

ARTÍCULO



CIOH
www.cioh.org.co

Determinación del régimen medio y extremo del nivel del mar, en esteros y ríos con dinámica mareal en la Bahía de Tumaco

Fecha de recepción: 2011-07-26 / Fecha de aceptación: 2011-09-15

Jairo E. GUTIÉRREZ FUENTES, jairogutierrezf@gmail.com

Milton G. PUENTES GALINDO, mpuentes@dimar.mil.co

Dirección General Marítima, Centro de Investigaciones Oceanográficas e hidrográficas del Pacífico, Área de Manejo Integrado de Zona Costera. San Andrés de Tumaco, Nariño, Colombia.

RESUMEN

En este trabajo se determinó el régimen medio y extremo del nivel del mar en esteros y ríos con dinámica mareal en la bahía de Tumaco, a partir de la metodología descrita por Otero 2005, por lo tanto se realizó un análisis por separado de la marea astronómica y meteorológica, las cuales determinan el nivel del mar en cualquier instante. Para el estudio de la marea astronómica se utilizó el análisis armónico y modelos numéricos de propagación y generación de marea y para la marea meteorológica se utilizaron métodos de simulación basados en técnicas de Montecarlo. Se muestran resultados del régimen medio y extremo del nivel del mar para los esteros Aguaclara, Resurrección, Trapiche, Cuellar, El Mico, Llanaje y los ríos Rosario, Colorado y Curay.

Palabras claves: Régimen medio, régimen extremo, nivel del mar, mareas, modelos numéricos.

ABSTRACT

In this work the means and extreme regime sea levels in estuaries and rivers were determined with tidal dynamics in the Tumaco Bay, using the methodology described by Otero in 2005; therefore, the astronomical and meteorological tides were analyzed separately, which determine the sea level at any time. Regarding the study of the astronomical tide, harmonic analysis and tide numerical models were used, and for the meteorological tide, the simulation methods based on the Montecarlo techniques were used. The results of the means and extreme regime sea levels for the Aguaclara, Resurrección, Trapiche, Cuellar, El Mico, and Llanaje estuaries, and for the Rosario, Colorado and Curay Rivers are shown.

Key words: Means regime, extreme regime, sea level, tides, and simulation methods.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la bahía de Tumaco, se encuentran esteros y ríos con dinámica mareal, para los cuales es importante caracterizar el comportamiento del nivel del mar, sus regímenes medio, para de este modo determinar las zonas que son apropiadas para ser o no habitadas, realizar estudios de aumento del nivel del mar provocado por el cambio climático, ó elaboración de mapas de riesgo debido a fenómenos naturales como un Tsunami, entre otros.

Para la determinación del régimen medio y extremo del nivel del mar es necesario realizar un análisis de los factores que producen el ascenso y descenso del nivel del mar, como son la marea astronómica producida por los efectos gravitacionales del sistema Tierra-Luna-Sol, la marea meteorológica debida a presión y viento, la configuración de la costa y, la batimetría de la zona.

Este procedimiento consta de tres fases, una primera fase de campo en la cual se recopiló la información batimétrica necesaria, una segunda

fase de aplicación de la metodología existente utilizando modelos numéricos (Modelo Hidrodinámico y Métodos de Simulación numérica con técnicas de Montecarlo), procesamiento y análisis de resultados, en esta segunda fase se realizó el cálculo de las mareas; la marea astronómica se calcula mediante lo que se denomina análisis armónico de mareas, el cual consiste en descomponer los registros de nivel del mar en un número finito de ondas cuyo período y fase han sido perfectamente establecidos, dado que coinciden con los períodos de algunos de los movimientos astronómicos relativos entre la Tierra, la Luna y el Sol; en líneas generales el método del análisis armónico consiste en obtener, a partir de un registro horario de datos del nivel del mar, las amplitudes y fases de las ondas componentes, a estos parámetros se les llama componentes armónicas.

Para el cálculo de la marea meteorológica, esta se puede representar a través del residuo meteorológico que se obtiene tras la realización del análisis armónico a una serie de nivel del mar. Dicho residuo tiene carácter aleatorio y su régimen medio sigue una distribución aproximadamente normal [1].



Figura 1. Área de estudio.

