



ARTÍCULO

## Estudio preliminar del impacto del oleaje de huracanes en la línea costera del Departamento del Atlántico

### Preliminary study about the impact of waves due hurricanes in the coast line of Departamento del Atlántico

Fecha recepción: 2006-08-28 / Fecha aceptación: 2006-09-19

**Juan Carlos Ortiz Royero**

E-mail: [jortiz@uninorte.edu.co](mailto:jortiz@uninorte.edu.co)

Departamento de Matemáticas y Física, Universidad del Norte,  
Km 5 vía a Puerto Colombia, Barranquilla. Colombia.

**Aurelio Mercado Irizarry**

E-mail: [Amecado@cima.uprm.edu](mailto:Amecado@cima.uprm.edu)

Departamento de Ciencias Marinas, Universidad de Puerto Rico,  
Mayagüez, Puerto Rico.

## Resumen

La Costa Norte Colombiana se expone anualmente a oleaje de fondo producido por los huracanes (junio a noviembre) y del incremento de los vientos Alisios durante el mes de diciembre hasta marzo. El oleaje y el nivel del mar bajo estas condiciones, alcanzan valores peligrosos para la población y toda la infraestructura costera.

El propósito principal de este estudio está basado en evaluar, a nivel preliminar, la exposición de la zona litoral del Departamento del Atlántico al impacto del oleaje producido por los vientos extremos de un huracán categoría 1, 3 y 5 de acuerdo a la escala Saffir-Simpson.

Para generar el campo de vientos se utilizó el modelo de huracanes JHURWIN por Visbal J. y Ortiz JC, basado en el modelo HURWIN de *US ARMY CORP* y la parameterización de Willoughby. El modelo SWAN, fue usado para la propagación del oleaje. Los resultados muestran como, debido al alcance, olas de hasta 20 metros son generadas en aguas profundas, pero disipan gran parte de su energía antes de llegar a la costa debido a la geomorfología de la plataforma continental, el talud y la geometría de la línea de costa del Caribe Colombiano.

**Palabras claves:** Huracanes, oleaje extremo, SWAN, HURWIN.

## Abstract

The North Coast of Colombia is exposed annually to extreme waves produced by hurricanes (June to November) and of the increment of the Alisios winds during the month of December until March. The swell and the sea level under these conditions, reach values dangerous to the people and to the coastal infrastructure. The primary objective of this study is based on evaluating, to preliminary level, the exposition of the coastal zone of the Department of the Atlántico to wave impact produced by the extreme winds of a hurricane 1, 3 and 5 according to the Saffir-Simpson scale.

To generate the winds field we use the JHURWIN of Visbal J. and Ortiz JC model of hurricanes based on the model HURWIN and the parameterization of Willoughby. The SWAN model, was used for the wave propagation. The results show how, due to the fetch, waves up to 20 meters are generated in deep water, but great part of its energy dissipates before arriving in the coast due to the geomorphology of the continental shelf of the area of study, the slope and the geometry of the coast line in the Caribbean Coast.

**Key words:** Hurricanes, extremes waves, SWAN, HURWIN.

## Introducción

En meteorología, un ciclón tropical es un sistema tormentoso con una circulación cerrada alrededor de un centro de baja presión, alimentado por el calor producto del aire húmedo que se levanta y se condensa. El nombre tiene su origen en los trópicos y su naturaleza ciclónica, se distinguen de otras tormentas ciclónicas como las bajas polares por el mecanismo de calor que las alimenta, que las convierte en sistemas tormentosos de núcleo cálido.

Los ciclones tropicales pueden producir vientos extremadamente fuertes, tornados,

lluvias torrenciales (que pueden producir inundaciones y deslizamientos), y marejada ciclónica en áreas costeras. En el Atlántico Norte, la temporada va desde el 1 de junio al 30 de noviembre, alcanzando su mayor intensidad a finales de agosto y septiembre.

La escala Saffir-Simpson (Tabla 1) es una clasificación de los huracanes de acuerdo a la velocidad del viento durante la vida de un huracán, la cual esta evaluada en categorías de 1 a 5 de menor a mayor intensidad respectivamente.

Tabla 1. Escala Saffir Simpson.

| Tipo de tormenta | Vientos (km/h) |
|------------------|----------------|
| Huracán Cat. 1   | 118-153        |
| Huracán Cat. 2   | 154-177        |
| Huracán Cat. 3   | 178-209        |
| Huracán Cat. 4   | 210-250        |
| Huracán Cat. 5   | Más de 250     |

La costa del Departamento del Atlántico, pese a tener la protección con la Sierra Nevada de Santa Marta es vulnerable al efecto de los huracanes al contar con poblaciones y zonas turísticas. La incidencia directa de la acción de los huracanes en Colombia es poco frecuente, los datos estadísticos afirman que Colombia es una región en la que es muy poco probable que los huracanes actúen (excepto las Islas de San Andrés y Providencia).

