

**ESTIMACIÓN DE LA COTA DE INUNDACIÓN COMO HERRAMIENTA
PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS TORTUGAS MARINAS EN EL
PACÍFICO COLOMBIANO**

*Daniel S. Peláez-Zapata¹, Andrés F. Osorio A.², Oscar Álvarez-Silva³, Juan David Osorio-Cano⁴
y Luis Payán⁵*

^{1,2,3,4} Grupo de Investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera (OCEÁNICOS).

Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

⁵ Estación Científica Henry von Prah, PNN Gorgona. UAESPNN Territorial Suoccidente.

*¹dspelaez@unal.edu.co, ²afosorioar@unal.edu.co, ³oaalvare@unal.edu.co, ⁴jdosori0@unal.edu.co,
⁵estacioncientificagorgona@gmail.com*

RESUMEN:

Playa Palmeras está ubicada en el Parque Nacional Natural (PNN) Isla Gorgona en el Pacífico Colombiano; es uno de los sitios más importantes para la anidación de tortugas marinas en América del Sur y Centroamérica. Debido a procesos morfológicos que afectan la playa, los nidos de las tortugas se ven cada vez más expuestos al impacto del oleaje y la marea, poniendo en riesgo la conservación de éstas especies. En éste estudio se estimó la probabilidad de excedencia de la cota de inundación en Playa Plameras. Se usó el modelo SWAN (Simulating WAVes Nearshore) para propagar el oleaje desde aguas profundas hasta pie de playa. Usando un registro histórico de marea cerca a Gorgona, se calculó la serie de cota de inundación y se construyeron mapas trimestrales de probabilidad de inundación. Se encontró una variabilidad climática de la cota de inundación a escala intra-anual influenciada por la ZCIT. Se encontró también una influencia del ENSO, ya que éste afecta el oleaje y el nivel del mar. Los mapas sirven a los funcionarios encargados del monitoreo de las tortugas como herramienta para decidir si los nidos se dejan en su ubicación natural o si es necesario trasladarlos a lugares más seguros de la playa.

ABSTRACT:

Playa Palmeras is located in the Isla Gorgona National Natural Park in the Colombian Pacific Ocean. It is one of the most important places for the sea turtles nesting in South and Central America. Due to the morphological processes that may affect the beach, the turtles nests are increasingly exposed to the impact of the surge and the tide, putting into risk the conservation of these species. In this study we estimated the probability of exceedance of flood elevation in Playa Palmeras. We used the SWAN (Simulating WAVes Nearshore) model to propagate the waves from deep waters to nearshore. By using a historical tide data near to Gorgona, we calculated the flood elevation and we made seasonal maps of flooding probability. We found climate variability of flood elevation at intra-annual scale mainly affected by the ITCZ. We also found an ENSO influence in the waves and sea level. These maps serve to the turtle monitoring officers as a tool to decide whether the nests are left in its natural location or it's necessary to reallocate them.

PALABRAS CLAVES: cota de inundación, propagación de oleaje, Gorgona, tortugas marinas.

INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Natural (PNN) Isla Gorgona es uno de los sitios más importantes para la anidación de tortugas marinas en América del Sur y Centroamérica (Rueda-Almonacid et al., 2007). La isla está ubicada al suroeste de Colombia a 36 km del continente, tiene una extensión de 26 km² aproximadamente de superficie terrestre y 617 km² de área marítima. El lugar donde se presenta el mayor número de nidos es Playa Palmeras, que está localizada en el costado suroccidental de la isla y tiene una longitud aproximada de 1,2 km (Figura 1). En esta playa se presenta actualmente un sostenido proceso de erosión, de tal forma que los nidos de las tortugas se ven cada vez más expuestos al impacto del oleaje y la marea. Actualmente, todos los nidos identificados son trasladados a los puntos más elevados de la playa, lo cual podría amenazar la conservación de estas especies, ya que si se modifica la ubicación elegida naturalmente se podría afectar, por ejemplo, la determinación del sexo de las tortugas que depende de la temperatura del nido, poniendo en riesgo la conservación de estas especies. (Amorocho y Merizalde, 2004).

