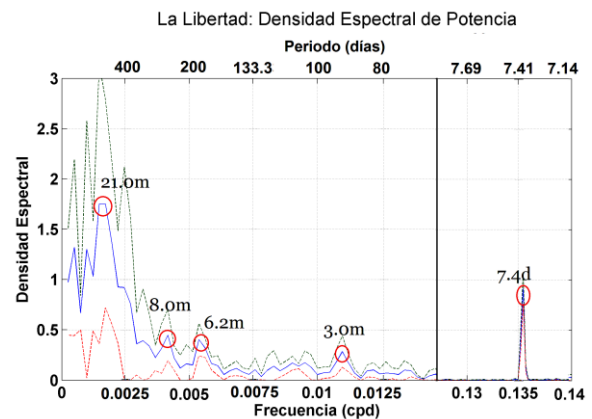


Figura 2. Densidad de energía espectral de La Libertad (promedios diarios). Línea azul es el espectro. Líneas verde y roja son los límites de confianza del 95%. (m=meses; d=días)

Del análisis armónico realizado a cada estación se obtuvieron 68 componentes de marea, con un intervalo de confianza del 95%; de estos componentes, 50 son significativos para las estaciones de Esmeraldas, La Libertad y Puerto Bolívar, y solo 33 fueron significativos para Baltra. La frecuencia de oscilación con mayor amplitud (0.7218 – 1.126 metros) corresponde a M₂ que es la componente Lunar principal semidiurna, seguida de las oscilaciones S₂, N₂ y K₁ que corresponden a la componente Solar principal semidiurna, elíptica Lunar mayor semidiurna y Lunisolar declinacional diurna respectivamente; con amplitudes entre 0.0783 y 0.03099 metros. Al igual que en el análisis espectral se detectó el ciclo anual

que corresponde a la componente armónica SA (ciclo anual solar).

Con el cálculo del coeficiente de correlación entre las series del Pacífico y el nivel del mar de la costa se obtuvo un área preliminar que correspondería a las zonas del Pacífico que tiene influencia sobre el nivel del mar en nuestras costas, la misma que fue corroborada posteriormente mediante el análisis de correlación cruzada. El coeficiente de correlación se calculó además entre el nivel del mar de las estaciones y sus respectivos datos meteorológicos; entre el nivel del mar y la PSA existe una relación inversa, con coeficientes entre -0.41 y -0.23, y con respecto a la TSA existe una relación directa con coeficientes de correlación < 0.36 (Tabla 2).

Tabla 2. Coeficiente de correlación entre el nivel del mar y los datos meteorológicos (Est. de INOCAR)

Estación	r (PSA)	r (TSA)
Esmeraldas	-0.2395	0.2560
La Libertad	-0.4876	0.4115
Puerto Bolívar	-0.4145	0.3620

Del análisis de correlación cruzada se observó que para la estación Baltra los desfases de mayor correlación están entre -4 y 4 meses, para la estación de Esmeraldas entre -4 y 3 meses, para La Libertad entre -8 y 3 meses y P. Bolívar solo presenta desfases positivos hasta 10 meses (Figura 3). y espectro cruzado, se encontró para valores de coherencia mayores a 0.5, se tiene que las oscilaciones del Océano Pacífico lideran sobre el nivel del mar en las costas del Ecuador entre un 40 y 60 %; siendo estos porcentajes más significativos para los periodos de 1.5, 2, 5 y 32 meses. El área que presenta las mayores correlaciones se localizan entre 10°N y 20° y desde la costa continental hasta aproximadamente 180°W (Figura 3).

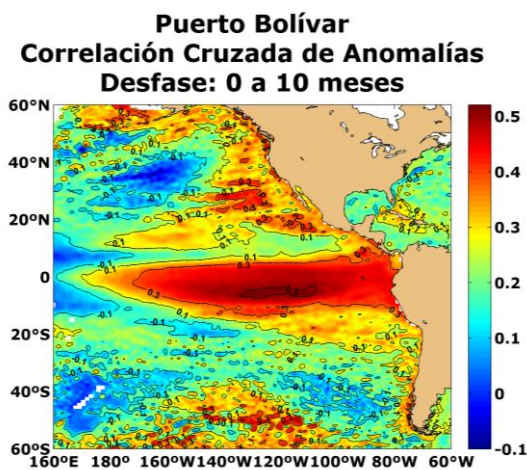


Figura 3. Correlación cruzada entre las series del Océano Pacífico y la estación de Puerto Bolívar. Promedio de las mayores correlaciones (0-10 meses).