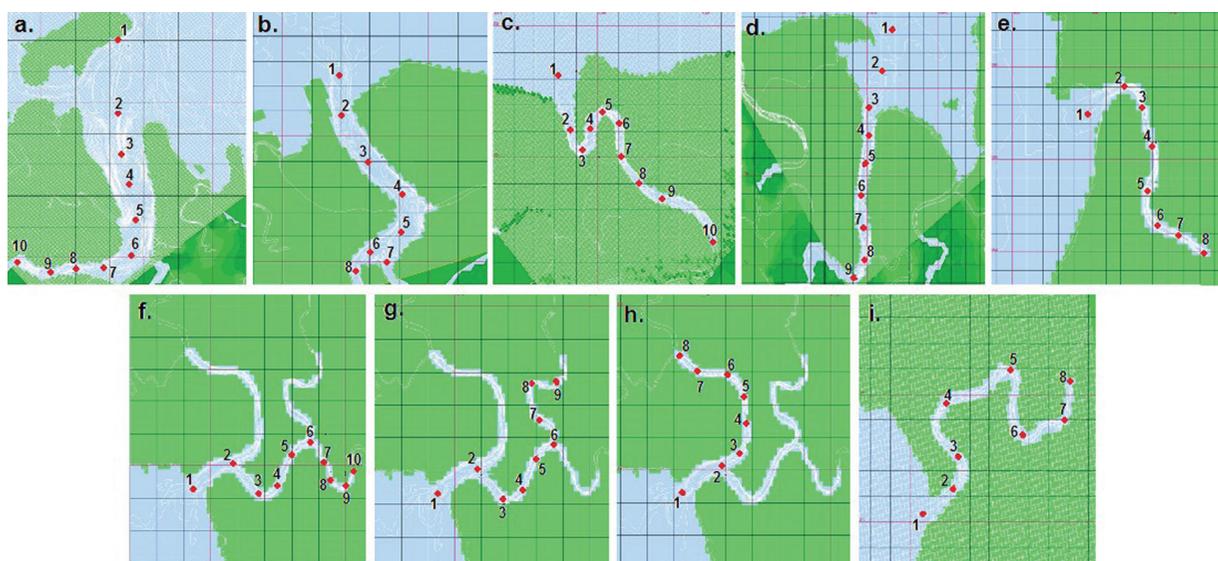


Figura 2. Esteros Aguaclara (a), Resurrección (b), Trapiche (c), Cuellar (d), El Mico (e), Llanaje (f) y los ríos Rosario (g), Colorado (h) y Curay (i), cada uno con sus respectivos puntos de estudio.

Luego de obtener estos resultados, como tercera fase, se procedió a construir el régimen medio y extremo del nivel del mar. Con el fin de representar el nivel de marea, en un régimen de probabilidades, se simula esta variable considerando tanto la marea astronómica como la marea meteorológica calculadas. Para el cálculo del régimen extremo de nivel de marea los datos necesarios son los mismos que para el régimen medio y el procedimiento de cálculo es idéntico, asumiendo las mismas hipótesis de partida; sólo que aquí se usa el máximo valor anual del nivel de marea.

ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía de Tumaco, se constituye como la mayor entrante del litoral nacional, entre las latitudes $1^{\circ} 45'$ y $2^{\circ} 00' N$ y las longitudes $78^{\circ} 30'$ y $78^{\circ} 45' W$ (figura 1), comprendiendo un área aproximadamente de 350 km^2 , con profundidades que varían entre 0 y 50 m [2]. A lo largo de esta bahía se encuentran ubicados diferentes esteros con dinámica mareal, de los cuales se seleccionaron para este estudio los esteros Aguaclara, Resurrección, Trapiche, Cuellar, El Mico, Llanaje y los ríos Rosario, Colorado y Curay.

En cada uno de los esteros se eligieron puntos de estudio ubicados a lo largo de estos, los puntos fueron distribuidos de tal forma que abarcaran toda el área de estudio, para así en cada uno

de estos puntos realizar el cálculo del régimen medio y extremo del nivel del mar (figura 2).

METODOLOGÍA

La determinación del régimen medio y extremo del nivel del mar implica el trabajar con dos variables, una variable determinística (marea astronómica) y otra estocástica (marea meteorológica). A continuación se describe en detalle la metodología que se siguió para obtener las mareas y así calcular el régimen medio y extremo del nivel del mar.

MAREA ASTRONÓMICA

La marea astronómica se define como el movimiento periódico del nivel del mar con períodos a las 12 o 24 horas provocado principalmente por las fuerzas gravitatorias ejercidas principalmente por el Sol y la Luna. Se dice que es una onda con características similares a las ondas cortas, pero con la particularidad de tener un período sumamente largo por lo que su propagación tiene lugar siempre en profundidades reducidas [3]. Es necesario conocer el comportamiento de esta onda para predecir su amplitud en un lugar e instante dado, una manera de realizar este estudio de este comportamiento es considerar la marea astronómica como la suma de un número finito de ondas, cuya amplitud y fase son conoci-

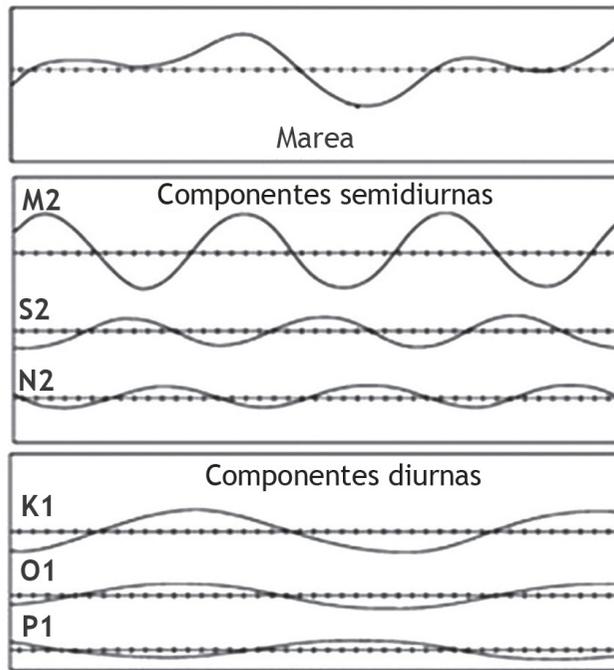


Figura 3. Descomposición de los registros del nivel del mar.

das debido a que este movimiento está asociado a algunos movimientos planetarios [4].

