

XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
PUNTA DEL ESTE, URUGUAY, NOVIEMBRE 2010

BASES METODOLÓGICAS PARA CARACTERIZAR EL OLEAJE LOCAL
(SEA) Y DE FONDO (SWELL) EN EL GOLFO DE URABÁ

Andrés Osorio Arias, Andrés Gómez Giraldo, Luis Molina Flórez, Oscar Álvarez Silva y Juan Osorio Cano

*Grupo de Investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera (OCEÁNICOS),
Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
afosorioar@unal.edu.co, eagomezgi@unal.edu.co, lgmolinaf@unal.edu.co, oaalvare@unal.edu.co,
jdosori0@unal.edu.co*

RESUMEN:

El Golfo de Urabá se encuentra ubicado en el extremo suroeste de la costa Caribe Colombiana, en los límites entre Colombia y Panamá. En el Golfo se desarrollan una gran cantidad de actividades humanas como el transporte de alimentos, maderas y productos industriales, la pesca y el turismo, entre otros. Es fundamental para el desarrollo eficiente y seguro de las actividades que allí se realizan, y en general para el manejo integral de las zonas costeras, tener un conocimiento adecuado de la dinámica de este cuerpo de agua. En este estudio se propone una metodología para implementar un modelo de oleaje que permita caracterizar el oleaje local y de fondo en esta zona. La metodología implica simulaciones numéricas con el modelo SWAN apoyado con información medida en campo e información secundaria de la zona. Los resultados muestran que el modelo SWAN se ajusta bien a las mediciones de oleaje realizadas en campo. Además se encontró, que el oleaje predominante en el Golfo varía de acuerdo a la zona; al norte del Golfo el oleaje es principalmente proveniente de fondo (oleaje tipo swell), mientras que al sur del Golfo, en la Bahía Colombia, el oleaje es producido por el viento local (oleaje tipo sea).

ABSTRACT:

The Gulf of Urabá is located in the extreme southwest of the Colombian Caribbean coast, in the limits between Colombia and Panamá. In the Gulf are developed a lot of human activities such as transport of food, wood and industrial products, fisheries and tourism, among others. It is essential for safe and efficient development of activities carried out there, and in general for the integrated management of coastal areas, have adequate knowledge of the dynamics of a body of water. This study proposes a methodology to implement a wave model able to characterize the local waves and background in this area. The methodology involves numerical simulations with the SWAN model supported by field information and secondary information to the area. The results show that the SWAN model fits well with measurements made waves in the field. It was also found that the predominant waves in the Gulf varies according to the area; Gulf north of the surf is mostly from the background (waves swell), while south of the Gulf, Bay Colombia, the waves are produced by local wind (waves sea).

PALABRAS CLAVES:

Simulación hidrodinámica, Oleaje local (Sea), Oleaje de fondo (Swell).

INTRODUCCIÓN

El Golfo de Urabá se encuentra ubicado en el extremo suroeste de la costa Caribe Colombiana, en los límites entre Colombia y Panamá, entre la latitud 7°51' N y 8°40' N y la longitud 77°38' W y 76°40' W de longitud (Ver Figura 1).

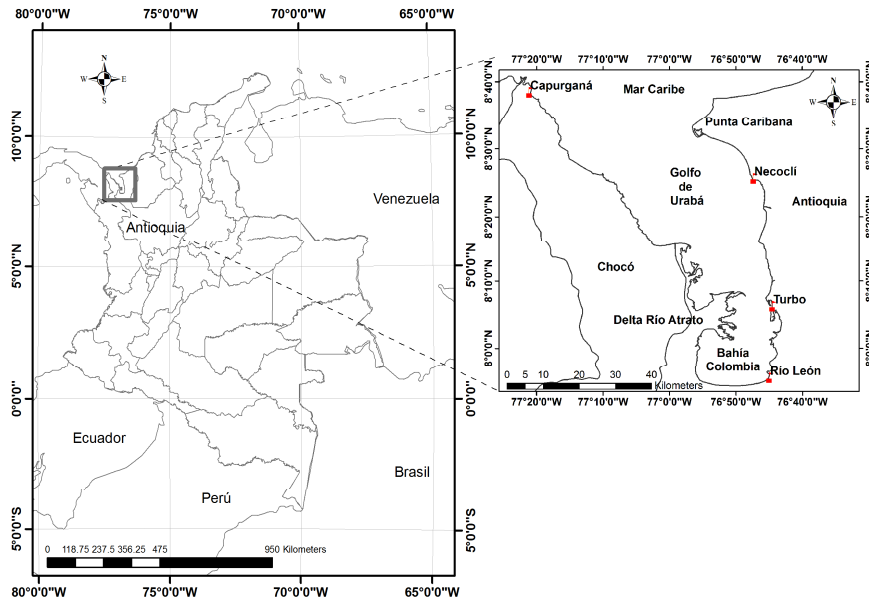


Figura 1.- Ubicación geográfica de la zona de estudio

Debido a su ubicación geográfica y a sus características geomorfológicas, en el Golfo de Urabá se presentan condiciones propicias para el crecimiento de ecosistemas costeros y marítimos tales como: playas, manglares, corales, entre otros. Estos ecosistemas se ven amenazados por procesos naturales como mares de leva, huracanes e inundaciones fluviales; y por las actividades humanas que se desarrollan en la zona, entre las que se destacan la pesca, la explotación de madera y el cultivo de banano a gran escala (CORPOURBÁ 2003).