Históricamente han pasado huracanes y tormentas en la Costa Caribe Colombiana [1], aunque no han sido devastadores, son la mejor evidencia que la posibilidad existe. Entre ellos se encuentran: Irene 1971, Joan 1988, Bret 1993 y César 1996.

El Estado colombiano posee 1300 Km de zona costera en el Pacífico, 1600 Km. en el Caribe y territorio insular que se distribuyen en los departamentos de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia, Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño, en un total de 47 municipios (18 en el Pacífico, 27 en el

Caribe y 2 en la región Insular). La línea costera del departamento del Atlántico tiene 105 km de extensión aproximadamente, donde sobresalen áreas por su interés comercial y/o turístico como: Bocas de Ceniza, Puerto Colombia, Salgar, Turipaná, Santa Verónica y Salinas del Rey.

El modelo HURWIN (*HURricane WINd model*) [2] del sistema de modelamiento de costas (CMS, *Coastal Modeling System*) calcula la tensión de la superficie, la velocidad y dirección de los vientos en la capa de frontera planetaria de un ciclón tropical. El radio de vientos máximos se calculó de acuerdo a Willoughby [3]. La información de los vientos es calculada a partir de parámetros meteorológicos de tormentas disponibles de huracanes históricos y suministrados para un huracán de categoría específica. El historial completo de un campo de viento es descrito por líneas de interpolación en el tiempo utilizando una serie de instantáneas. Las instantáneas se calculan a intervalos discretos de la historia de una tormenta, asumiendo que la tormenta puede ser representada como una serie de configuraciones de etapas constantes.

El modelo HURWIN es flexible y representa con una buena aproximación los procesos físicos en un huracán. Ha sido utilizado extensamente en los Estudios de Información de Olas (WIS, *Wave Information Studies*) para simular huracanes históricos a través de las costas de los Estados Unidos y el oleaje generado con SWAN [4] como en López et al. [5] y Ortiz [6].

Por otro lado el modelo JHURWIN [7] está inspirado en el modelo HURWIN, donde el modelo matemático permaneció intacto, sólo que fueron incluidas rutinas de preproceso y postproceso y se le dio al modelo un ambiente gráfico usando lenguaje JAVA.

SWAN (*Simulating Waves Nearshore*), es un modelo para obtener parámetros de olas, incluyendo áreas costeras, lagos y estuarios, dadas condiciones de viento, batimetría y

corrientes, es decir, SWAN es un modelo de olas que cuenta con procesos físicos propios de aguas profundas y llanas. SWAN es un modelo de tercera generación que fue desarrollado por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Delft, en los Países Bajos.

SWAN cuenta, entre otras cosas, con propagación de olas en tiempo y espacio, refracción de olas debida a corrientes y al fondo, reflexión de olas, interacciones no lineales ola-ola, fricción de fondo, rompimiento en aguas profundas, rompimiento de olas inducidas por el fondo, transmisión y reflexión a través de obstáculos, 'wave set-up' e interacciones entre 4 (cuadruetas) o 3 (tripletas) longitudes específicas de olas que cumplen una condición resonante. SWAN provee espectros en una y dos dimensiones, altura significativa, período promedio, dirección promedio del oleaje, entre otras cosas.

SWAN puede utilizarse tanto para cálculos en estado estacionario como no estacionario. El modo estacionario es recomendado para aquellas olas con un tiempo de residencia corto en el área computacional. La versión 40.41 de SWAN incluye difracción, de manera que puede aplicarse en zonas de puertos y marinas. Esta versión fue la usada en este estudio.

## *Materiales y Métodos*

La metodología se basó en generar un campo de vientos huracanados usando el modelo JHURWIN y obtener condiciones en aguas profundas con el modelo SWAN, de esta manera usando mallas anidadas con SWAN se hizo la propagación de estas condiciones hacia la línea de costa del departamento del Atlántico.

Los datos batimétricos en aguas profundas usados en esta investigación, fueron obtenidos de la base de datos ETOPO 2 (2' de grado de resolución). El campo de vientos fue simulado utilizando las mismas variables de presión y

vientos máximos del huracán Katrina en el 2005, cuando fue categoría 1, 3 y 5 en su proceso de formación desde el 21 al 30 de Agosto cuando impactó los estados de Luisiana y Misisipi en Los Estados Unidos. Estos parámetros pueden verse en la Tabla 2.

Las condiciones en aguas profundas se calcularon con el modelo SWAN las cuales a su vez, se usaron como condiciones de frontera para las mallas computacionales costeras usando la batimetría proporcionada por el CIOH (Centro de Investigaciones Oceanográficas Hidrográficas de la Armada Nacional de Colombia) en aguas llanas.

