

ESTUDIO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR EN PUERTO BOLÍVAR

Por:
Leonor Vera

ABSTRACT

A database of the mean the sea level for about 32 years of daily measurements (1970-2002) is analyzed which have been measured by a tide recorder located at the coastal town Puerto Bolívar and belonging to the Navy Oceanographic Institute. An analysis of the trend and changes occurred in the period of measurements is developed. The data have been processed and corrected considering an unique level of reference and results indicated a tendency to increase the mean sea level in the next years.

RESUMEN

Tomando una serie de datos del nivel medio del mar de aproximadamente 32 años de duración, 1970 -2002, la cual ha sido medida desde un mareógrafo que mantiene el Instituto Oceanográfico de la Armada en la población costera de Puerto Bolívar, se hace un análisis de esta información para determinar la tendencia predominante del nivel del mar en el periodo analizado. Los datos han sido procesados y corregidos considerando un único sistema de referencia y los resultados indican una clara tendencia al incremento del nivel del mar en los años venideros.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el Ecuador cuenta con 10 estaciones mareográficas, ubicadas a lo largo de su costa norte-sur, tal como se indica en la Figura 1. La mayoría de estaciones cuenta con más de 20 años de información continua del nivel medio del mar (NMM), la misma que ya ha sido utilizada en estudios anteriores para la predicción del Evento El Niño en el Ecuador, Martínez/2000-2002.

Dada la actual discusión en el ámbito mundial sobre la tendencia de incremento del NMM, en el presente documento se realiza un análisis detallado de la serie de datos diaria del Nivel medio del mar correspondiente a la estación costera de Puerto Bolívar, provincia de El Oro, Ecuador, en donde se han reportado subidas frecuentes y exageradas del NMM.

Las mediciones del NMM se realizan con un mareógrafo de marca Stevens, colocado en el muelle de Autoridad Portuaria de Puerto Bolívar ($3^{\circ} 15.9' S$ y $80^{\circ} 0.2' W$), el cual ha sido nivelado considerando una regla de mareas instalada en el muelle y que está referida a un hito o placa de marcación BM4 (bench mark), la cual está geodésicamente referenciada. Para la corrección de los datos se toma un único nivel de referencia, correspondiente al hito colocado en el año 1989. Antes de esa fecha el hito de referencia fue el colocado en el Yatch Club de Puerto Bolívar (BM2), actualmente destruido. Además se consideran todos los cambios y verificaciones de posición de la regla de mareas.

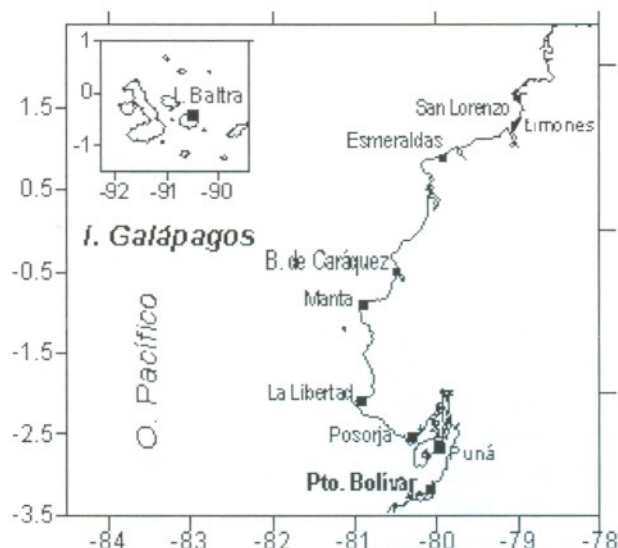


Figura 1.- ubicación de estaciones mareográficas en la costa ecuatoriana

METODOLOGÍA

Para este trabajo se analiza la serie de datos correspondiente a valores diarios del nivel medio del mar obtenidos directamente de promediar los valores horarios recuperados del mareógrafo de Puerto Bolívar, los mismos que se presentan en la figura 2.

En primer lugar se establece visualmente los datos fuera del rango, de acuerdo a los límites superior e inferior de 285 y 224 cm, respectivamente. Límites que se calcularon con la media y desviación estándar de la serie ($X \pm 1.96s$), considerando una distribución normal y un intervalo de confianza de 95%.