A partir de los datos de altimetría por satélite se calculó la tendencia del NMM para el Océano Pacífico. En la Figura 4 se observa una clara tendencia global que indica un incremento en el nivel del mar; sin embargo, se aprecia una gran diferencia regional, teniendo que hacia el Pacífico Occidental hay un mayor incremento del NMM de más de 10 mm por año.

Tendencias de ANMM (Dic 92 - Sep 08)
mm/año

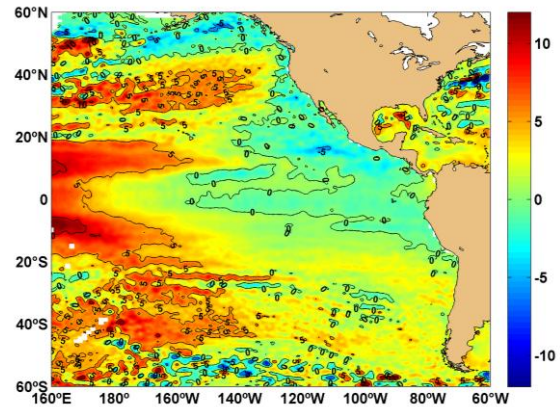


Figura 4. Tendencias de anomalías del Nivel medio del mar en el Océano Pacífico.

La tendencia del NMM en el Ecuador evidenció un incremento en el nivel del mar para las estaciones de Baltra, Esmeraldas (Figura 5) y Puerto Bolívar; en tanto que la estación de La Libertad (Figura 5) presenta una disminución en el mismo. Los eventos EL Niño tienen una influencia sobre el nivel del mar ya sea positiva (Pacífico Oriental) o negativa (Pacífico Occidental).

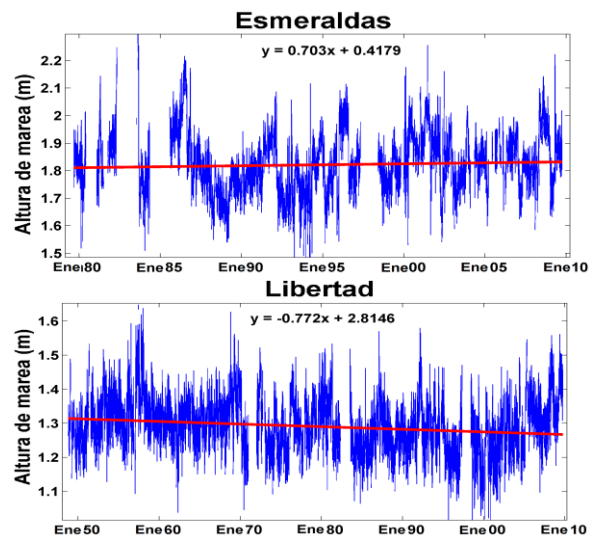


Figura 5. Tendencias del Nivel del mar en la estación de Esmeraldas (arriba) y La Libertad (abajo). Nose consideró los eventos El Niño 82-83 y 97-98.

Además, para tener una idea más clara de la influencia de los eventos ENOS la tendencia también

fue calculada para las series en que no se consideró los eventos más fuertes como fueron El Niño 82-83 y 97-98. En la costa ecuatoriana, entre Dic-1992 y Sep-2008, el nivel del mar ha incrementado en promedio 1.95 cm, a excepción del sector de La Libertad en que se registró un descenso del nivel del mar de 1.2 cm, estos valores no consideran los eventos extremos mencionados (Tabla 3).

Tabla 3. Variación del nivel del mar en la costa ecuatoriana y de las ANMM en el Pacífico, durante el período: Dic/1992 – Sep/2008.

Variación del NMM		
Estación	SCEE (cm/15.8años)	SSEE (cm/15.8años)
Baltra	+ 2.555	+ 1.999
Esmeraldas	- 2.017	+ 1.111
La Libertad	- 0.926	- 1.220
Puerto Bolívar	+ 2.821	+ 2.814
Variación de las ANMM		
0°-100°W	- 1.41	- 1.42
0°-140°W	- 0.96	- 0.95
0°-180° W	+ 3.88	+ 3.91
(+) aumento		(-) descenso
SCEE: T con eventos extremos		
SSEE: Serie sin eventos extremos		

Con referencia al Índice Niño Oceánico (ONI) [19], se estableció que el nivel del mar tiende a aumentar en los años Niño y descender en los años Niña. Se observó máximas anomalías positivas, promediando los 0.5 m, durante los eventos Niño 82-83 y 97-98, y las más bajas anomalías, del orden de - 0.2 m, para algunos eventos Niña como el del 98-99 (Figura 6).