Tabla 2. Parámetros del huracán Katrina 2005.

| Fecha     | Presión (mb) | Velocidad de vientos máximos (nudos) | Tipo de tormenta |
|-----------|--------------|--------------------------------------|------------------|
| 08/26/12Z | 979          | 75                                   | H1               |
| 08/28/00Z | 941          | 100                                  | H3               |
| 08/28/18Z | 902          | 150                                  | H5               |

Para generar las condiciones de frontera con los campos de vientos generados con JHURWIN y del campo de oleaje con SWAN se utilizó una malla computacional gruesa desde 68° hasta 78° de longitud oeste y desde 8° hasta 15° de latitud norte con una resolución de 0.16667° como se muestra en la figura 1.

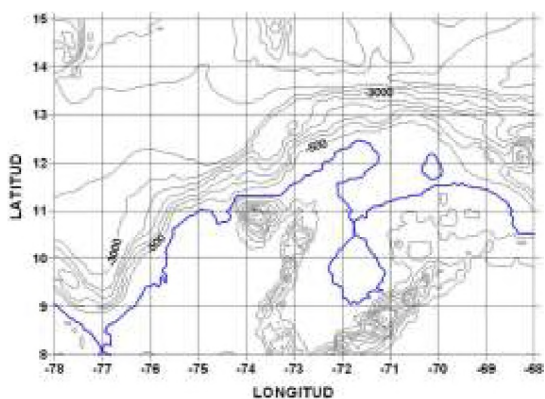


Figura 1. Malla computacional gruesa para generar las condiciones de frontera debido a huracanes para la línea de costa del Departamento del Atlántico.

Para obtener los resultados en aguas someras, se dividió la zona de estudio en dos: 1) malla intermedia 1; desde Bocas de Ceniza hasta los balnearios de Salgar, Puerto Colombia y Pradomar y 2) malla intermedia 2; desde Turipaná, hasta Boca Tocino. Cada malla intermedia se subdividió a su vez en mallas finas con mejor resolución, mediante anidamiento de mallas, como se observa en la figura 2 y 3. Debido al alto costo computacional requerido, la resolución de las mallas intermedias fue de 250 m y para las más finas fue de 50 m.

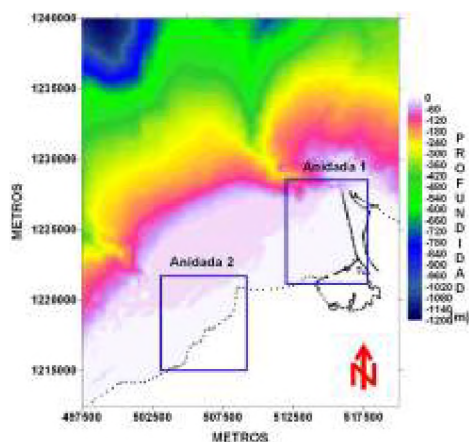


Figura 2. Malla anidada intermedia 1 y las anidadas respectivas.

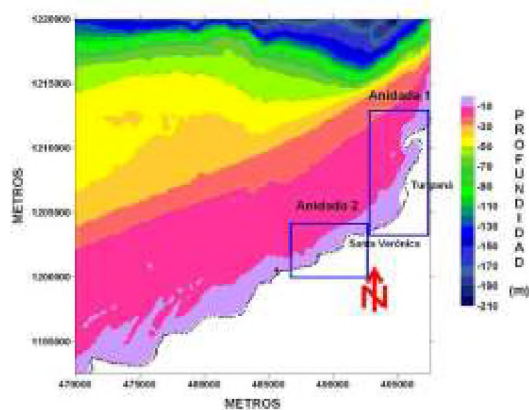


Figura 3. Malla anidada intermedia 2 y las anidadas respectivas.



En la zona de estudio (mallas anidadas más finas) no existen puertos, excepto el muelle de Puerto Colombia en desuso, ni tampoco marinas por lo que una resolución de 10 m o menos no es necesaria. La escogencia de estas subzonas se basa en que allí se encuentran los balnearios y zonas turísticas de mayor importancia en la zona costera del departamento del Atlántico.

El modelo SWAN corrió con una resolución direccional de 10 grados y 21 bins en frecuencia. Se activaron los procesos de rompimiento de olas en aguas profundas, interacciones entre 3 y cuatro olas, rompimiento de olas debido al fondo, fricción, difracción, y se utilizó el esquema *upwind* que es el esquema numérico por defecto del modelo.

Aunque una corrida no estacionaria sería un escenario ideal para la estimación del impacto del oleaje, una buena aproximación es correr SWAN de forma estacionaria, modo recomendado cuando las olas tienen un tiempo de residencia corto. Como la malla es lo suficientemente pequeña como para que uno pueda asumir que los vientos no cambian mucho en magnitud y dirección en lo que la ola con periodo  $T_p$  se mueve de un lado al opuesto, una corrida estacionaria es muy buena aproximación. En un evento real la velocidad de traslación del huracán sería un factor importante.