Un método utilizado para el cálculo de la marea astronómica es el llamado análisis armónico de mareas [5] que consiste en reducir una serie de medidas, normalmente un año de datos horarios de nivel del mar, a un conjunto manejable de parámetros que las especifiquen completamente. Este método descompone los registros de nivel del mar en un número finito de ondas en las cuales su período y fase han sido establecidos, debido a que coinciden con los períodos de algunos de los movimientos astronómicos entre la Tierra, la Luna y el Sol (figura 3).

El método que se utilizó en este trabajo es el elaborado por Dronkers [6], el cual está basado en el método de mínimos cuadrados [7]. Por lo tanto, la marea astronómica se aproxima entonces, a la suma de esas ondas constituyentes de la siguiente manera (1):

$$S_{MA}(t) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cos(\omega_i t + \varphi_i) \quad (1)$$

Donde: a_0 = amplitud del nivel medio de referencia, a_i = amplitud de la onda i , ω = frecuencia de la onda componente i , φ_i = desfase de la onda

componente i , t = instante en que se calcula la marea, n = es el número de componentes consideradas.

Este método trata de ajustar esa sumatoria de constituyentes, que representa la marea astronómica, a los datos del nivel del mar, minimizando el cuadrado de la diferencia entre ambas series [8], [5]. Debido a que en este caso no se cuenta con los suficientes registros instrumentales, entonces es necesario recurrir a herramientas como el empleo combinado de modelos numéricos de propagación de ondas largas con condiciones de contorno generadas a partir de modelos globales de nivel del mar.

Para la generación de series de marea astronómica, como condición de contorno para el modelo de propagación de ondas largas, se utilizaron los datos obtenidos mediante un método de interpolación, basado en el modelo AG95.1 que utiliza la base de datos Grenoble.

La base de datos Grenoble genera información de marea astronómica para cualquier zona en los océanos del mundo, discretizados espacialmente, de acuerdo a los requerimientos del usuario y para las fechas posteriores a 1985, utilizando 13 componentes armónicas, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Componentes armónicas utilizadas para la generación de la marea astronómica.

Grupo	Componente	Frecuencia (grado/hora)	Período (hora)
I	M2	28.984104	12.42
	S2	30.000000	12.00
	K1	15.041069	23.94
	O1	13.943036	25.80
II	P1	14.958931	24.07
	N2	28.439730	12.66
	K2	30.082137	11.97
III	Q1	13.398661	26.87
	L2	29.528500	12.19
	2N2	27.895400	12.91
	μ 2	27.968000	12.87
	u2	28.512000	12.63
	T2	29.959000	12.02

Para el cálculo de la marea astronómica en los puntos de estudio se utilizó el modelo hidrodinámico H2D, este modelo se adaptó, configuró y calibró para las condiciones existentes para la bahía de Tumaco con base en estudios realizados anteriormente. La información correspondiente al modelo H2D se encuentra en el documento "Metodología para establecer la línea de más alta marea en aguas abrigadas (bahías, estuarios, etc.), cuando no se tiene registros instrumentales" [4].

Este modelo asume la hipótesis inicial que $L \gg h$, siendo L la longitud de la onda y h la profundidad de la superficie donde se propaga, para las ecuaciones de ondas largas, el flujo es principalmente horizontal y las componentes de la velocidad u , v son mucho mayores que la componente vertical w , estableciéndose una distribución hidrostática de presiones.

MAREA METEOROLÓGICA

La marea meteorológica engloba los cambios del nivel del mar en las áreas costeras como respuesta a las tensiones tangenciales inducidas por campos de presiones y el viento; este tipo de mareas pueden causar sobre-elevaciones considerables de nivel medio del mar. Una de las maneras de representar la marea meteorológica es por medio del residuo meteorológico que se obtiene a partir del análisis armónico de una serie de nivel del mar, este residuo tiene carácter alea-

torio y, su régimen medio sigue una distribución aproximadamente normal [1].

Cuando en un área determinada no se cuenta con registros instrumentales, como en el presente caso, se hace necesario, para obtener el comportamiento de la marea meteorológica, el análisis de los residuos meteorológicos de series del nivel del mar, medidas de las estaciones más cercanas a la zona de interés, con el fin de determinar la validez de su aplicación para dicha zona, bajo la hipótesis que los factores meteorológicos, como el viento y los campos de presión, ejercen su influencia en una escala espacial bastante amplia en el océano, lo que se traduce en variaciones similares del nivel del mar en extensas zonas de la costa.