En adición a esto, debido a la falta de planificación de zonas costeras en el Golfo, se han incrementado obras marinas y costeras, tales como espolones, rompeolas y dragados que atienden problemas puntuales pero que aceleran, en muchos casos, los procesos de erosión y sedimentación de zonas vecinas (Correa y Vernet 2004).

Para atender la problemática de la zona es necesario desarrollar una solución integral que involucre, entre otros aspectos, el entendimiento de la hidrodinámica del oleaje en el Golfo de Urabá, apuntando a plantear alternativas sostenibles. Razón por lo cual, este estudio propone una metodología para caracterizar el oleaje local y de fondo en el interior del Golfo, a partir de simulaciones numéricas con el modelo SWAN (Simulating Waves Near Shore), apoyadas en información secundaria y mediciones de campo.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada para el desarrollo de este estudio tiene cuatro componentes fundamentales que son: la simulación numérica de los procesos físicos de generación, propagación y transformación del oleaje; la calibración y validación del modelo de oleaje con información de campo; el uso de información secundaria para alimentar el modelo hidrodinámico; y finalmente la determinación de los patrones de oleaje en el Golfo de Urabá.

Recopilación de información secundaria

Se utilizó información secundaria para definir las condiciones de frontera del modelo SWAN. Para la definición de la condición de contorno de batimetría, se utilizó la información de las cartas náuticas elaboradas por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH), complementada y actualizada con batimetrías de detalle elaboradas en zonas específicas del Golfo por la empresa Buceos Industriales y Dragados de Urabá.

Para la condición de contorno de vientos superficiales, se utilizó la información registrada por la estación Turbo, propiedad del International Station Meteorological Climate Summary (ISMCS), que cuenta con una longitud de registro de 35 años entre enero de 1949 y mayo de 1984; esta estación, estuvo ubicada en el sector de Punta Las Vacas en el Municipio de Turbo, Antioquia (ver Figura. 2). Igualmente, se utilizó la serie del oleaje producido por el paso de huracanes por el mar Caribe entre 1951 y 2005 que han tenido influencia significativa en el oleaje del Golfo de Urabá

Finalmente, para definir las características del oleaje en las fronteras abiertas, se utilizó la serie sintética de oleaje de 30 años (desde enero de 1979 hasta diciembre de 2006) con resolución horaria generada por Ortega (2010) en el punto de coordenadas $77.10^{\circ}\text{N} - 8.6^{\circ}\text{W}$. (Punto amarillo, Figura 2).

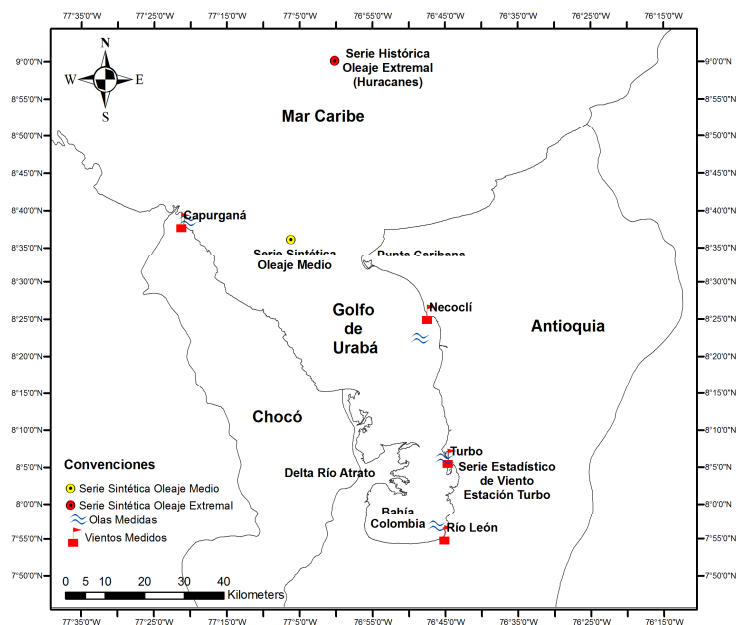


Figura 2.- Ubicación de los equipos de medición de oleaje y viento en las campañas de campo

Mediciones de campo

Para poder contar con la información necesaria para calibrar y validar el modelo, se realizaron dos campañas de campo durante las dos épocas climáticas características de la zona de estudio, con el objetivo de verificar que el modelo representa adecuadamente el oleaje en las diferentes condiciones climáticas de la zona.

La primera campaña se llevó a cabo entre el 23 y el 27 de septiembre de 2009 durante la época húmeda que comprende los meses desde abril hasta noviembre (ambos incluidos) y que se caracteriza por vientos variables en dirección y magnitud a lo largo del día. La segunda campaña se realizó entre el 20 de febrero y el 3 de marzo de 2010 durante la época seca que comprende los demás meses del año y que se caracteriza por fuertes y constantes vientos provenientes del norte.