Inundaciones debidas a la marejada ciclónica en regiones costeras pueden ocasionar pérdidas de vidas, daños económicos y ambientales enormes. La línea de inundación producto de la marejada ciclónica, que consiste en un aumento en el nivel promedio del mar debido al centro de baja presión del huracán, depende entre otras cosas, de la topografía de la zona. El modelo SWAN no calcula la marejada ciclónica y por lo tanto no se muestra la línea de

inundación debido a cada huracán en los resultados. Dado que la marejada ciclónica es un efecto explícito que acompaña a los huracanes, se tomaron como referencia a Watson Technical Consulting [8] (ver Tabla 3) y los valores medidos durante el paso del huracán Katrina [9] en el 2005 (ver Tabla 4). La marejada ciclónica varía de acuerdo a la intensidad de la tormenta y su efecto depende de la geomorfología de la línea costera, se determinó de manera aproximada el valor de la misma: 1,5 m, 2,5m y 3,5m para huracanes H1, H2 y H3 respectivamente.

**Tabla 3.** Marejada en la Costa Caribe Colombiana de acuerdo a WTC.

| Período de retorno (años) | Altura significativa (m) | Marejada ciclónica (m) |
|---------------------------|--------------------------|------------------------|
| 10                        | 3                        | 0.5                    |
| 25                        | 4                        | 1.5                    |
| 50                        | 4.5                      | 2                      |
| 100                       | 5.5                      | 2.7                    |

**Tabla 4.** Marejada ciclónica durante el huracán Katrina.

| Estación                   | Marejada ciclónica (pies) |
|----------------------------|---------------------------|
| Mobile State Docks (MBRA1) | 11.45                     |
| USS Alabama (est.)         | 12.00                     |
| Dauphin Island (DAUA1)     | 6.63                      |
| Dauphin Island (DPIA1)     | 6.23                      |

## Resultados

Las figuras 4, 5 y 6 muestran el campo de oleaje generado por un huracán categoría 1, 3 y 5 pasando frente a Bocas de Ceniza. La trayectoria fue escogida de manera tal que estadísticamente fuera coherente con otros sistemas que han pasado cerca del área de estudio en la historia de los huracanes en el Caribe.

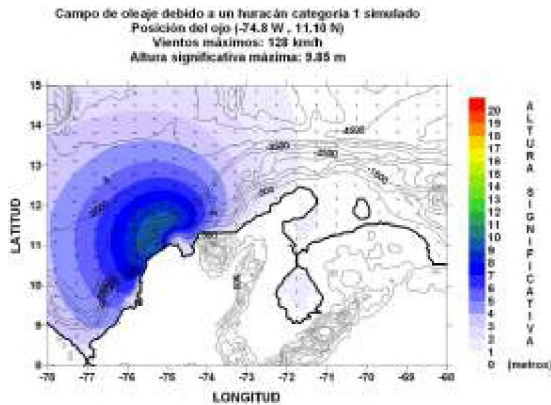


Figura 4. Altura significativa generada por un huracán categoría 1.

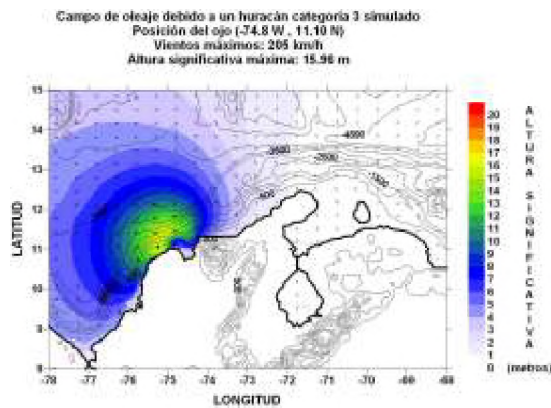


Figura 5. Altura significativa generada por un huracán categoría 3.

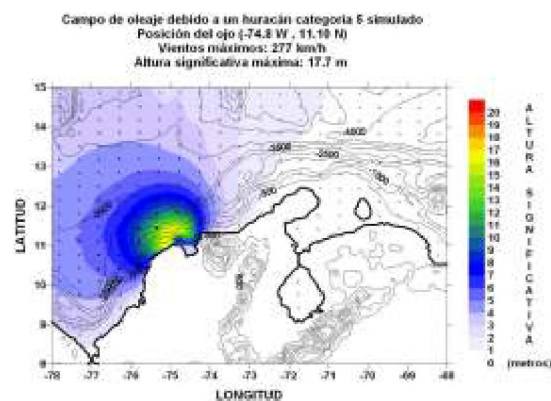


Figura 6. Altura significativa generada por un huracán categoría 5.