De acuerdo a [4] para el ajuste de los datos de marea meteorológica a una distribución de Gumbel, se empleó la serie completa de marea para el puerto de Buenaventura, datos horarios entre 1953 y 2000, cuyo porcentaje de datos faltantes correspondió al 8.2% del total del registro. Por otra parte, se construyó una serie de marea astronómica siguiendo la metodología del apartado anterior para obtener el residuo meteorológico; la serie de residuo meteorológico fue ordenada en forma ascendente y a cada dato le fue asignado una probabilidad acumulada de (2):

$$i = (n + 1) \quad (2)$$

Luego, se dibujan en papel probabilístico de Gumbel de máximos la pareja de datos según la ecuación (3):

$$\sum -\log\left[-\log\left(\frac{i}{n+1}\right)\right], S_{mm}(i) \quad (3)$$

Posteriormente se ajustan dos rectas, una para el régimen medio y otra para el régimen extremo. Para encontrar el punto en donde se interceptan estas dos rectas ajustadas, el cual es necesario conocer para la construcción del régimen medio y extremo del nivel del mar, se igualan las ecuaciones de las rectas ajustadas a cada uno de los regímenes de la siguiente manera:

Tenemos la función de distribución de Gumbel para régimen medio (4):

$$F_P = \exp\left[-\exp\left(\frac{S_{mm} - \lambda_m}{\delta_m}\right)\right] \quad (4)$$

Por otro lado se tiene la función de distribución de Gumbel, régimen extremo (5):

$$F_P = \exp\left[-\exp\left(\frac{S_{mm} - \lambda_e}{\delta_e}\right)\right] \quad (5)$$

Igualando las ecuaciones anteriores, se tiene (6):

$$F_P = \exp\left[-\exp\left(\frac{\lambda_e - \lambda_m}{\delta_e - \delta_m}\right)\right] \quad (6)$$

Donde p = hace referencia al punto de intersección de los regímenes extremo y medio, λ_e y λ_m = parámetros de localización del régimen extremo y medio de la marea meteorológica, respectivamente. δ_m y δ_e = parámetros de escala del régimen medio y extremo de marea meteorológica, respectivamente.

RÉGIMEN MEDIO DEL NIVEL DEL MAR

El régimen medio del nivel del mar no es más que la representación del comportamiento que tiene esta variable en un año medio, para este cálculo se definen las condiciones preliminares:

- Las constantes armónicas de la marea astronómica.
- El número de horas al año (8760) y el número de años a simular.
- La cota máxima permitida.

- Los parámetros de ajuste de la distribución de Gumbel para la sobre elevación por marea meteorológica.

Donde la cota máxima permitida se puede expresar como el régimen de inundación máximo alcanzado por una playa por acción de la dinámica marina y meteorológica, el cual viene determinado por la probabilidad conjunta de la marea astronómica, de la marea meteorológica, del *run-up* en la playa y del aumento del nivel medio del mar; y los parámetros de ajuste consisten en valores para calcular la variable reducida y pueden calcularse a partir de la serie de valores extremos.

Los resultados obtenidos para el régimen medio del nivel del mar, a partir de las simulaciones de marea astronómica y marea meteorológica se presentan en doble formato, uno es función (probabilidad acumulada) y el otro número de horas al año que se supera una cota dada, figura 4. La relación entre ambos se establece de la siguiente manera (7):

$$N = 8760(1 - F) \quad (7)$$

Donde N = número de horas al año que se supera la cota dada, 8760 = número de horas del año, F = probabilidad acumulada.

RÉGIMEN EXTREMO DEL NIVEL EL MAR

Para el cálculo del régimen extremo se utilizaron los mismos datos y metodología usados en el cálculo del régimen medio, asumiendo las mismas hipótesis iniciales, la diferencia que existe es que para este caso se utilizó el máximo valor anual del nivel del mar.

En este caso se generan n series que se usan para calcular la media y la desviación estándar para cada valor de probabilidad, con los que se obtienen las bandas de confianza del 90%, con estos valores máximos anuales obtenidos de todos los años simulados se construye el régimen extremo del nivel del mar. Las bandas de confianza del 90% se pueden calcular como (8).

$$\left(\bar{x} - 1.645\bar{s}\sqrt{\frac{n}{a}} \cdot \bar{x} + 1.645\bar{s}\sqrt{\frac{n}{b}}\right) \quad (8)$$

Donde \bar{x} = estimador puntual de la medida, \bar{s} = estimador puntual de la desviación estándar, n = tamaño de la muestra, a y b = coeficientes

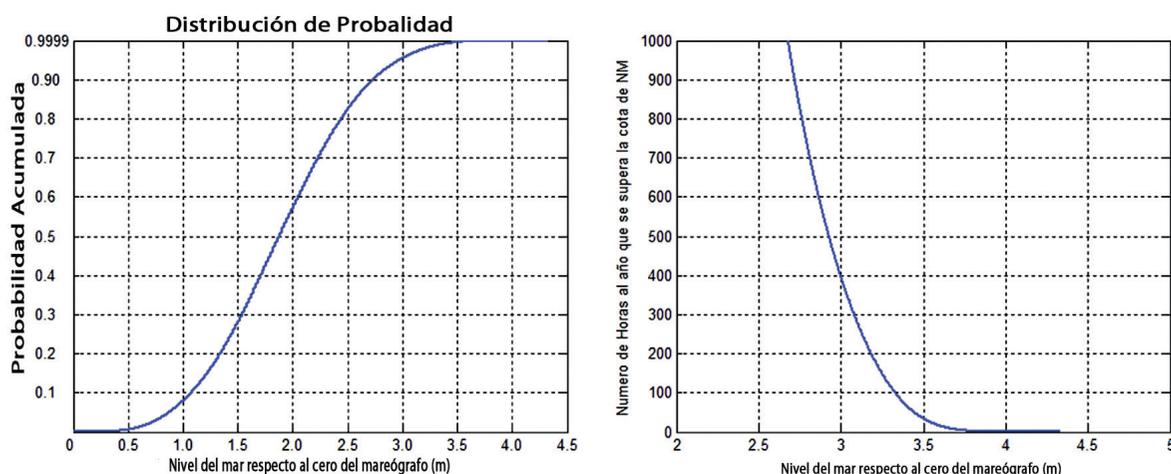


Figura 4. Ejemplo del régimen medio del nivel del mar.

que consideran una variabilidad en la desviación y que depende de n [9] (tabla 2).