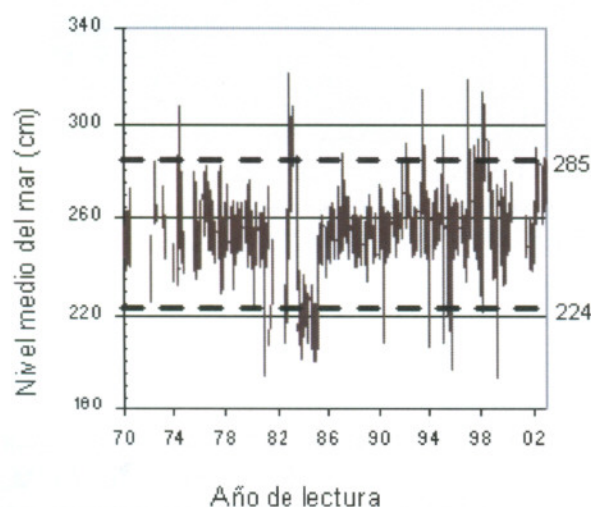


Figura 2.- Serie diaria del nivel medio del mar en Puerto Bolívar obtenida de los registros del mareógrafo

El gráfico permitió detectar valores extremos, los cuales se presentan en la tabla 1. Cada uno de estos grupos de datos fueron evaluados, se revisaron sus valores horarios de origen para encontrar los errores, eliminándose aquellos valores que no siguen la tendencia sinusoidal, que se repiten o que son extremos.

En la figura 3 se dan tres ejemplos de datos horarios con errores, correspondientes a mayo del 74, diciembre del 93 y enero del 97, los mismos que fueron eliminados. Al ser eliminado el dato horario, el promedio diario (resultado de promediar los datos horarios) de la serie que se analiza, también es anulado. Se prefiere mantener los blancos de la serie y no rellenarlos con sus valores medios porque estadísticamente no interfieren en el resultado final. Este control de calidad, se realiza con toda la serie.

Año	Valores mayores al límite superior (cm)	Valores inferiores al límite superior (cm)
1974	307.64	
1980		193.88
1982		211.01
1983	315	203.614
1985		204.614
1990		207.897
1993	314.91	205.91
1995		196.909
1997	318.909	
1998	313.911	
1999		193
Media de la serie : 254.816		
Desviación estándar de la serie: 15.436		
Rango inferior: 224		
Rango superior: 485		

Tabla 1.- Valores fuera del rango de la serie diaria del NMM

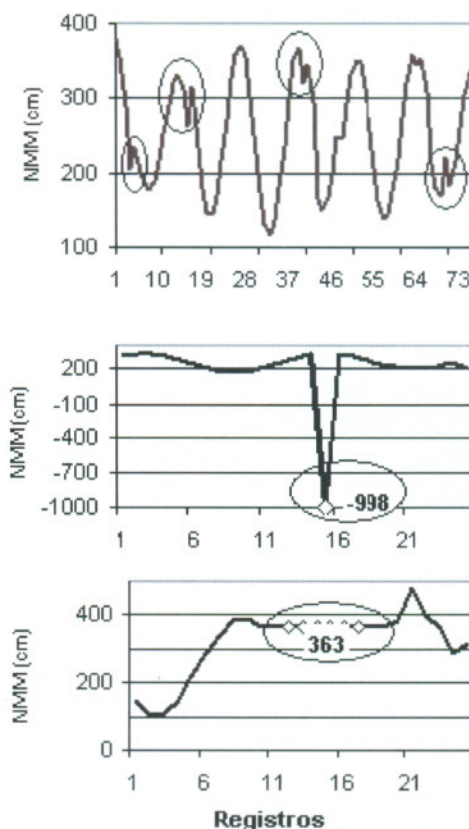


Figura 3.- Algunos horarios de mareas en donde se ha detectado errores
a) Mayo de 1974 b) Diciembre 24/93 c) Enero 13/97