En las figuras anteriores puede verse como cambian súbitamente las condiciones del océano cercanas a la costa del departamento del Atlántico, olas significantes varían de 9 metros en áreas cercanas al ojo, para un huracán categoría 1, hasta olas significantes de más de 20 metros, para un huracán categoría 5. La tabla 5 muestra los valores obtenidos numéricamente con el modelo SWAN para una boya virtual, es decir, un punto en aguas profundas justo al frente de la zona de estudio. Estos valores serán los utilizados como condiciones de frontera para las corridas en la zona cercana a la costa.

Tabla 5. Datos en aguas profundas para la zona de estudio obtenidas con el modelo SWAN.

| Tipo de tormenta  | Altura significativa (m) | Dir. de la ola (grados verdaderos) | Período Pico (s) | Vientos (m/s) |
|-------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------|---------------|
| Tormenta tropical | 2.8                      | 272                                | 5.4              | 9.66          |
| Huracán Cat. 1    | 6.2                      | 272                                | 7.4              | 17.2          |
| Huracán Cat. 2    | 8.5                      | 272                                | 8.2              | 24.2          |
| Huracán Cat. 3    | 12.0                     | 272                                | 9.0              | 37.0          |
| Huracán Cat. 4    | 13.6                     | 272                                | 9.5              | 47.2          |
| Huracán Cat. 5    | 15.3                     | 272                                | 10               | 60.1          |

Los resultados de todas las mallas computacionales pueden observarse desde la figura 7 a la 12.

Nótese que en las fronteras de la malla computacional se observa un comportamiento como si los bordes laterales no estuvieran entregando energía al área computacional (por ejemplo, la densidad de energía en la frontera lateral es igual a cero). Para regiones costeras la energía es usualmente definida a lo largo de la frontera en aguas profundas, por lo que algunas veces las fronteras laterales no entregan energía significativa al área computacional. Por lo anterior los autores de SWAN recomiendan que las fronteras laterales deben estar lo suficientemente alejadas de la región de interés para no permitir la propagación de este error. (Detalles en *SWAN Manual 40.41 Cycle III pp.23*)

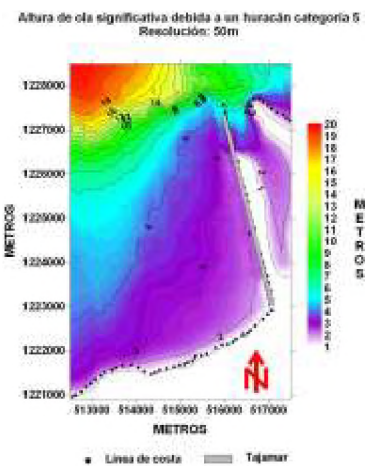
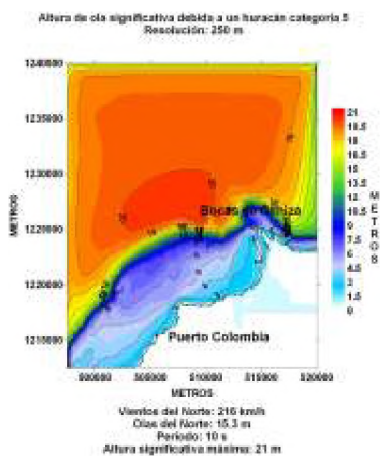
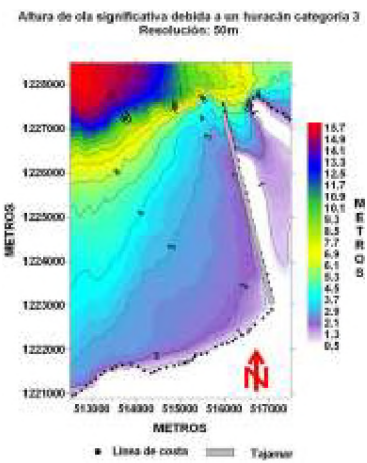
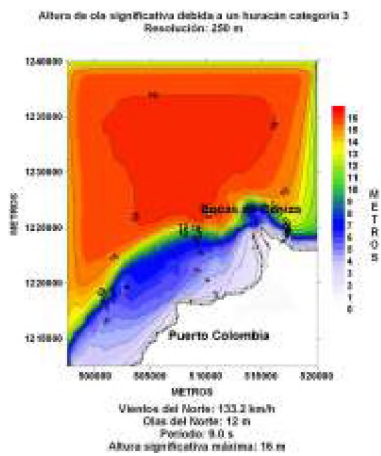
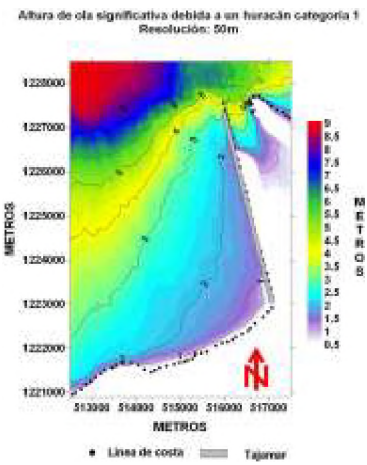
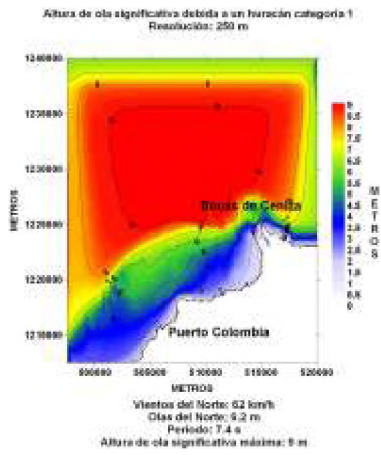


Figura 7. Altura significativa debida a un huracán (h1, h3 y h5) para la malla intermedia 1.