Se simularon 100 series de 500 años para obtener los regímenes extremo de nivel de la marea, que se expresan como una función de probabilidad.

Una forma de representar los datos del régimen extremo del nivel del mar es graficarlos en papel probabilístico de Gumbel de máximos y en una doble escala, probabilidad acumulada y período de retorno, figura 5. La relación que existe entre las dos escalas es (9):

$$R = \frac{1}{(1 - F)} \quad (9)$$

Donde R = período de retorno (en años), tiempo medio que tarda en retornar un suceso, F = probabilidad acumulada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las simulaciones realizadas de marea astronómica y meteorológica, se calculó el régimen medio y extremo del nivel del mar en los esteros Aguaclara, Resurrección, Trapiche, Cuellar, El Mico, Llanaje y los ríos Rosario, Colorado y Curay, los resultados de este cálculo se presentan y muestran en doble formato para régimen medio y en doble escala para el régimen extremo, se muestran las gráficas para los es-

teros Aguaclara, Resurrección y trapiche, como ejemplo de los resultados obtenidos.

Por medio del cálculo del régimen del nivel del mar, se encontró que en el punto 1 (figura 2) del estero Aguaclara, la altura máxima que el nivel del mar alcanza en una año medio es de 3.92558 m, con probabilidad de no excedencia de 99.9% (figura 6), del mismo modo el nivel del mar calculado establece que en el punto 10 (figura 2) se presenta la altura mínima que alcanza en un año medio con un valor de 3.42861 m y una probabilidad de no excedencia del 99.99% (figura 7).

Para el estero Resurrección, el régimen del nivel del mar calculado muestra que en el punto 1 (figura 2), se da la altura máxima que alcanza el nivel del mar en un año medio, con valor de 3.86211 m, para una probabilidad de no excedencia de 99.99% (figura 8). Así mismo, para el punto 8 (figura 2) el cálculo del régimen del nivel del mar establece que en este se presenta la altura mínima que alcanza esta variable en un año medio, con valor de 3.67598 m, con probabilidad de no excedencia del 99.99% (figura 9).

El régimen del nivel del mar calculado en el estero Trapiche, muestra que en el punto 1 (figura 2) se genera el máximo valor de nivel del mar por valor de 3.85916 m, con una probabilidad de no excedencia del 99.99% (figura 10). De la misma manera en el punto 10 de este estero (figura 2), de acuerdo al cálculo realizado, se presenta la altura mínima de 3.76248 m que alcanza el nivel del mar en un año medio, con probabilidad de no excedencia del 99.99% (figura 11).

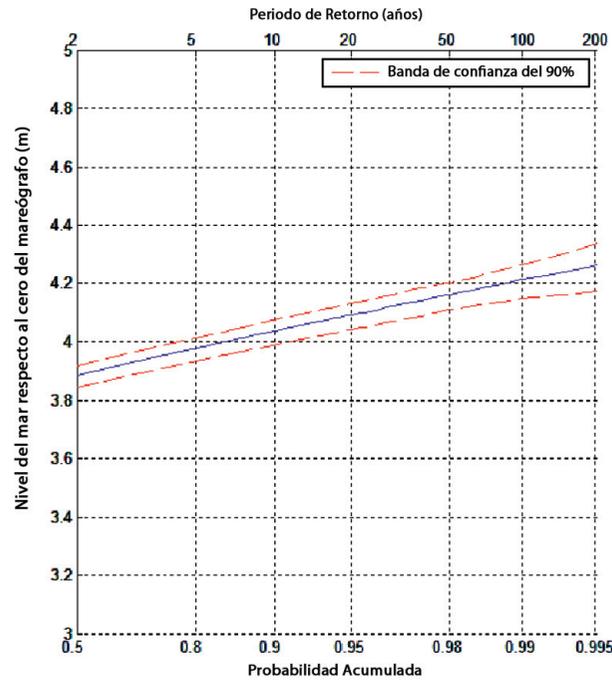


Figura 5. Ejemplo del régimen extremo del nivel del mar.