Este régimen intra-anual de vientos coincide con el paso de la Zona de Convergencia Inter-Tropical por el Caribe Colombiano (Andrade, 1993).

Durante las campañas de campo se registró simultáneamente la magnitud y dirección del viento con tres estaciones meteorológica DAVIS Vantage Pro, ubicadas en tierra en tres puntos distribuidos en el Golfo: Capurganá, Necoclí y Bahía Colombia (Ver Figura 2); y oleaje con tres sensores de presión distribuidos de la siguiente manera a lo largo del golfo: sensor Aquadopp Current Meter 3D (Nortek) ubicado en Capurganá en las coordenadas 8°38'32.02" latitud norte – 77°20'11.25" longitud oeste, sensor Midas WTR (Valeport) ubicado en Necoclí en las coordenadas 8°22'19.08" latitud norte – 76°48'13.89" longitud oeste y finalmente el sensor WTR-9 (AANDERAA), ubicado en la desembocadura del río León en las coordenadas 7°56'35.97" latitud norte – 76°45'59.89" longitud oeste (ver Figura 2). Con esta información se alimentó el modelo SWAN y se compararon los resultados entre las simulaciones obtenidas y los datos de campo.

En las campañas de campo también se realizaron levantamientos batimétricos de algunos sectores del Golfo con una ecosonda Humminbird Fishfinder 525, para complementar las batimetrías de las cartas náuticas.

Modelación numérica

Cuando se desea estudiar el comportamiento de cuerpos de agua sometidos a forzadores ambientales externos, la simulación numérica es una herramienta de gran utilidad. Los modelos numéricos permiten conocer la respuesta de un sistema ante condiciones controladas, estimar el efecto sobre el sistema de condiciones medias y extremas de los forzadores externos y conocer patrones generales del comportamiento del sistema entre muchas otras aplicaciones.

En este estudio se realizaron simulaciones numéricas con el modelo de oleaje SWAN (Booij et al., 1999), desarrollado por la Universidad Delft en Holanda. Este modelo de tercera generación incluye ecuaciones para la generación de oleaje por viento, la propagación de oleaje local y de fondo y representa adecuadamente los procesos de transformación del oleaje como refracción, asomeramiento, interacciones no lineales ola - ola y ola – corriente y disipación por fricción de fondo, rotura por fondo y whitecapping. Este modelo se ha aplicado con éxito en otros estudios de simulación de oleaje (ej. Ortega 2010).

El modelo SWAN resuelve la ecuación de balance de acción de la onda:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial C_{g,x} N}{\partial x} + \frac{\partial C_{g,y} N}{\partial y} + \frac{\partial C_{g,\theta} N}{\partial \theta} + \frac{\partial C_{g,\theta} N}{\partial \theta} = \frac{S}{\theta} \quad [1]$$

Donde $N(s_i, \theta)$ es la densidad de acción de la onda y está definida como $N = E(s_i, \theta) / s_i$ donde E es el espectro de densidad de energía y s_i es la frecuencia angular en la cual se distribuye la energía del oleaje, C_g es velocidad de grupo en el espacio, θ es la dirección de propagación de la onda y S son la fuente y sumideros de energía:

$$S = S_{in} + S_{ds,w} + S_{ds,b} + S_{n14} + S_{n13} \quad [2]$$

Los términos en el lado derecho de la ecuación son: viento (S_{in}), whitecapping ($S_{ds,w}$), fricción por fondo ($S_{ds,b}$), interacciones cuádruples onda-onda (S_{n14}) e interacciones triples de onda-onda (S_{n13}). Antes de la aplicación del modelo en la predicción del comportamiento del oleaje en el Golfo, se realizaron análisis de sensibilidad a varios parámetros físicos y numéricos así como la importancia relativa del oleaje local y de fondo en el dominio de cálculo. Posteriormente se realizó la

calibración y la validación del modelo para verificar que representara adecuadamente el oleaje medido en campo para las diferentes épocas climáticas.

Determinación de los regímenes de oleaje local y oleaje de fondo

En la Figura 3, se presenta un diagrama resumido de la metodología utilizada en esta parte del estudio.

1)

2)

3)

Figura 3.- Esquema de la metodología empleada para la determinación de los regímenes en el golfo de Urabá

1) Se efectuó la calibración y validación del modelo SWAN con el objetivo de verificar que el modelo representara adecuadamente el oleaje medido en campo en las diferentes épocas climáticas. 2) Posteriormente se determinó el régimen medio y extremal de viento con la información de la estación Turbo; de estos regímenes se seleccionaron los casos de simulación de viento que definen los regímenes medio y extremal de oleaje local. 3) Finalmente, se utilizó la serie sintética de 30 años de oleaje en la entrada del Golfo generada por Ortega (2010) y las alturas de ola producidas por el paso de huracanes por el Mar Caribe para determinar los casos de simulación que permitieran reconstruir los regímenes medio y extremal de oleaje de fondo en el Golfo.