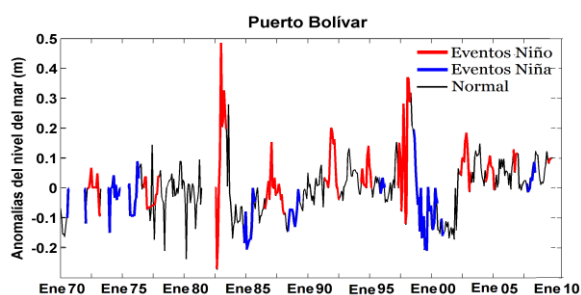


Figura 6. Anomalías del nivel del mar de la Est. P. Bolívar y los respectivos eventos El Niño y La Niña, basados en el ONI.

Se graficó los datos de PSA y TSA, resaltando los eventos ENOS en base al ONI (Figura 7); esto corroboró lo encontrado en la correlación entre el nivel del mar de las estaciones costeras y sus respectivos parámetros meteorológicos, es decir que existe una relación inversa del nivel del mar con respecto a la PSA y una relación directa con la TSA.

Gráficos de dispersión entre los datos de anomalías del nivel del mar de las estaciones costeras y el Índice Niño Oceánico evidenciaron una agrupación de los

eventos La Niña hacia el lado izquierdo (valores negativos de índice) y agrupación de los eventos El Niño hacia la derecha (valores positivos del índice). Además se apreció la relación directa que existe entre estas variables, al presentarse mayores alturas del nivel del mar para mayores valores del ONI.

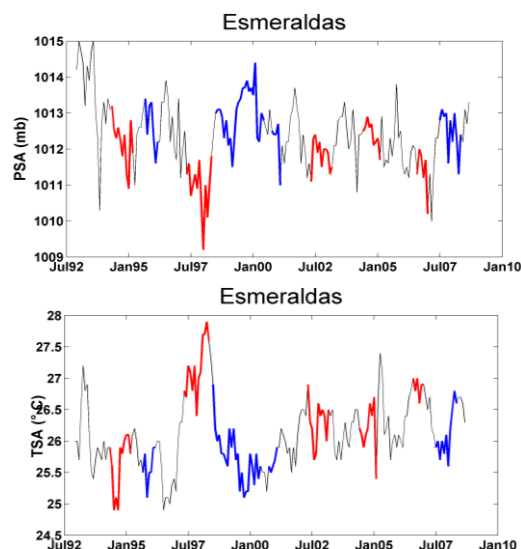


Figura 7. Series de PSA (arriba) y TSA (abajo) de la estación de esmeraldas. El rojo corresponde a eventos El Niño y el azul eventos La Niña.

Se establecieron los máximos anuales para cada una de las estaciones, con lo cual se encontró que las máximas alturas registradas se encuentran entre 2.91 y 4.12 metros. En general, los valores más altos de cada serie se presentaron durante los eventos ENOS 82-83 y 97-98 (Tabla 4).

Tabla 4. Máximos anuales de las series del nivel del mar del INOCAR y sus respectivos años de ocurrencia (4 valores más altos).

Baltra		Esmeraldas	
altura (m)	año	altura (m)	año
2.91	2005	4.12	1983
2.82	2006	4.09	1997
2.77	1998	4.04	1982
2.71	1997	3.91	1981
La Libertad		Puerto Bolívar	
altura (m)	año	altura (m)	año
2.95	1957	3.76	1997
2.91	1998	3.75	1992
2.88	1997	3.73	1983
2.86	1953	3.70	1998

A través del método de Gumbel [14], se calculó la variable reducida para cada serie, con la cual se formó los pares ordenados. Estos pares ordenados fueron graficados con su respectiva línea de tendencia y líneas de control del 68 y 95% de confianza, lo que permitió realizar la proyección estadística de cada serie (Figura 8). La correcta elección de esta metodología, dentro de la Teoría de extremos, se

confirmó cuando los pares ordenados quedaron agrupados en una línea recta. Con esta información se determinó que las mayores alturas, para periodos de retorno de 10 y 1000 años, estarían entre 2.7 y 4.5 m. Las tendencias más bajas corresponden a La Libertad, y las más altas al sector de Esmeraldas (Tabla 5).