Tabla 2. Valores de a y b que conducen a intervalos de confianza de amplitud mínima para bandas de confianza del 90%.

n	a	b
4	0.582	17.6
5	1.060	18.1
6	1.590	18.9
7	2.180	19.9
8	2.790	20.9
9	3.430	22.0
10	4.080	23.2
20	11.300	35.1
30	19.100	47.0
40	27.200	58.8
50	35.600	70.3
60	44.100	81.8
70	52.700	93.2
80	61.400	104.4
90	70.100	115.7
100	78.800	127.0

Con el cálculo del régimen del nivel del mar se encontró que para los esteros Aguaclara, Resurrección, Trapiche, Cuellar, El Mico, Llanaje y los ríos Rosario, Curay y Colorado. Se puede identificar claramente que a medida que se introducen los puntos de estudio en los esteros, la altura máxima que el nivel del mar alcanza en un año medio se localiza en el punto inicial, es decir, en la boca del estero o río, y que, la altura mínima que el nivel del mar alcanza en un año medio, está ubicada en el último punto de cada zona de estudio. En la tabla 3 se muestran los valores máximos y mínimos de nivel de mar para cada uno de los lugares de estudio.

De los resultados arrojados por las simulaciones, podemos observar que la variación de la máxima altura que alcanza el nivel del mar en un año medio, para cada una de las regiones de estudio no presenta grandes diferencias entre ellas, teniendo como un valor máximo de 3.92558 m, en el punto inicial del estero Aguaclara (figura 6), y un valor mínimo de 3.85916 m, en el punto final del estero Trapiche (figura 10), diferencia de 0.06642 m.

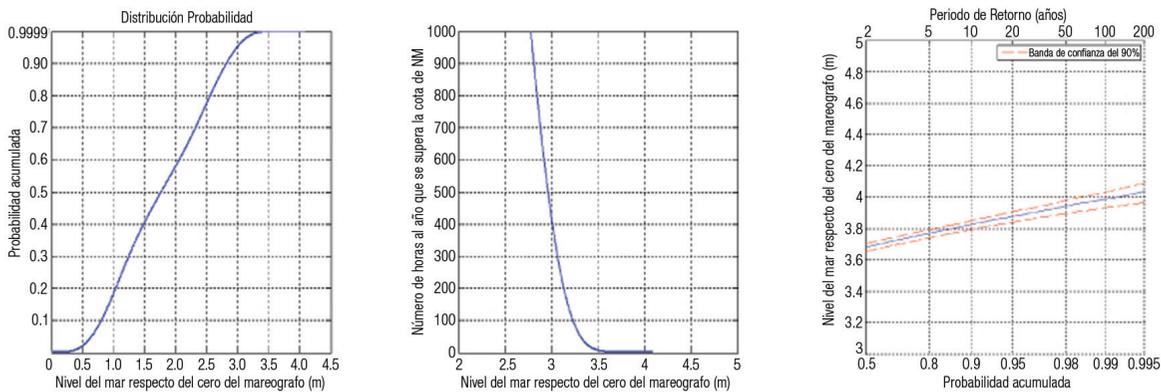


Figura 6. Régimen medio y extremo del mar y períodos de retorno para el punto 1, del estero Agu clara.

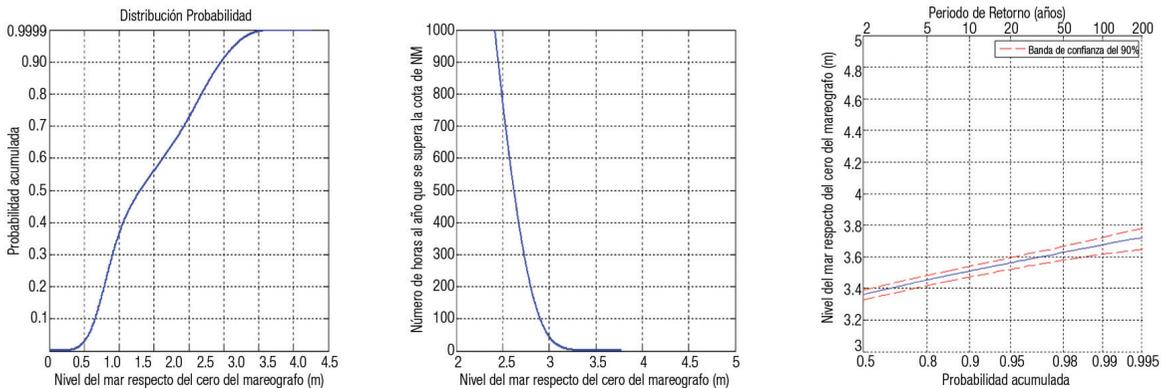


Figura 7. Régimen medio y extremo del mar y períodos de retorno para el punto 10, del estero Agua clara.

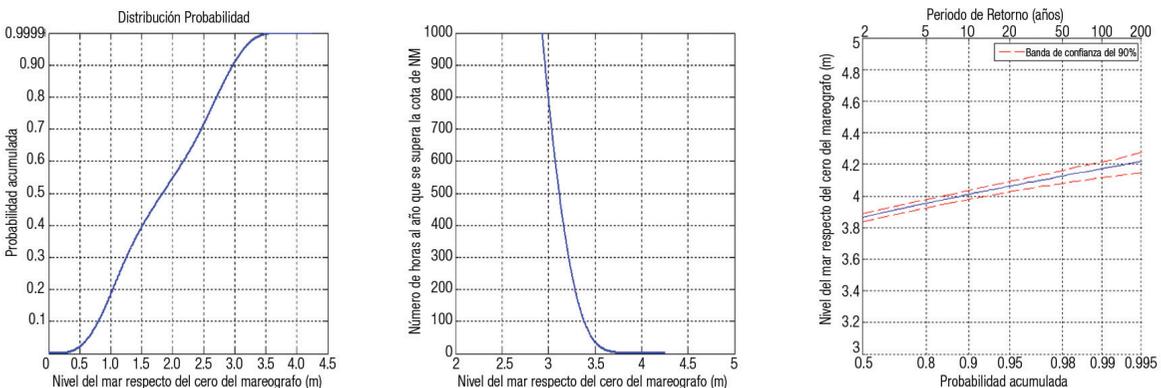


Figura 8. Régimen medio y extremo del mar y períodos de retorno para el punto 1, del estero Resurrección.