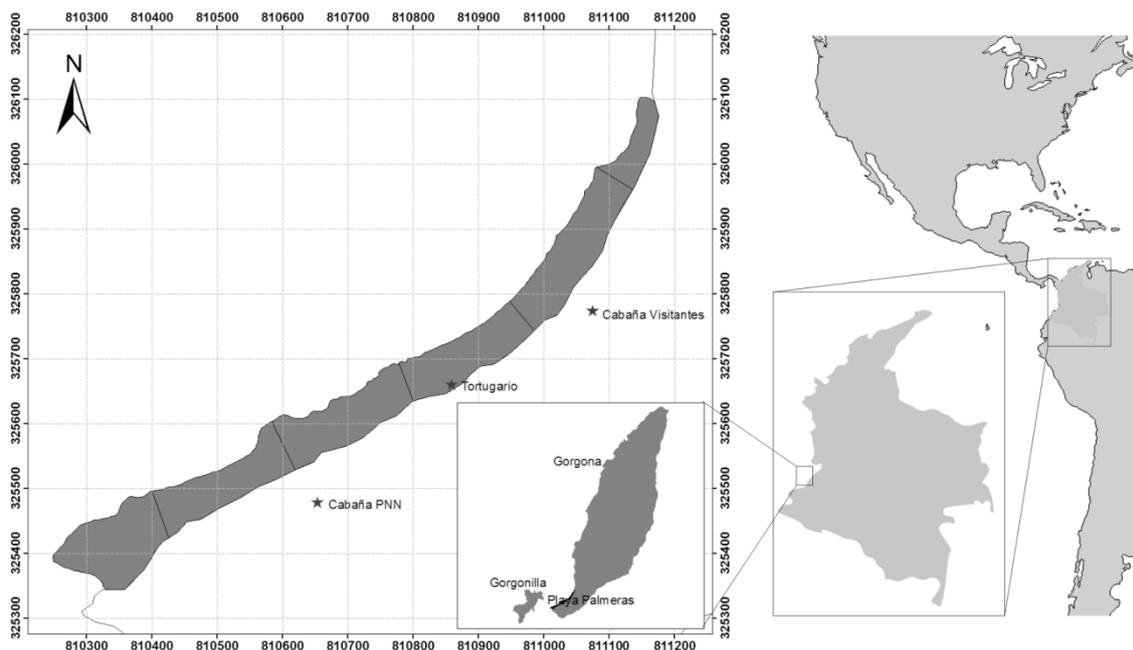


Figura 1.- Ubicación de Playa Palmeras en el PNN Isla Gorgona (UTM Zona 17N).

La cota de inundación se define como la elevación que alcanza la superficie del mar sobre la costa, por la acción conjunta de la marea y el oleaje. El nivel del mar en un instante dado está determinado por la marea astronómica, la marea meteorológica (debida a cambios en la presión atmosférica y el viento) y por la configuración de la costa y la batimetría. El oleaje que se aproxima a la costa rompe y produce un ascenso del agua sobre la playa conocido como *run-up*, producto de la liberación de energía (Agudelo et al., 2004).

En Colombia se han propuesto metodologías para estimar la cota de inundación a largo plazo a una escala regional en la Costa Caribe (Martínez, 2010; Nicolae et al., 2008; Torres et al., 2008) y en la Costa Pacífica (Agudelo et al., 2004), algunos basados en procedimientos propuestos por Medina et al. (1997) y por Castillo (1998). Por otro lado, INVEMAR (2003) realizó un estudio en el cual se analiza la vulnerabilidad y las medidas de adaptación a inundaciones de las zonas costeras e insulares de Colombia, en función de las características de la población y la infraestructura presentes.

En éste estudio se calculó la cota de inundación de la playa y se generaron mapas de los lugares seguros para la anidación de las tortugas, en función de la probabilidad de excedencia de la cota inundación y de la topografía de la playa. Estos mapas sirven a los responsables del monitoreo de las tortugas, como base para tomar decisiones acerca de si los nidos identificados están seguros en

su ubicación natural o deben ser trasladados a otro punto de la playa. La metodología se aplicó en el PNN Isla Gorgona, pero se puede replicar en otras playas donde se cuente con la información necesaria.

METODOLOGÍA

Se llevaron a cabo dos campañas de campo, una en febrero de 2011 y la otra en agosto del mismo año. Se hicieron mediciones de oleaje, marea, batimetría y topografía de la playa. Para medir el oleaje se usó un sensor acústico AWAC 1.0MHz de la empresa Nortek (Awac1000) que registra altura de ola, período y dirección en estados de mar de una hora a partir de registros durante 1024s (17min aprox.). La marea se midió con el sensor de presión de un correntómetro Aquadopp 2.0MHz (AQD). La batimetría se hizo con una ecosonda monohaz marca Hummingbird. Para la topografía de la playa se usó un GPS diferencial marca Topcon.