RESULTADOS

Comparación entre oleaje y viento medido

La Figura 4, presenta los registros de oleaje y viento en los tres puntos de medición. Se destaca la presencia de oleaje local en Bahía Colombia donde el viento juega el papel principal en la generación de oleaje, caracterizado por períodos alrededor de 4 segundos. Por otro lado en Capurganá se presentan condiciones totalmente contrarias ya que no se tiene una correspondencia entre el viento y las magnitudes de altura de ola, siendo este comportamiento característico de un oleaje de fondo, con períodos del orden de los 10 segundos. Es de notar además que Necoclí, a pesar de contar con registros de viento semejantes a los presentados en Bahía Colombia en cuanto a magnitud y dirección, presenta una condición intermedia, con eventos de oleaje local y de fondo.

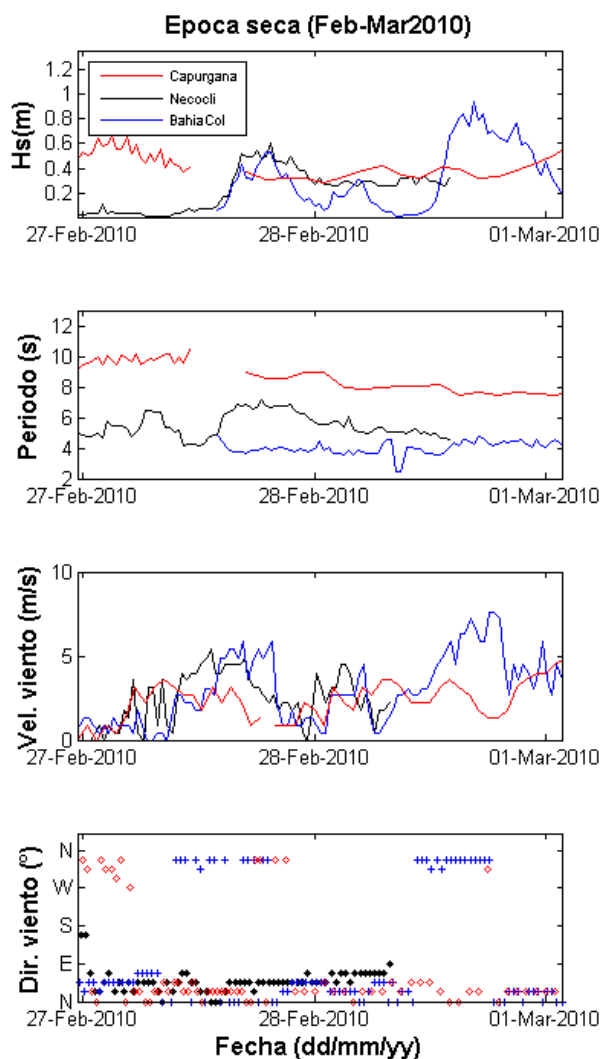


Figura 4.- Comparación de las mediciones de campo simultáneas de alturas de olas significativas (Hs) y período (P) vs vientos (magnitud y dirección) para las tres (3) zonas: Capurganá, Necoclí y Bahía Colombia, durante el período en común de medición.

Las mediciones de campo indican la presencia de dos tipos de oleaje predominante en el golfo de Urabá según la zona; Un oleaje de fondo predominante en la zona norte del Golfo y un oleaje local predominante en la zona sur del Golfo.

Análisis de sensibilidad del modelo de oleaje

Debido a la falta de registros de oleaje en el Golfo de Urabá para alimentar el modelo, fue necesario extender el dominio de simulación hasta un punto donde se tuviera dicha información. La coordenada del punto más cercano a la zona de estudio donde se cuenta con información de oleaje es en la coordenada $77,10^{\circ}\text{N} - 8,6^{\circ}\text{W}$, punto en el cual se tienen la serie sintética de 30 años de registro. .

Debido a esto el dominio total de simulación tiene una extensión de 141000m en dirección norte y de 125000m en dirección este. El gran tamaño del dominio implica que las celdas de cálculo no pueden ser excesivamente finas ya que los tiempos de cálculo serían demasiado grandes. Luego de realizar algunos análisis de sensibilidad al tamaño de malla se encontró que las celdas rectangulares de 200m x 200m ofrecen la mejor relación entre tiempo de cálculo y precisión en los resultados y por tanto este es el tamaño que se escoge para las simulaciones posteriores.

En los análisis de sensibilidad también se estudió la importancia relativa del oleaje local y de fondo realizando algunos experimentos numéricos en los cuales se simuló por un lado la propagación del oleaje que llega al Golfo desde el Mar Caribe suponiendo que el campo de viento es nulo en el dominio de cálculo y por otro lado la generación del oleaje por el viento local suponiendo que ningún oleaje llega desde el fondo.

De este análisis se confirmó que en la zona norte del Golfo (al norte del delta del río Atrato), es más significativo el oleaje de fondo que el oleaje local mientras que en la Bahía Colombia es mucho más significativo el oleaje local que el oleaje de fondo debido a que la energía del oleaje de fondo se disipa a medida que dicho oleaje se propaga hacia el interior del Golfo de Urabá especialmente al acercarse al delta del río Atrato.