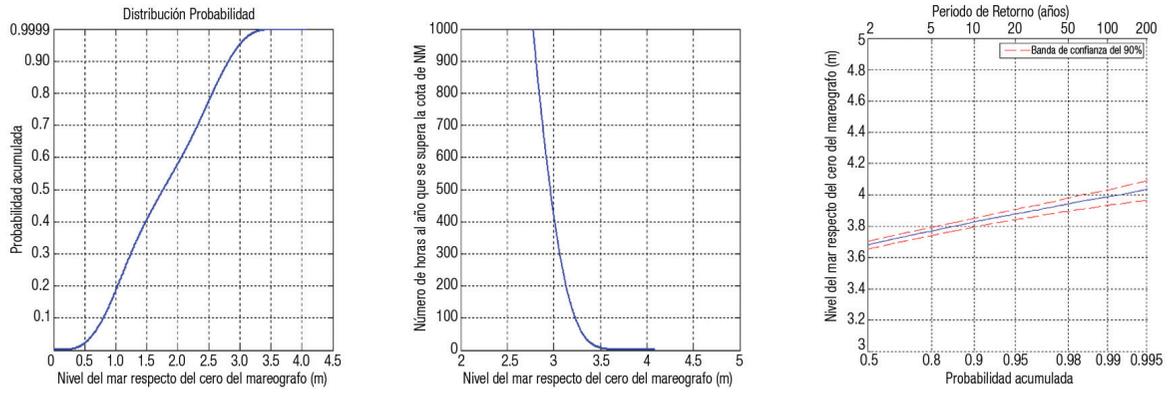


Figura 9. Régimen medio y extremo del mar y períodos de retorno para el punto 8, del estero Resurrección.

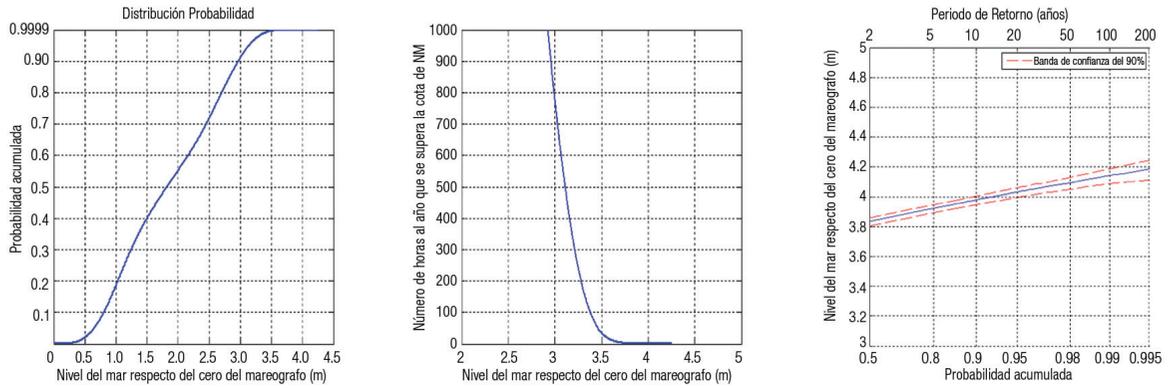


Figura 10. Régimen medio y extremo del mar y períodos de retorno para el punto 1, del estero Trapiche.

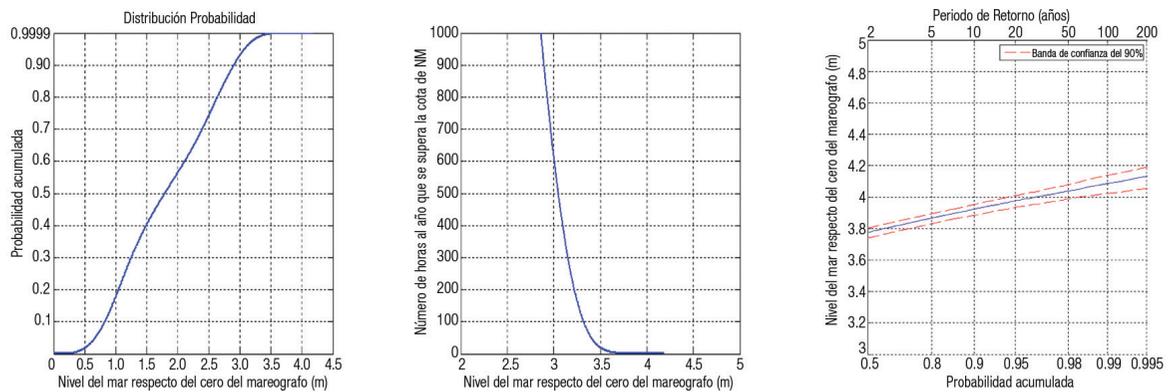


Figura 11. Régimen medio y extremo del mar y períodos de retorno para el punto 10, del estero Trapiche.