Para determinar la variabilidad intra-anual e interanual del oleaje en aguas profundas, se usó una serie de altura de ola significativa (Hs), período pico (Tp) y dirección (Dir) obtenida de una base de datos de reanálisis global del proyecto GOW (Globe Ocean Waves) del IH Cantabria, en el punto 78,5°W - 3,0°N cerca del PNN Isla Gorgona (Reguero et al., 2012). La serie tiene una resolución horaria, con datos desde 1948 hasta 2008, validados con boyas de la NDBC (*National Data Buoy Center*) de la NOAA. Se obtuvo el ciclo anual del oleaje (Hs, Tp, Dir) y su variabilidad interanual asociada al ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*), promediando los datos en aguas profundas para cada mes. Se usó el Índice Multivariado del ENSO (MEI; Multivariate ENSO Index; Wolter et al., 1998) para identificar los años El Niño, La Niña y Normales.

Para conocer las condiciones del oleaje en Playa Palmeras, se propagó una serie horaria de 21 años (1980-2000) de oleaje desde aguas profundas (78,5°W - 3,0°N) hasta pie de playa, usando el modelo SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*; Booij et al., 1999). Éste modelo está diseñado para simular la propagación del oleaje cerca de la costa y reproduce de manera adecuada los procesos de generación y transformación del oleaje (The SWAN Team, 2009). El modelo fue forzado con vientos a 10 m de NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996). Para la batimetría se usaron datos del modelo mundial de relieve ETOPO1 (Amante et al, 2009) combinados con levantamientos de detalle realizados en campo y con cartas náuticas proporcionadas por la DIMAR (Dirección General Marítima).

Se usó un esquema de cuatro mallas anidadas, pasando de una resolución de 700m hasta una más detallada de 50m. Se utilizó una condición de frontera paramétrica en la primera malla (oleaje en aguas profundas) y espectral en las siguientes (resultados de las mallas precedentes). La ejecución del modelo se hizo en modo no estacionario, considerando los procesos de refracción, difracción, white-capping, disipación por fondo y por rotura e interacción no lineal entre olas, con parámetros definidos por defecto. Los resultados del modelo fueron validados en el dominio de la probabilidad para la época de una de las campañas de campo (febrero 2011), comparando la distribución estadística de los datos de Hs medidos (Awac1000) y los datos de la simulación de los meses de febrero de cada año, utilizando los percentiles del 1% de cada serie.

Se contó con dos series de marea en puntos cercanos a Gorgona, uno en el municipio de Tumaco y el otro en la bahía de Buenaventura (Figura 3). Se usó la serie horaria del mareógrafo ubicado en el municipio de Tumaco, el cual tiene datos de nivel del mar desde 1951 hasta 2000, con un 15% de datos faltantes. Estos datos se validaron con mediciones en campo (AQD) y se encontró que la marea en Gorgona es aproximadamente la misma que en Tumaco. La marea se descompuso en sus armónicos principales usando series de Fourier, para determinar las componentes astronómica y meteorológica. Se comparó la marea meteorológica a escala interanual con el MEI. En la Figura 2 se muestra la ubicación de los puntos descritos anteriormente.

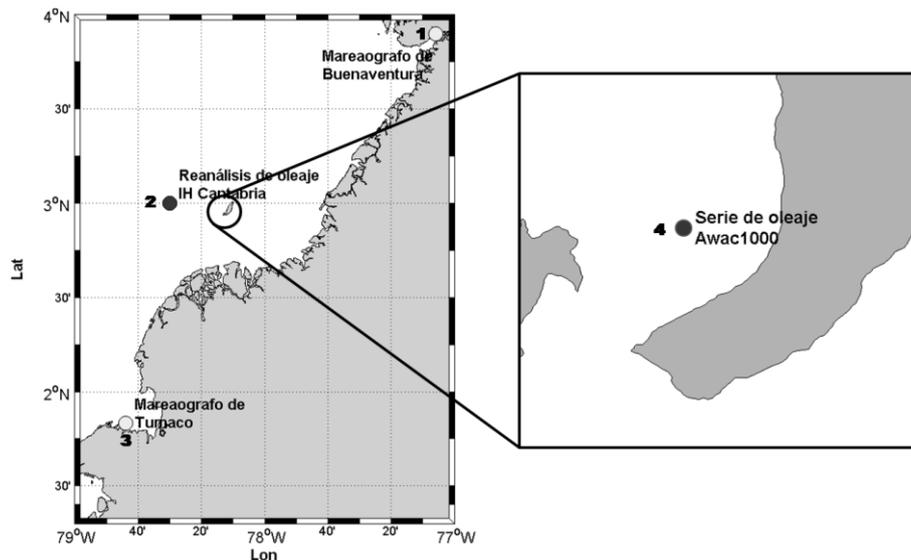


Figura 2.-Localización de los equipos de campo y puntos de reanálisis. Mareógrafos de (1) Buenaventura y (2) Tumaco. (3) Reanálisis de oleaje del IH Cantabria y (4) Serie de oleaje medida (Awac1000) y simulada (SWAN).