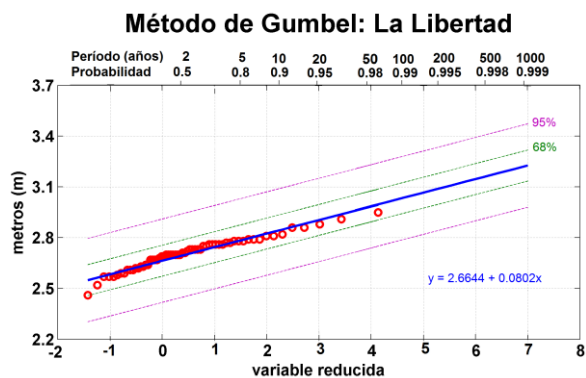


Figura 8. Representación de Gumbel para los máximos anuales de la serie del nivel del mar de La Libertad.

Tabla 4. Extrapolaciones de los máximos anuales del nivel del mar de las series costeras del INOCAR.

Periodo de retorno	Baltra	Esmeraldas	La Libertad	Puerto Bolívar
	Altura del nivel del mar (m)			
10 años	2,90	4,17	3,01	3,85
20 años	2,92	4,19	3,02	3,87
50 años	2,97	4,24	3,04	3,92
100 años	3,02	4,30	3,07	3,97
1000 años	3,27	4,54	3,22	4,21

12. Conclusiones

- Las series del nivel del mar del INOCAR, principalmente Baltra, presentan algunas inconsistencias (datos perdidos, outliers, spikes y considerables puntos de cambio).
- Mediante los análisis espectral y armónico se evidenció el ciclo anual del nivel del mar. La considerable amplitud de este ciclo dentro del análisis espectral minimizó cualquier otra frecuencia que pudiese estar presente por lo cual es necesario la aplicación de filtros pasa alto y pasa bajo, para un mejor análisis.
- Periodos de 91 y 77.3 días podrían relacionarse con ondas kelvin de 20-90 días [20]. Así mismo, el periodo de 7.4 días podría corresponder a una onda Rossby-gravedad, o una onda kelvin de 8-10 días [21].
- Las frecuencias de oscilación estarían representadas por al menos 50 componentes armónicos significativos; de los cuales los que presentan mayores amplitudes son M2, S2, N2 que representan la característica semidiurna (periodo de 12hrs aprox.) de las mareas y K1

que es la componente lunisolar declinacional con periodo de aproximadamente 24 hrs.

- Las oscilaciones del Océano Pacífico lideran sobre el nivel del mar en nuestras costas entre 40-60%. El área de mayor influencia se encuentra entre 10°N - 20°S y desde la costa hasta 180°W aproximadamente. Las principales oscilaciones de este grupo corresponden a periodos de 1.5, 2, 5 y 32 meses.
- Los desfases entre las oscilaciones del Pacífico y el nivel del mar de nuestras costas, para la mayoría de las estaciones, alcanzan los 4 meses.
- De forma global existe un incremento del nivel medio del mar. Sin considerar los eventos El Niño extremos, el nivel del mar en la costa tiende a aumentar 1.2 mm/año aproximadamente, a excepción de la estación de La Libertad que presentó una tendencia negativa (-0.77 mm/año). El aporte de estos eventos extremos no es tan significativo. En 15 años el nivel del mar en Ecuador ha aumentado entre 1.1 y 2.8 cm; a excepción del sector de La Libertad en que se notó un descenso de 1.2 cm.
- El nivel del mar tiende a aumentar en años Niño y a disminuir en años Niña; las máximas anomalías promedian los 0.5 m durante los eventos Niño y las mínimas anomalías de -0.2 m se presentan en algunos eventos Niña como el ocurrido en el 98-99.
- Existe una relación inversa entre los datos de PSA y el nivel del mar; de forma similar se evidenció una relación directa entre la TSA y el nivel del mar. Wang y Fiedler [22] encontraron una relación similar para las anomalías de temperatura superficial del mar y presión superficial del mar.
- El método de Gumbel dio como proyección que el nivel del mar alcanzaría entre 3.6 y 4.5 metros en las localidades de Esmeraldas y P. Bolívar; esto es para periodos de retorno de 10 y 1000 años respectivamente. Las localidades de Baltra y La Libertad presentan tendrán una menor variación, entre 2.7 y 3.2 metros.