Calibración del modelo

Para calibrar el modelo, se simuló empleando la serie de vientos medida durante la primera campaña de campo y se compararon las alturas de ola resultantes de las simulaciones con las alturas de ola medidas simultáneamente con el viento.

La calibración del modelo en Bahía Colombia requiere más cuidado que la calibración en la zona norte del Golfo ya que en Bahía Colombia el oleaje es generado por los vientos locales lo que implica que el modelo debe reproducir adecuadamente la transferencia de energía entre la atmósfera y el océano, mientras que en la zona exterior del Golfo el modelo principalmente propaga el oleaje proveniente de fondo.

En la Figura 5, se muestra la serie de altura de ola significativa (H_s) medida en la primera campaña de campo en Bahía Colombia (línea continua), en comparación con los resultados de altura de ola significativa simulados por el modelo a partir de los datos de viento medidos en esta campaña (línea punteada) luego se realizar los ajustes en los parámetros de calibración. El coeficiente de correlación encontrado entre la serie medida y la simulada por el modelo calibrado es de 0.71.

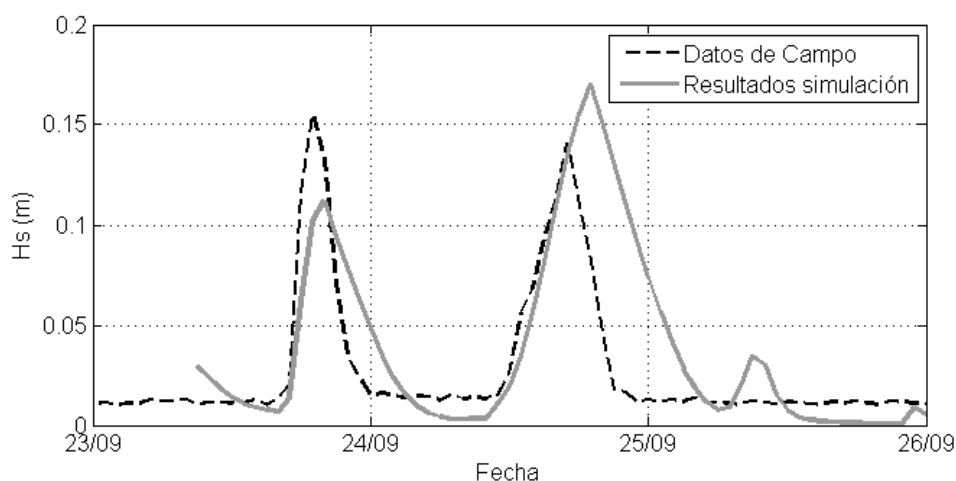


Figura 5.- Serie de altura de ola significativa medida durante la primera campaña de campo (línea punteada) en comparación con la serie simulada con el modelo SWAN en la etapa de calibración (línea continua).

La consideración más importante que resultaron de la calibración y que se tuvo en cuenta en la validación y en las simulaciones posteriores es que los vientos registrados por la estación meteorológica se deben amplificar por un factor de 1.3 para representar adecuadamente la generación de oleaje por viento. Esta mayoración de la magnitud del viento se justifica debido a la menor resistencia que ejerce el agua al viento en comparación con el que le ejerce la tierra en donde estaba instalada la estación.

Validación

La validación consistió en comparar los resultados arrojados por el modelo con un grupo de datos independientes de los utilizados para calibrar dicho modelo, de tal forma que se compruebe que la calibración fue exitosa y que el modelo está representando la dinámica real del sistema.

Para la validación del modelo SWAN se utilizaron las mediciones de viento y oleaje realizadas durante la segunda campaña de campo conservando los valores de los parámetros obtenidos durante la calibración. En la Figura 6, se muestra la serie de altura de ola significativa (H_s) del oleaje medido en la segunda campaña de campo (línea punteada) y se compara con la serie de oleaje simulado por el modelo luego de ser forzado con los datos de viento medidos simultáneamente al oleaje (línea continua). El coeficiente de correlación encontrado entre la serie medida y la simulada es de 0.82.

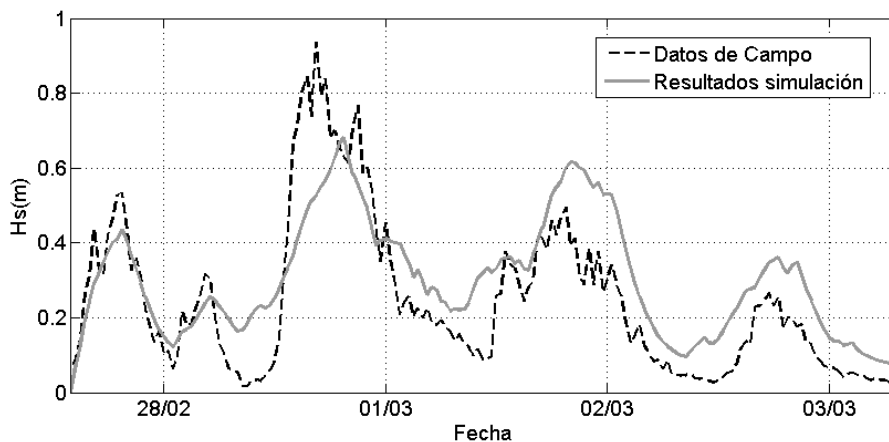


Figura 6.- Serie de altura de ola significativa medida durante la segunda campaña de campo en comparación con la serie simulada con el modelo SWAN en la etapa de validación.