La cota de inundación se calcula como la suma del nivel de marea (astronómica y meteorológica) y la altura hasta donde asciende el oleaje al llegar a la playa (*run-up*). Se calculó la cota de inundación usando la serie de oleaje propagada hasta pie de playa (1980-2000) y la serie de marea registrada por el mareógrafo de Tumaco para el mismo período de tiempo, tomando como nivel de referencia el promedio de bajamares de sicigia del registro de marea. Se calculó el *run-up* usando una formulación empírica (Nielsen y Hanslow, 1991), la cual depende de la altura de ola significativa (H_s), el período pico (T_p ; asociado a la mayor energía) y la pendiente media de la playa ($\tan\beta$). Se usó la pendiente media de la playa obtenida del levantamiento topográfico detallado ($\tan\beta=0,12$). La ecuación usada está dada en (1).

$$Ru = \begin{cases} 0,02257(gH_s)^{0,5} T_p + 0,17H_s & \rightarrow \text{si } \tan\beta < 0,1 \\ 0,4447(gH_s)^{0,5} T_p \tan\beta & \rightarrow \text{si } \tan\beta > 0,1 \end{cases} \quad (1)$$

Se calculó la probabilidad de excedencia de la cota de inundación para cada trimestre. Se determinaron los niveles asociados a las probabilidades de excedencia de 20%, 10%, 5%, 1% para cada trimestre. Con estos niveles se crearon los mapas trimestrales de probabilidad de inundación interpolando en la topografía de detalle de la playa, generando iso-líneas de probabilidad de excedencia de cota de inundación.

RESULTADOS

Clima marítimo en aguas profundas

La variabilidad climática del oleaje en aguas profundas en Isla Gorgona (Figura 3) tiene un marcado ciclo anual determinado por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). En el trimestre DEF los vientos alisios del noreste que entran por el Istmo de Panamá se recurvan hacia el este, lo que genera que parte del oleaje en esta época provenga del norte, con alturas de ola en promedio de 0,6m y períodos de 12s. En el trimestre MAM se presentan las menores H_s (cerca de 0,5m) y los mayores T_p (hasta 13s), se presenta también un oleaje predominante del SW, producto del recurvamiento de los vientos alisios del sureste. A partir del trimestre JJA la altura de ola empieza a crecer debido a que se intensifican los vientos del chorro del Chocó, llegando a un máximo en el trimestre SON, donde el oleaje alcanza en promedio 0,75m de altura y períodos de 10s. En general, en los trimestres DEF y MAM se presenta un oleaje con menor influencia de los vientos de la zona,

predominando el oleaje de fondo, mientras que en los trimestres JJA y SON se presenta una influencia directa del chorro del Chocó. Existe también una marcada variabilidad interanual del oleaje asociada al ENSO; se observa que, en general, el oleaje es más débil durante la fase cálida del ENSO y más fuerte durante la fase fría. Esto se debe a que los vientos alisios se debilitan durante los años El Niño y se intensifican en los años La Niña (Poveda y Mesa, 1999; Poveda 2004; Poveda et al., 2006), generando estas diferencias en la altura de ola entre las dos fases. En los meses de febrero, marzo y junio durante los años El Niño se presentan las mayores alturas de ola, contrario a los que sucede en los otros meses.