Figura 8. Altura significativa debida a un huracán (h1, h3 y h5) para la zona de Bocas de Ceniza.



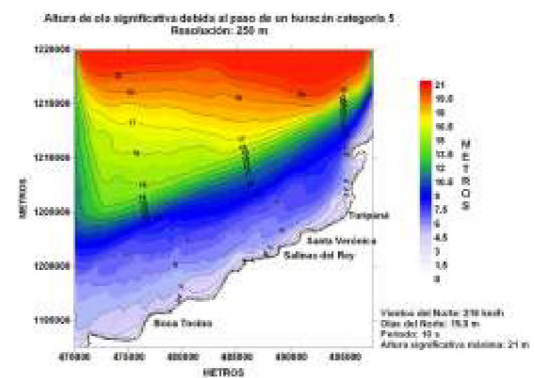
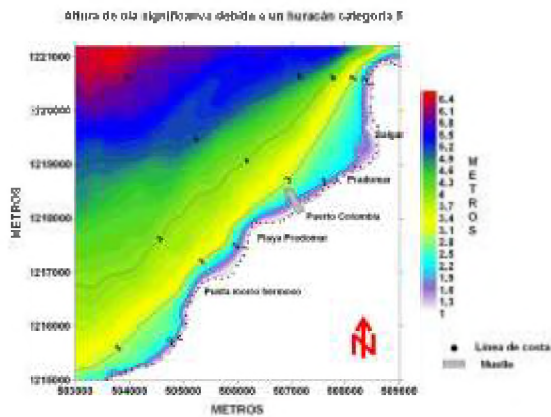
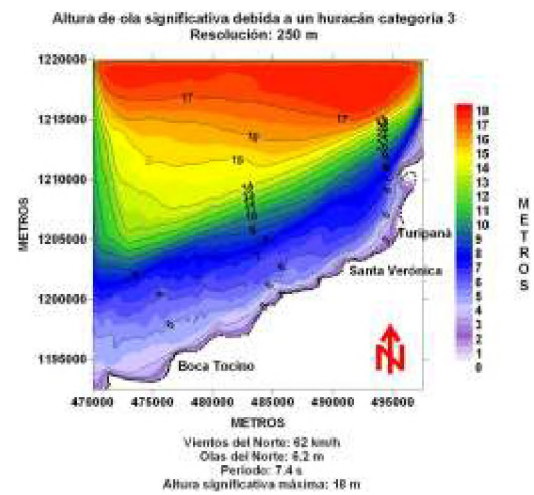
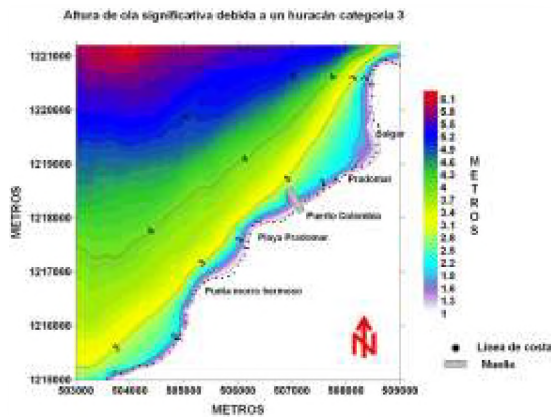
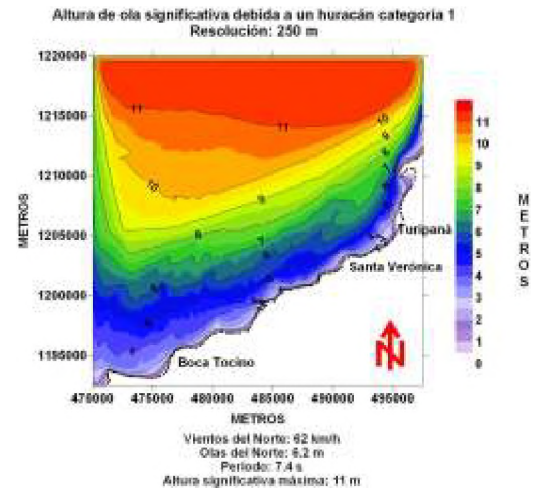
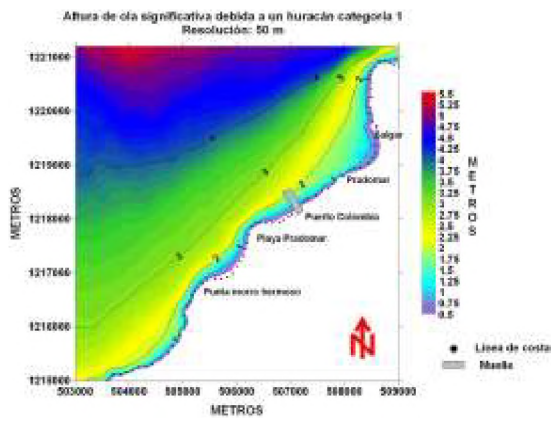