Una vez efectuado el primer control de calidad de los datos, éstos son llevados a un mismo nivel de referencia que, en este caso, corresponde al cero de la regla de mareas instalada el 2 de febrero de 1999, cuya ubicación está referida con la placa de marcación geodésicamente referenciada (BM4), ubicada frente a la Iglesia de la

localidad. Anteriormente en Puerto Bolívar existían mas de tres placas de marcación, y el nivel cero de la regla de mareas era medido con respecto a cada una de ellas, estas placas han desaparecido por daños físicos o por alteración de estructuras. La placa más representativa, por ser la que cuenta con mayor información, es la que se encontraba frente al Yatch Club de Puerto Bolívar (BM2), de la cual se tiene referencia desde 1960 hasta 1990. A partir de 1989 se coloca la placa BM4, la cual es la referencia actual para las mediciones del NMM. Para realizar la corrección de los datos se consideró toda la información sobre cambios de placa y de regla de mareas efectuados como parte del mantenimiento.

Se efectúan los cálculos correspondientes, para definir que valores deben sumarse a los registros de la serie diaria, los cuales son mostrados en la tabla 2. De acuerdo a la fecha de medición y tomando en cuenta los cambios efectuados ha deducido un valor. Todos los datos son nivelados respecto al "0" de la regla referida a la placa BM4 (1999).

En la figura 4, se da una muestra de las correcciones realizadas para llevar el dato al nivel de referencia elegido. Una vez nivelados todos los datos, se presenta la serie corregida en la figura 5, a la que se añade la curva de tendencia lineal para conocer el desarrollo de la serie.

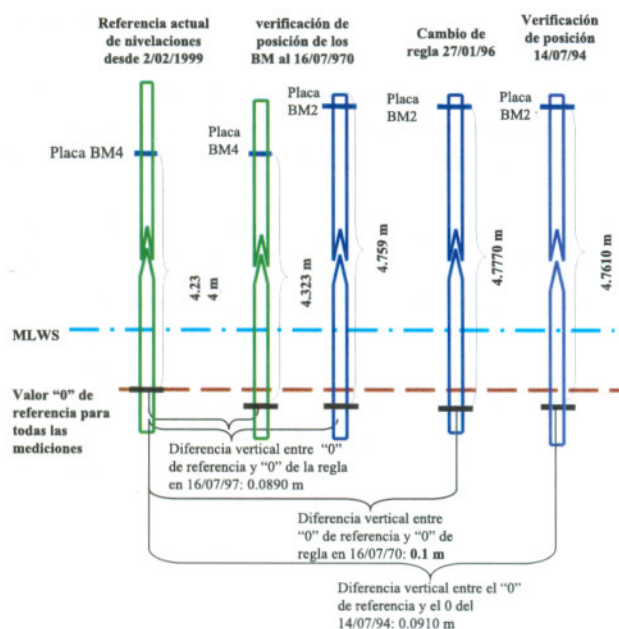


Figura 4.- Correcciones de los niveles "0" de las reglas de mareas con respecto a un mismo nivel de referencia

Período de Aplicación de valor corregido	Placa BM2 respecto a "0" de regla (m)	Placa BM4 respecto a "0" de regla (m)	Observación	valor a sumarse a registros diarios (m)
11/11/59-17/1/60	4.657		Posición	0.0130
18/01/60-22 /4/68	4.653		Prueba posición	0.0170
23/04/68-1 /10/69	4.621		Cambio de regla	0.0490
2/10/69-02 /08/70	3.936		Cambio de regla	0.7340
03/08/70-15 /2/71	4.48		Cambio de regla	0.1900
16/02/71-6/ 08/71	4.175		Cambio de regla	0.4950
07/08/71-09 /2/72	5.253		Cambio de regla	-0.5830
10/2/72-05 /04/72	5.45		Cambio de regla	-0.7800
6/4/72-5 /4/73	5.207		Cambio de regla	-0.5370
6/4/73-2 /8/73	5.439		Cambio de regla	-0.7690
03/8/73-17 /1/75	5.006		Cambio de regla	-0.3360
18/1/75-15 /5/75	5.006		Prueba posición	-0.3360
16/05/75-19 /8/76	4.13		Cambio de regla	0.5400
20/08/76-29 /1/77	4.126		Prueba posición	0.5440
30/1/77-23 /06/78	4.787		Cambio de regla	-0.1170
24/6/78-16 /12/79	4.815		Cambio de regla	-0.1450
17/12/79-20 /5/81	4.815		Prueba posición	-0.1450
21/05/81-2/ 08/83	4.66		Cambio de regla	0.0100
03/8/83-19 /03/85	5.056		Cambio de regla	-0.3860
20/3/85-14 /09/89	4.759		Cambio de regla	-0.0890
15/9/89-22 /8/90	4.773	4.349	Cambio de regla	-0.1030
23/8/90-26 /2/92	4.777	4.347	Prueba posición	-0.1070
27/2/92-23 /3/93	4.7597	4.323	Cambio de regla	-0.0897
24/3/93-13 /6/94	4.777	4.34	Prueba posición	-0.1070
14/6/94-26 /01/96	4.761	4.324	Cambio de regla	-0.0910
27/1/9-15/0 7/97	4.77	4.334	Cambio de regla	-0.1000
16/7/97-01 /02/99	4.759	4.323	Prueba posición	-0.0890
2/2/99-en adelante		4.234	Cambio de regla	0.0000