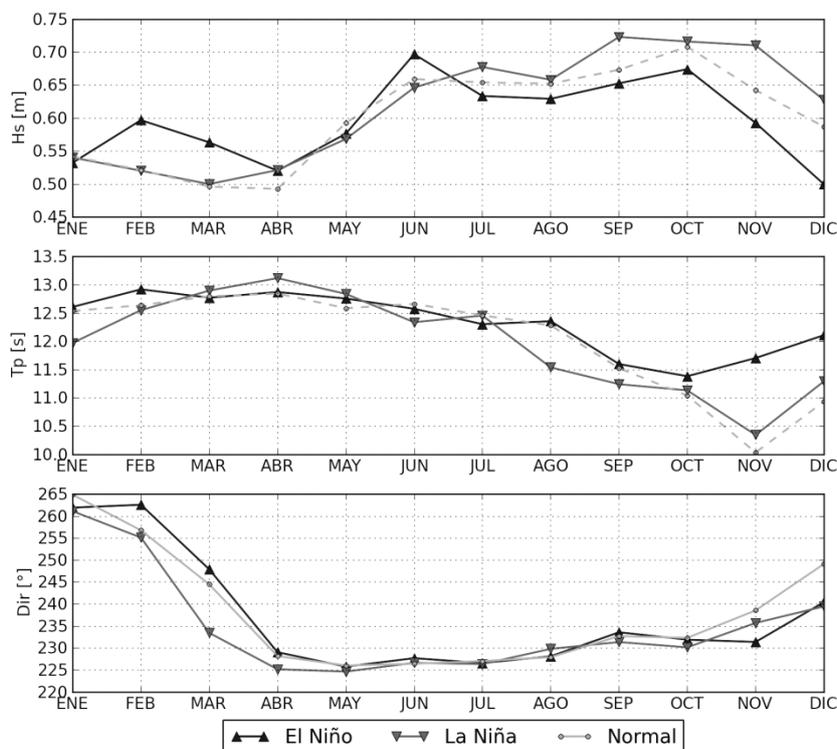


Figura 3.- Ciclo anual de altura de ola significativa (Hs), período pico (Tp) y dirección (Dir) en aguas profundas y su variabilidad interanual asociada a las fases cálida y fría del ENSO.

Oleaje a pie de playa y validación de la simulación

Para validar la simulación se comparó la distribución estadística de los datos de Hs medidos (Awac1000) y los resultados de Hs simulados con SWAN a pie de playa (Figura 4A) de los meses de febrero de cada año. Se utilizó un gráfico de cuantiles asociados al 1% de cada distribución (Figura 4B). Se observa que la simulación subestima un par de centímetros los máximos y sobrestima un poco los mínimos, pero en general ambas distribuciones son muy similares entre sí.

Se obtuvo el campo promedio de Hs y dirección (SWAN) para la malla más fina (50m) y para cada trimestre (no se muestra). En el trimestre DEF el oleaje en promedio es del W, ya que gran parte del oleaje llega del norte; mientras que en el trimestre SON es más del SW y se presenta una mayor magnitud comparada con las otras épocas del año. El islote Gorgonilla funciona como protección para Playa Palmeras, ya que la dirección predominante del oleaje es del SW; esto provoca una disminución hasta de 0,3m en la altura de ola al llegar a la Playa Palmeras. Además las mayores Hs de la zona se presentan justo antes de Gorgonilla, esto se debe a bajos de la batimetría que provocan un asomeramiento en las olas.

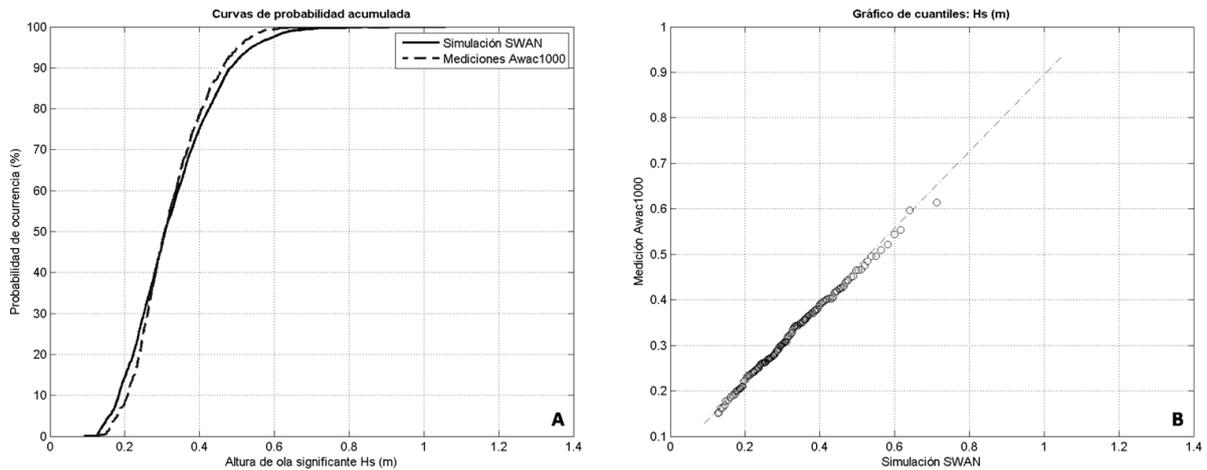


Figura 4.- Validación de los resultados de la propagación de oleaje desde aguas profundas hasta pie de playa. A) Curvas de distribución de probabilidad acumulada para la serie medida (Awac1000) y simulada (SWAN). B) Gráfico de cuantiles del 1% para las dos series.