Los resultados de la validación muestran que el modelo captura de forma adecuada las tendencias de crecimiento y decrecimiento del oleaje medido tanto en la época de vientos débiles como en la época de vientos fuertes, aunque en ocasiones no captura adecuadamente las magnitudes subestimando algunos máximos y sobreestimando algunos mínimos.

Determinación del régimen medio de oleaje de fondo

Para la escogencia de los casos de simulación de oleaje que representan el régimen medio, se realizó un análisis de probabilidad de ocurrencia de eventos de oleaje para la serie sintética generada por Ortega (2010), en el punto de coordenadas $77.10^{\circ}\text{N} - 8.6^{\circ}\text{W}$ para cada época climática por separado. Como resultado se obtuvieron las probabilidades conjuntas de ocurrencia de alturas de ola significativa (H_s) y período de pico (T_p) y las rosas de oleaje para cada una de las épocas analizadas.

Con base en estos resultados, se escogieron los parámetros de oleaje (altura de ola significativa (H_s), período de pico (T_p) y dirección) de las 3 direcciones con mayor probabilidad de ocurrencia en la época seca y húmeda, para la definición de los casos de modelación de régimen medio. Estos casos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Casos más probables de oleaje para cada una de las épocas climáticas (época seca – época húmeda) para el golfo de Urabá.

Dirección	ÉPOCA SECA			ÉPOCA HÚMEDA		
	N	NNE	NNW	N	NNW	NNE
Hs(m)	1.7	1.86	1.57	1.36	1.17	1.29
Tp(s)	10	10	10	7.5	7.5	7.5
Prob. época (%)	55.79	8.12	5.69	33.49	22.81	5.57
Prob. anual (%)	18.59	2.7	1.89	22.32	15.21	3.71

Determinación del régimen extremal de oleaje de fondo

Para definir el régimen extremal de oleaje, se asume que las mayores alturas de olas que se producen en el Mar Caribe son debido al paso de huracanes. Por tanto se utilizó la metodología propuesta por Young (1988), para determinar las alturas de ola significativa producidas por los huracanes que han ocurrido en el Mar Caribe desde 1950 y que han tenido influencia en el punto de coordenadas 8.16°N; 77.10°W. Con la aplicación de esta metodología se encontró que 40 huracanes produjeron alturas de ola significativas (Hs), superiores a 1.5m en dicho punto al norte del Golfo. Luego de conocer la serie de alturas de ola generadas por los huracanes, se seleccionaron aquellas que superan los 3.0 m de altura, para las cuales se ajustó la distribución de probabilidad Gumbel de máximos, tal como se ilustra en la Figura 7.

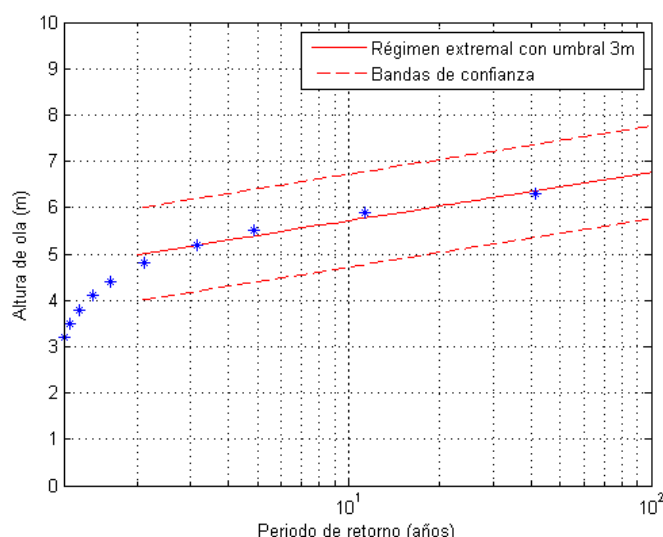


Figura 7.- Regímenes extremales de oleaje debido al paso de huracanes a las afueras del Golfo de Urabá para un umbral mínimo de 3m.

De este análisis se obtuvo que la altura de ola con periodo de retorno de 35 años en el extremo superior de la banda de confianza es $H_s = 7.3\text{m}$ con periodo pico de 12 segundos. Esta altura de ola se propagó desde el extremo norte del dominio de cálculo hacia el interior del golfo de Urabá en la dirección NNW que es la más crítica en cuanto a generación de mayores alturas de ola en el Golfo según los análisis de sensibilidad previos, debido a que coincide con la alineación que tiene el Golfo.

Modelaciones del régimen medio de oleaje local

Con base en la probabilidad de ocurrencia de oleaje local y de fondo se seleccionaron 12 casos como los más significativos del régimen medio. En la Tabla 2 se presentan los resultados de 2 casos de los 12 seleccionados.