Figura 9. Altura significativa debida a un huracán (h1, h3 y h5) para la zona de Puerto Colombia.

Figura 10. Altura significativa debida a un huracán (h1, h3 y h5) para la malla intermedia 2.



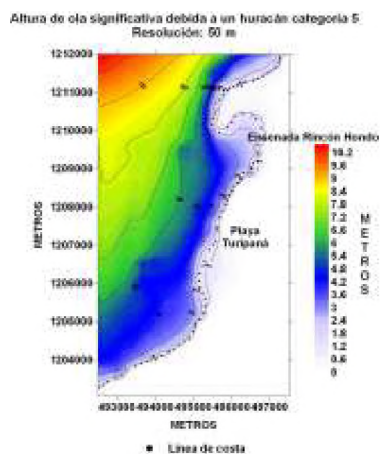
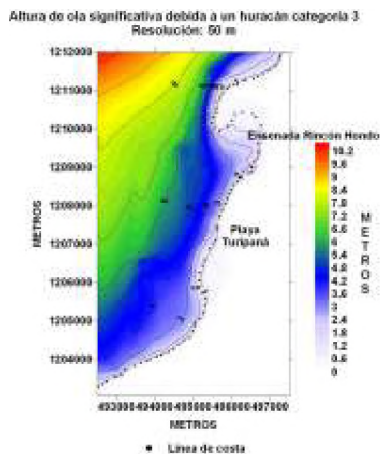
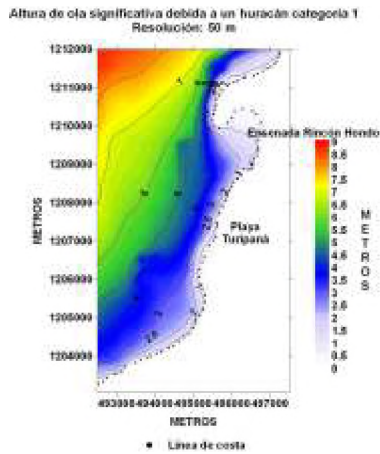


Figura 11. Altura significativa debida a un huracán (h1, h3 y h5) para la zona de Turipaná.

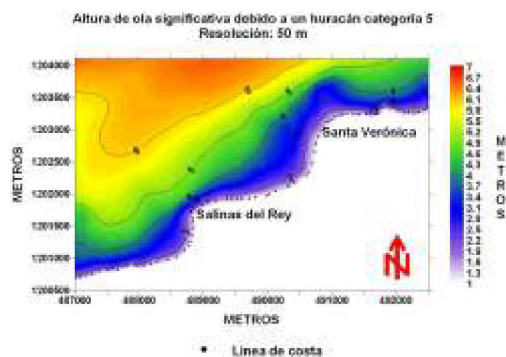
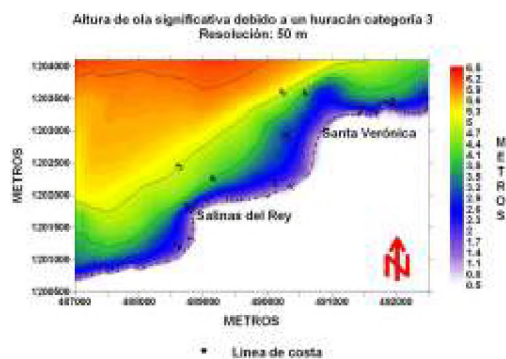
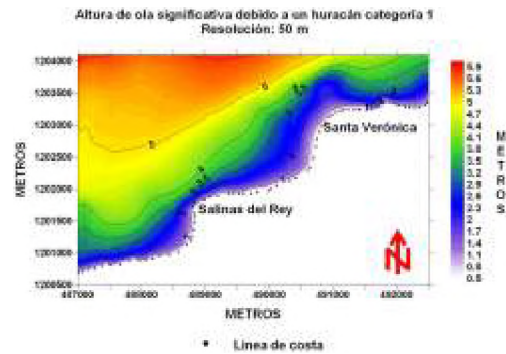


Figura 12. Altura significativa debida a un huracán (h1, h3 y h5) para la zona de Santa Verónica.