Curvas de probabilidad de excedencia de cota de inundación

Se calculó la probabilidad de excedencia de la serie de cota de inundación para cada trimestre (Figura 5A). Se observa que la cota de inundación está controlada, en términos medios, por el oleaje (*run-up*), aunque la marea meteorológica genera sobre-elevaciones significativas en el nivel del mar. Se encontró que la variabilidad de la cota de inundación a escala interanual está influenciada por el ENSO, que afecta directamente en la marea meteorológica; se presentan los mayores niveles en los años que corresponden a la fase cálida (El Niño) y los menores en la fase fría (La Niña). Se encontró una correlación simultánea (Pearson) entre el MEI y la marea meteorológica del 51,8% (Figura 5B). El ENSO además presenta una variabilidad estacional ya que comienza en los meses de marzo-mayo y alcanza su máximo desarrollo durante los meses de noviembre-enero (Poveda, 2004), esto se observa en la Figura 4A, donde se muestra un aumento considerable en los trimestres DEF y SON para las cotas de inundación excedidas menos del 5% del tiempo. Esto sugiere que los máximos de la cota de inundación son controlados por la marea meteorológica y por el ENSO.

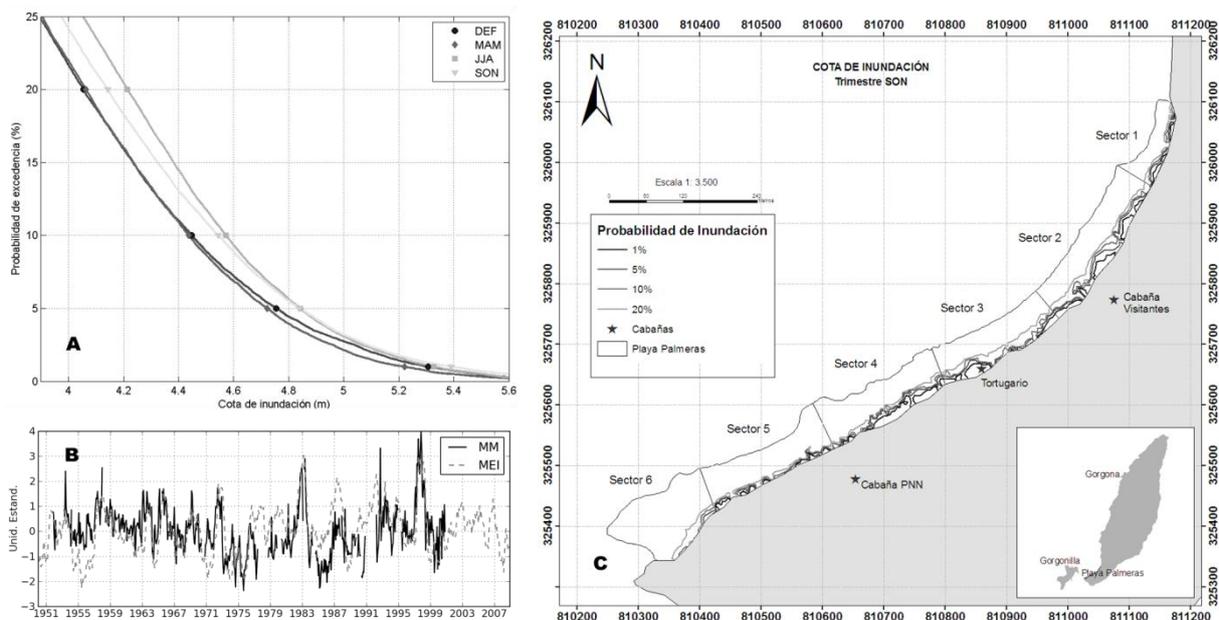


Figura 5.- Cota de inundación de la zona de estudio. A) Curvas de probabilidad de excedencia de la cota de inundación para cada trimestre. B) Correlación simultánea entre el Índice Multivariado del ENSO (MEI) y la marea meteorológica (MM). C) Mapa de cota de inundación de Playa Palmeras para 1%, 5%, 10%, 20% de probabilidad de excedencia.

Se construyeron mapas de probabilidad de inundación interpolando las cotas de inundación asociadas a probabilidades de excedencia del 1%, 5%, 10% y 20% en la topografía de la playa para cada trimestre. Se muestra el mapa del trimestre SON (Figura 5C) que es donde se presentan las condiciones más críticas. En estos mapas se puede observar que las zonas con menor probabilidad de inundación se encuentran hacia el sector medio-norte de la playa (sectores 1 a 4), definiendo en estos sitios las áreas más seguras para el anidamiento natural de las tortugas y para el traslado de los nidos desde zonas de mayor riesgo. Por otro lado, en los sectores 5 y 6, al sur de la playa las probabilidades de inundación son mucho mayores. Esta zona según las observaciones de campo, es donde se presenta mayor erosión y retroceso de la línea de vegetación.