13. Agradecimientos

A Freddy Hernández, promotor del presente tema, quien me brindó su apoyo incondicional durante el desarrollo de este trabajo. A JonMar, quien en su momento supo dilucidar algunas de mis dudas. A mis amigos más allegados Matty, Ana y Chris quienes siempre tuvieron una sonrisa o una palabra de apoyo. Al INOCAR, institución que proporcionó los datos y facilidades necesarios para el desarrollo de este trabajo.

14. Referencias

- [1] Emery W. J. y Thomson R. E., *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Second and Revised Edition (2001).
- [2] Pons V., Josep M., *La medición del nivel del mar: principios y métodos*. Universidad Politécnica de Cataluña. (2009).
- [3] Pratt J. H., "On the Influence of the Ocean on the Plumb-Line in India," *Royal Society Philosophical Transactions*, Vol. 149 (1859), pp. 779-96.
- [4] Pratt J. H., "On the Constitution of the Solid Crust of the Earth," *Royal Society Philosophical Transactions*, Vol. 161 (1871), pp. 335-57.
- [5] Miller K.; Wright J. y Browning J., *Visions of ice sheets in a greenhouse world*. Department of Geological Sciences, Rutgers University, Piscataway, NJ 08854, United States (2005).
- [6] Cazenave A., Nerem R. S., *Present-Day Sea Level Change: Observations and Causes*. (2004).
- [7] Hunter J., "Estimating sea-level extremes under conditions of uncertain sea-level rise", © Springer Science+Business Media B.V. 2009.
- [8] Dona P., "Extreme sea level variability along the coast of India". Volume 1. National Institute of Oceanography, 2004.
- [9] Chan Y. K. "Statistics of Extreme Sea-levels in Hong Kong". Royal Observatory Hong Kong, Technical Note (Local) No. 35, 1983.
- [10] Pham V. H., "Extremum sea level in Vietnam coast", College of Natural Science, Vietnam National University, Hanoi. 2003.
- [11] Piedra-Cueva I., *Gestión en la zona costera de Rocha: Playa la Balconada*. IMFIA. Facultad de Ingeniería. Universidad de la República, 2006.
- [12] Piedra-Cueva I., "Estudio de la ampliación del Puerto de La Paloma"; IMFIA. Montevideo, Uruguay, 1988.
- [13] Pirazzoli P., Tomasin A., Ullmann A., "Extreme sea levels in two northern Mediterranean areas", *Méditerranée* N° 108 – 2007.
- [14] Gumbel E. J., "Méthodes graphiques pour l'analyse des débits de crue". *La Houille Blanche* N°5, 1956.
- [15] Maggio G. E., "Análisis estadístico de valores extremos", *Aplicaciones en hidrología*.
- [16] Pawlowicz R., Beardsley B., y Lentz S., "Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE", *Computers and Geosciences* 28 (2002), 929-937.
- [17] Welch, P.D. "The Use of Fast Fourier Transform for the Estimation of Power Spectra: A Method Based on Time Averaging Over Short, Modified Periodograms." *IEEE Trans. Audio Electroacoust.* Vol. AU-15 (June 1967). Pgs.70-73.
- [18] Cardín V., *Análisis Espectral de la interacción vientos-onas en la provincia de Manabí*. Tesis de grado, ESPOL, 1989.
- [19] NOAA. Earth System Research Laboratory, Physical Sciences Division http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/oni_data
- [20] Luther D. S., *Observations of long period waves in the tropical oceans and atmosphere*. Tesis de Doctorado, Massachusetts Institute of Technology & Woods Hole Oceanographic Institution 1980.
- [21] Bayot B., *Variabilidad de baja frecuencia de parámetros océano-atmosféricos en Salinas y Galápagos durante el periodo 1985 – 1988*. Tesis de grado, ESPOL 1993.
- [22] Wang C., Fiedler P., "ENSO variability and the Eastern tropical Pacific: A review". NOAA Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory. NOAA Southwest Fisheries Science Center (2006).
- [23] Trenberth K., Stepaniak D. "Indices of El Niño evolution". National Center for Atmospheric Research, 2000.