Tabla 3. Valores de nivel máximo y mínimo para los estero y ríos en la bahía de Tumaco.

Estero o río	Máximo nivel (m)	Mínimo nivel (m)
Aguaclara	3.92558	3.42861
Resurrección	3.86211	3.67598
Trapiche	3.85916	3.76248
Cuellar	3.90176	3.52662
El Mico	3.90176	3.66236
Llanaje	3.87080	3.66236
Rosario	3.90260	3.70932
Curay	3.90176	3.60240
Colorado	3.94416	3.49963

Es posible identificar claramente que a medida que se introducen los puntos de estudio en los esteros seleccionados, la máxima altura que alcanza el nivel del mar en un año medio va disminuyendo progresivamente, como se puede ver en los resultados obtenidos, (estero Trapiche 3.85916 m y 3.76248 m, Aguaclara 3.92558 m y 3.46494 m, Resurrección 3.86211 m y 3.67598 m, entre otros), esto debido a que la onda de marea sufre una deformación progresiva conforme se desplaza hacia el interior del estuario o río, como se ve en [10], del mismo modo, las dimensiones y geometría de estos ejercen una influencia determinante, ya que provocan cambios en el régimen de la onda de marea en su interior, afectando considerablemente la altura máxima debido a que esta influye en la amplitud de los componentes de la onda [11].

De la información recolectada se puede decir que para los esteros y ríos de la bahía de Tumaco analizados en este caso, el máximo nivel del mar alcanzado en un año medio, no presenta un cambio abrupto. Las diferencias que se presentan entre el máximo nivel de mar en cada uno de los puntos estudiados se debe, en parte, a la diferencia en el comportamiento que hay en las amplitudes de los armónicos que caracterizan la marea astronómica en cada punto y, además, en los dominios de agua semicerrados, la marea es habitualmente de tipo cooscilante [12], cuya aportación fundamental es debida a la onda de marea que se genera astronómicamente en el océano y se propaga al interior de éstos.

Comparando los resultados obtenidos que presentan la máxima altura que alcanza el nivel del mar en los esteros y ríos, con los datos de máxima altura calculados por [13], se tiene que los valores máximos encontrados muestran una

distribución espacial coherente con los valores máximos de ese estudio, teniendo una diferencia máxima de 0.453 m en la región del estero Trapiche, diferencia debida a que el estudio actual, calcula el máximo nivel del mar al interior del borde costero, lo cual genera un valor menor al que se encuentra si el estudio se realiza en un punto alejado de la zona costera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GIOC 2002b. Atlas de inundación del litoral peninsular español. Documento complementario. Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Cantabria. 2002; 95.
- [2] Tejada, C. Clima marítimo de la bahía de Tumaco, un caso de aplicación del sistema de modelado integral de zonas costeras para Colombia. Cantabria 44 pp. Tesis de maestría (MSc en Ciencias Tecnológicas para la Gestión de la Costa). Universidad de Cantabria. Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. 2002; 44.
- [3] Grobas, M. Variaciones del nivel del mar en el Mediterráneo occidental a partir de los datos suministrados por los mareógrafos. Tesis. Universidad Politécnica de Cataluña. 2003; 230.
- [4] Otero, L. Metodología para establecer la línea de más alta marea en aguas abrigadas (bahías, estuarios, etc.) cuando no se tienen registros instrumentales. Dirección General Marítima – Centro Control Contaminación del Pacífico. San Andrés de Tumaco, Colombia. 2005; 54.

- [5] FOREMAN M. Manual for tidal currents analysis and prediction. Department of Fisheries and Oceans, Institute of Ocean Sciences, Canada. 1978; 65.
- [6] DRONKERS, J. (1964). Tidal computations in rivers and coastal waters. North-Holland: Amsterdam. XII, 518 pp.
- [7] Otero, L. Determinación del régimen medio y extremo del nivel del mar para la bahía de Buenaventura. Boletín científico CCCP. 2004; 30-41.
- [8] GIOC 2002a. Documento de referencia – Dinámicas, Volumen I. Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Cantabria. 2002; 580.
- [9] Castillo, E y R. Pruneda. (2001). Estadística Aplicada. Editorial Moralea. Santander (España).
- [10] Morales, J.A., Borrego, J. Propagación de la onda de marea en el Estuario del Río Tinto (Huelva, España). Departamento de geología. Universidad de Huelva. Geogaceta. 2000; 115-118.
- [11] Lomónaco, P., Medina, R., Losada, I.J.. Influencia de la morfología del Estuario en la propagación de la onda de marea. Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas, Universidad de Cantabria. 2001; 10.
- [12] DEFANT A. Physical Oceanography. Vol 2. Pergamon Press, Oxford. 1961; 729.
- [13] Puentes Galindo, M. G., Sánchez Escobar, R. E. Determinación de la Línea de Más Alta Marea para el Litoral Pacífico Colombiano, aplicando métodos de modelación numérica. Dirección General Marítima – Centro Control Contaminación del Pacífico. San Andrés de Tumaco, Colombia. 2008; 45.