Para obtener los resultados se consideraron varias suposiciones. (1) Al construir los mapas de probabilidad de inundación se trabajó bajo la suposición de que las características del oleaje no varían a lo largo de la playa, lo cual no es del todo cierto, ya que debido a procesos de transformación como difracción y asomeramiento, se presenta una variación de los parámetros del oleaje modificando espacialmente la cota de inundación. (2) La serie de oleaje se generó a partir de un modelo numérico que, aunque está basado en procesos físicos, fue alimentado con condiciones de frontera que provienen de reanálisis, es decir, que también son producto de modelación numérica; a pesar de esto los datos obtenidos del modelo fueron validados con información de campo. (2) Para el cálculo del *run-up* se usó una formulación empírica que, aunque describe bien el fenómeno, tiene algunas limitaciones, por ejemplo, solo considera la pendiente media y no la forma general del perfil de playa, y no considera la granulometría ni la permeabilidad del material, sobreestimando los valores del *run-up*, ya que no se considera el volumen de agua que se infiltra. (3) Se consideró que el número de datos de la serie de cota de inundación es suficientemente largo para calcular la probabilidad como la frecuencia relativa por lo tanto no se hizo un ajuste a una función de densidad conocida. (4) Los mapas de probabilidad de inundación, que son el producto final de este artículo, fueron creados con un levantamiento topográfico específico, pero debido a los cambios morfológicos de la playa, es necesario renovar estos mapas periódicamente teniendo en cuenta la escala temporal de variación de la morfología de la playa.

CONCLUSIONES

Se hizo una caracterización de la variabilidad climática del oleaje en aguas profundas en el PNN Isla Gorgona, describiendo el ciclo anual y su variabilidad interanual, teniendo en cuenta la influencia de fenómenos climáticos globales como el ENSO. Se calculó la cota de inundación sumando hora a hora el *run-up* y el nivel de marea registrado por el mareógrafo de Tumaco. Se estimó la probabilidad de excedencia de la cota de inundación y se construyeron mapas trimestrales de probabilidad de inundación asociados a 1%, 5%, 10% y 20% de probabilidad de excedencia.

Los mapas de probabilidad de inundación sirven a los funcionarios encargados del monitoreo de las tortugas en la isla como herramienta para la toma de decisiones en cuanto al traslado de los nidos, ya que cuentan con la información del riesgo de inundación en cualquier punto de la playa. Los resultados muestran que la zona media norte de la playa es la que presenta menos riesgo de inundación y por tanto es la zona más adecuada para conservar los nidos naturalmente y reubicar los que se encuentren en zonas de mayor riesgo.

La estimación de la cota de inundación es un problema importante y con aplicaciones variadas; en este caso se aplicó en la conservación de ecosistemas, pero se podría usar también como herramienta para la gestión del riesgo en general y el manejo integrado de zonas costeras. Por lo tanto hay que seguir investigando y aplicando nuevas metodologías, tanto en la obtención de los datos como en su tratamiento estadístico. Las líneas de investigación futuras apuntan hacia la implementación de modelos de inundación que, aplicados de manera sistemática, puedan predecir en tiempo real la inundación de una determinada playa con cierto nivel de probabilidad, minimizando las parametrizaciones, simplificaciones y suposiciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Programa Por Nuestros Mares, Fondo Alianza para la Acción Ambiental y la Niñez y Conservación Internacional por la financiación de este trabajo. Al Instituto de Hidráulica de la Universidad de Cantabria (IH Cantabria) por proporcionar la información necesaria para llevar a cabo ese estudio. A todas las personas que hicieron posible la ejecución gracias a sus valiosos aportes y decidido apoyo.