Tabla 2.- Casos más probables del régimen medio de oleaje local y de fondo para el golfo de Urabá.

MODELACIONES RÉGIMEN MEDIO										
EPOCA	OLEAJE DE FONDO						OLEAJE LOCAL			
	CASOS N°	Hs (m)	Tp (seg)	Dir	Dir(°)	Prob. Por época (%)	Vel (m/s)	Dir	Dir(°)	Prob. por época (%)
Seca	1	1.7	10	270	N	55.79	7.6	N	270	43
MODELACIONES RÉGIMEN MEDIO – SOLO OLEAJE LOCAL										
EPOCA	CASOS N°	Hs (m)	Tp (seg)	Dir	Dir(°)	Prob (%)	Vel (m/s)	Dir	Dir(°)	Prob (%)
Seca	9	-	-	-	-	-	11.8	NNW	292.5	17

En la Figura 8, se presentan los resultados obtenidos para los 2 casos más representativos de la Tabla 2.

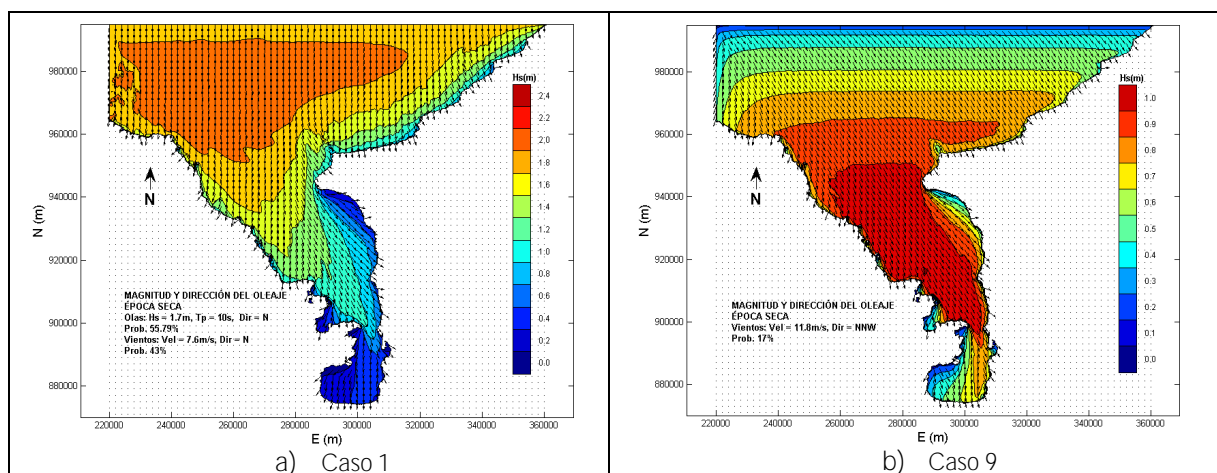


Figura 8.- Resultados de los casos seleccionados para el Régimen Medio. a) Caso 1, época seca con oleaje de fondo con dirección norte y oleaje local con dirección norte. b) Caso 9, época seca, solo oleaje local con dirección nornoroeste.

El caso 1, muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar en la época seca, a lo largo del Golfo de Urabá, para una ola de 1.7m de altura, periodo de pico de 10 segundos y una probabilidad de ocurrencia del 55.79% del tiempo de dirección norte (oleaje de fondo) y vientos con velocidades de 7.6 m/s y una probabilidad de ocurrencia del 43% del tiempo de dirección norte (oleaje local) (Ver Figura 8-a). Se aprecia cómo influyen de manera significativa, la coincidencia de este oleaje y viento característico, en el incremento de las alturas de olas que avanzan al interior del Golfo, y que a pesar que dichas olas van siendo disipadas por las características geomorfológicas y batimétricas del mismo, no dejan de ser una amenaza por la generación de procesos hidrodinámicos que puedan afectar la línea de costa.

El caso 9, muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar en la época seca, a lo largo del Golfo de Urabá, solo con vientos con velocidades de 11.8 m/s y una probabilidad de ocurrencia del 17% del tiempo con dirección nornoroeste (oleaje local) (Ver Figura 8-b). Podemos apreciar, como el oleaje local, para este caso, si juega un papel significativo en el incremento de las alturas de olas, debido a que los vientos coinciden con la alineación que tienen el Golfo, la cual, como se mencionó anteriormente, es nornoroeste.

Modelaciones del régimen extremal de oleaje local

Se identificaron 18 casos posibles de régimen extremal, los cuales fueron simulados. Basados en las mayores probabilidades de ocurrencia de las direcciones del oleaje y la probabilidad de ocurrencia

de calmas para el oleaje extremal de fondo, se escogieron los 10 casos más significativos. En la Tabla 3 se presentan los resultados de 2 casos de los 10 seleccionados.

Tabla 3.- Casos más representativos del régimen extremal de oleaje para el golfo de Urabá.