Tabla 2.- Correcciones de los registros del mareógrafo de Puerto Bolívar

Se relacionan valores altos con el fenómeno El Niño y se comprueba la relación entre el NNM y dichos eventos.

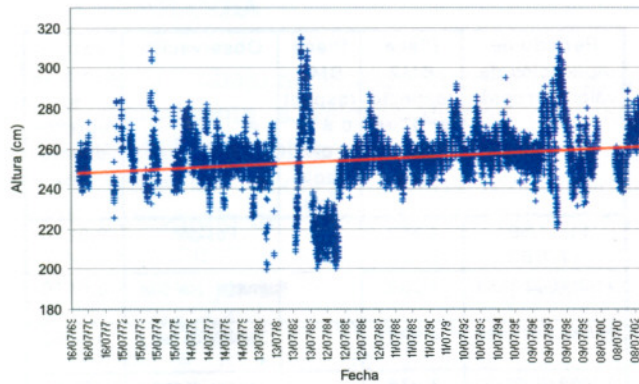


Figura 5- Datos horarios corregidos del NMM, Puerto Bolívar

RESULTADOS

Al analizar la serie de datos se observa que existen máximos períodos de ocurrencia del nivel del mar en los años 1974, 1983, 1998, de los cuales los dos últimos corresponden a años de ocurrencia de un Evento El Niño. Asimismo los valores más bajos corresponden al año 1984-1985, período documentado como La Niña.

La relación entre la magnitud de los Eventos El Niño está claramente establecida para eventos fuertes tales como los ocurridos en 1982, 1997 y 1984, sin embargo cuando se habla de eventos débiles no se evidencia un aumento o disminución significativos.

La tendencia lineal indica un aumento de 16 cm en los 32 años de medición, lo que representa un promedio de 0.5 cm por año. La tendencia a aumentar el nivel del mar en el período de medición está dada por la ecuación " $y = 0.0011x + 220.67$ ", de la cual se puede deducir que de mantenerse esta tendencia, en 5 años existe la posibilidad un aumento de 2.5 cm del NMM.

CONCLUSIONES

La serie diaria del nivel medio del mar indica una tendencia a aumentar, siendo importante en este análisis las contribuciones de los valores del NMM durante los eventos El Niño.

La serie del nivel considerada en este estudio consta de algunos vacíos, que podrían ser parte de un evento océano atmosférico, lo que ocasionaría cambios considerables en la tendencia. Se recomienda entonces realizar el mismo análisis minucioso en localidades

cercanas para observar si se presenta la misma tendencia.

El resultado de la tendencia a aumentar el NMM, coincide con posiciones internacionales que aseveran lo mismo, sin embargo hay que ser cautelosos al momento de asegurar el incremento, pues en otros casos como en este la falta de información completa podrá llevarnos a resultados subjetivos.

BIBLIOGRAFÍA

Emery W. and Thomson R., Analysis Methods in Physical Oceanography, 1992.

Workshop Report, International Sea Level Workshop, April, 1998

Martínez R., Zambrano E., Índice Multivariado El Niño en el Ecuador, Acta Oceanográfica del Pacífico, 2002.

Martínez R., Zambrano E. y Garcés J., Predicción del Evento El Niño 97-99, en el mar ecuatoriano usando métodos estadísticos, Acta Oceanográfica del Pacífico, 2000.