REFERENCIAS

- Agudelo, P., González, M., y Medina, R.** (2004). “Determinación de la cota de inundación del Pacífico colombiano”. *XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica* São Pedro, Estado de São Paulo, Brasil. pp. 5.
- Amante, C. y B. W. Eakins.** (2009). ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. *NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24*, pp. 19.
- Amorocho, D.F. y Merizalde, L.A.** (2004). *Biología reproductiva de las tortugas marinas en el Parque Nacional Natural Gorgona: creando capacidad técnica para el manejo y la conservación de las tortugas marinas en hábitats reproductivos del Pacífico colombiano*. Temporada Octubre - Noviembre, 2004. Informe final a C.I. Colombia. CIMAD. pp. 20.
- Booij, N., Ris, R.C., y Holthuijsen, R.H.** (1999). “A third generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation”. *Journal of Geophysical Research*, 104, C4, pp. 7649-7666.
- Castillo, M.C.** (1998). *Desarrollo de una metodología para la obtención de un atlas de cota de inundación en playas en el litoral español*. Tesina de máster. Universidad de Cantabria, Santander, España.
- Davidson, A.C. y Smith, R.L.** (1990). “Models for exceedances over high thresholds.” *L. Roy. Statist. Soc. B.*, Vol. 52, pp. 339-442.
- GIOC.** (2002). *Atlas de inundación del litoral peninsular español*. Documento Temático, Universidad de Cantabria, Cantabria.
- Gumbel, E.J.** (1958). *Statistics of extremes*. New York: Columbia University Press.
- Hunter., J.D.** (2007). “Matplotlib: A 2D Graphics Environment.” *Computing in Science and Engineering*, 9(3): 90-95.
- INVEMAR.** (2003). *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 (Caribe, Insular y Pacífico) y medidas para su adaptación*. Resumen Ejecutivo, Santa Marta.
- Kalnay et al.** (1996). “The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project”. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* , 77, pp. a437-470.
- Medina, R., Méndez, F.J. y Castillo, M.C.** (1997). “Determinación de la cota máxima de inundación en una playa”. *Jornadas Españolas de Puertos y Costas*, Cádiz. Pp. 789-801.
- Martinez, J.C.** (2010). *Propuesta metodológica para la estimación de la cota de inundación en la zona costera del Caribe colombiano*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Nicolae, A., Francois, Y., Durand, P., Torres, R.R., y Andrade, C.A.** (2008). Variabilidad del nivel del mar desde 1950 hasta el 2000 y riesgos asociados a episodios de mar de leva en las

penínsulas de Bocagrande y Castillogrande, Cartagena de Indias, Colombia. *Boletín Científico CIOH*. (26) 72-85, ISSN 0120-0542.

Nielsen, P. y D.J. Hanslow (1991). "Wave run-up distributions on natural beaches". *Journal of Coastal Research*. Vol. 7, No 4, pp. 1139-1152.

Pérez, F. B.E. Granger. (2007) "IPython: A System for Interactive Scientific Computing." *Computing in Science and Engineering*. 9(3): 21-29.

Poveda, G y O.J. Mesa (1999). "La corriente del Oeste ("Chocó") y otras dos corrientes de chorro en Colombia: Climatología y variabilidad durante las fases del ENSO". *Rev Acad. Cienc Colomb.* 23(89): 517-529.

Poveda, G. (2004). "La Hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diaria". *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* (28), pp. 107.

Poveda G., P.R., Waylen y R.S., Pulwarty (2006). "Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (234): 3-27

Pugh, D.T. y J.M. Vassie (1978). "Extreme sea level from tide and surge probability." *Proc. 16 Coastal Eng. Conference, Hamburg*. ASCE, Vol. 1, pp. 911-930.

Reguero, B.G., M. Menéndez, F.J. Méndez, R. Mínguez, I.J. Losada (2012). "A Global Ocean Wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards." *Coastal Engineering*, (65): 38-55.

Rueda-Almonacid J.V., et al. (2007). *Tortugas Marinas de América*. Conservación Internacional. Serie de Guías de Bolsillo.

Smith, R.L. (1989). "Extreme value analysis of environmental time series: an application to trend detection in ground level ozone". *Statist. Sci.* Vol. 4, pp. 367-393.

The SWAN Team. (2009). *SWAN Technical Documentation*. Delft University of Technology, Delft.

Tawn, J.A. (1988). "An extreme value theory model for dependent observations". *Jour. Hyd.* Vol. 101, pp. 227-250.

Tawn, J.A. y J.M. Vassie (1991). *Recent improvements in the joint probability method for estimating extreme sea levels*. In *Tidal Hydrodynamics*. Ed. Bruce B. Parker John Wiley & Sons, Inc. pp. 813-828.

Torres, R.R., Otero, L.J., Afanador, F., Marriaga, L. (2008). Comportamiento del nivel del mar en el litoral Caribe colombiano. *Boletín Científico CIOH*. (26) 8-21, ISSN 0120-0542.

Wolter, K., y M.S. Timlin (1998). "Measuring the strength of ENSO - how does 1997/98 rank?" *Weather*, 53, 315-324.