MODELACIONES RÉGIMEN EXTREMAL									
OLEAJE DE FONDO					OLEAJE LOCAL				
CASOS N°	Hs (m)	Tp (seg)	Dir	Dir(°)	Vel (m/s)	Dir	Dir(°)	Tr (años)	Prob.%
8	7,3	12	292,5	NNW	21,3	NW	315	36	7.6
18	-	-	-	-	20,8	NNW	292,5	36	9.4

En la Figura 9, se presentan los resultados obtenidos para uno de los casos más representativos de la Tabla 3.

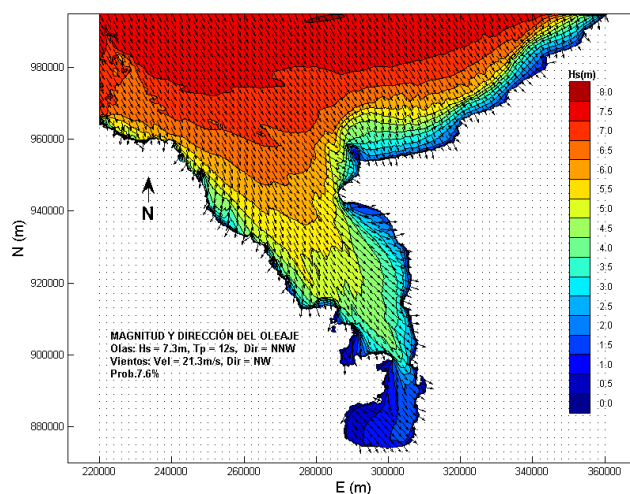


Figura 9.- Resultados Caso 8, con oleaje de fondo en dirección nornoroeste y oleaje local con dirección noroeste

El caso 8, muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar a lo largo del Golfo de Urabá, para una ola de 7.3m de altura, periodo de pico de 12 segundos y de dirección nornoroeste, que es la dirección más crítica para la propagación de oleaje desde aguas profundas (oleaje de fondo) y vientos con velocidades de 21.3 m/s y una probabilidad de ocurrencia del 7.6% del tiempo de dirección noroeste (oleaje local) (Ver Figura 9). Podemos apreciar cómo influyen de manera significativa, la coincidencia en dirección de este oleaje y viento característico, en el incremento de las alturas de olas que avanzan al interior del Golfo, y que a pesar que dichas olas van siendo disipadas por las características geomorfológicas y batimétricas del mismo, continúan siendo una amenaza en la generación de procesos hidrodinámicos que pueden afectar la línea de costa.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que el modelo SWAN, representa bien las características del oleaje medido en las campañas de campo, en especial las tendencias de crecimiento y decrecimiento, aunque en ocasiones no representa adecuadamente las magnitudes máximas y mínimas.

De acuerdo a las simulaciones y a la información de campo, se concluye que en el Golfo se presentan dos zonas dominadas por diferentes tipos de oleaje. La zona 1, dominada fuertemente por oleaje de fondo que va desde el límite exterior del Golfo, entre Capurganá y Punta Caribaná y se extiende hasta el límite entre los deltas del río Atrato y río Turbo; y una zona 2 dominada por oleaje local, la cual comprende Bahía Colombia.

Los casos más crítico tanto para el régimen medio como extremal, ocurren cuando la dirección de los vientos y el oleaje coinciden con la alineación nornoroccidental que tiene el Golfo de Urabá, o cuando solo los vientos coinciden con dicha alineación, ya que para ambos casos, se genera un incremento significativo en las magnitudes de alturas de ola que avanzan hacia el interior del Golfo con una mayor influencia de afectación en su zona sur, que puede llegar hasta la línea costera de Bahía Colombia.

Los resultados de este estudio sirven como marco de referencia para el desarrollo de estudios más detallados de oleaje en el Golfo aplicados a zonas particulares.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo fue posible gracias al apoyo de la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional sede Medellín (DIME), de la Gobernación de Antioquia con el Proyecto Expedición Antioquia, de la empresa Buceos Industriales y Dragados de Urabá y del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH).

REFERENCIAS

- Andrade A., C. A. (1993). Análisis de la velocidad del viento en el mar Caribe. Bol. Cient. CIOH N° 13. Cartagena de Indias. pp. 33 - 43.
- Booij, N. Ris, R.C. and Holthuijsen L. H. (1999). A third generation wave model for coastal regions. *Journal of Geophysical Research*. C4: Vol 104. pp 7649 – 7666.
- CORPOURABA. (2003). Caracterización y zonificación de los manglares del Golfo de Urabá – Departamento de Antioquia. Proyecto Zonificación y Ordenamiento de los manglares de Urabá. Convenio 201671 FONADDECORPOURABA. Apartadó, pp. 80.
- Correa, Iván D. Vernet, Georges. (2004). Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector Arboletes-Turbo) Costa Caribe Colombiana. *Anales Inst. Inv. Mar.* –Punta Betín. 33, pp.7-28. Santa Marta, Colombia.
- Ortega S. (2010). Estudio de aprovechamiento de energía del oleaje en Isla Fuerte (Caribe Colombiano). Tesis de Maestría. Postrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional, sede Medellín.
- Young I.R. (1988). Parametric wave prediction model. *J. of Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering*. 114, pp. 637-652.