## Discusión y Conclusiones

Las figuras anteriores muestran el campo de olas generado en las mallas intermedias y en las mallas finas respectivas. Para un huracán categoría 1, la distancia necesaria para un mar

completamente desarrollado, conocido en inglés como *'fetch'* permite que se generen olas de hasta 9 metros para las mallas computacionales intermedias, mientras que para un huracán categoría 3 y 5, la altura significativa máxima es de 16 y 20 metros respectivamente. Estos resultados son consistentes con los datos registrados por las boyas oceanográficas al paso del huracán Katrina en el 2005 en el Golfo de México, disponibles en NDBC [10] de la NOAA

En la misma figura se puede observar como la geomorfología de la plataforma en el litoral del departamento del Atlántico ofrece un escudo natural contra el oleaje, de manera que las olas disipan gran parte de su energía al llegar al talud. Otro hecho que se observa en los resultados, es que la línea de costa del Caribe Colombiano no es horizontal o cuasi-horizontal como podría suceder en otros lugares, lo que permite que el oleaje no impacte perpendicular a la costa sino por el contrario cambie de dirección debido a la refracción de olas (suponiendo oleaje extremo viniendo del Norte). Lo anterior explica porque en las zonas de modelación de mayor resolución las olas generadas por el modelo en aguas más profundas no lleguen con la misma energía a la línea de costa.

Aún así se puede apreciar en los resultados que, a pesar de la disipación de energía que ofrece la plataforma, olas de hasta 3 metros se observan cerca de la línea de costa. Estas olas no incrementan su energía después de disiparse ya que no cuentan con suficiente *'fetch'*, después del talud de la plataforma continental. La firma Moffatt and Nichol [11] International en New York, hizo un estudio de modelación de propagación de oleaje para el Consorcio Canal del Río Magdalena. Este estudio analizó el impacto de oleaje en la desembocadura del Río Magdalena, lugar donde se entra al puerto fluvial de Barranquilla. En junio de 2006 se entregaron los resultados preliminares. Dicho estudio, apoyado en la base de datos CARIMOS [12] y en el modelo MIKE 21, estimó los parámetros de oleaje extremal para

el área de Bocas de Ceniza. Estos parámetros pueden verse en la tabla 6.

Tabla 6. Régimen de oleaje extremal por M y N.

| Período de retorno (años) | Altura significativa (m) | Período pico (s) |
|---------------------------|--------------------------|------------------|
| 5                         | 3.56                     | 10.1             |
| 25                        | 4.46                     | 11.1             |
| 50                        | 4.93                     | 11.1             |
| 100                       | 5.61                     | 11.1             |
| 200                       | 6.17                     | 11.1             |

Los resultados de las simulaciones de Moffatt and Nichol se presentan en la Figura 13 para las olas procedentes del Norte. Estos resultados indican que las olas procedentes del Norte producen mayores alturas significantes de ola dentro de Bocas de Ceniza y cerca de las estructuras, resultando en un incremento de la altura de ola cerca de las estructuras del orden de 0.25-0.5 m con respecto a las olas procedentes del NE (dirección predominante). En función de estos resultados la ola de diseño en aguas profundas se seleccionó como la representativa de un periodo de retorno de 100 años, con una altura significativa de ola de 5.6 metros, un periodo de pico de 11.1 segundos y procedentes del Norte.

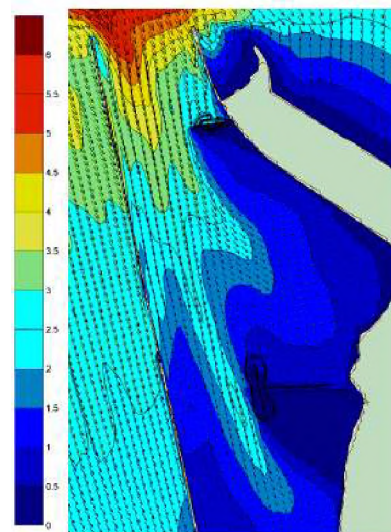


Figura 13. Altura significativa (en metros) de acuerdo a la firma Moffatt and Nichol.

Los datos mostrados en la figura 13 son consistentes con los resultados simulados en esta investigación, olas entrando al Río Magdalena del orden de 6 metros para el caso de huracanes categoría 3 y 5. Se debe tener en cuenta que los resultados generados por esta investigación se hicieron con base a condiciones simuladas de vientos huracanados y no con base a olas de diseño.

Este estudio permite concluir que de manera preliminar que la geomorfología de la plataforma continental del litoral del Departamento del Atlántico se presenta como un escudo natural que disipa la energía del oleaje extremo producido por huracanes en gran medida antes que arriben a la costa. En consistencia con el informe de la firma Moffatt and Nichol, las olas que pudieran causar mayor daño son la procedentes del Norte, es decir un huracán que tenga un campo de vientos como el que fue simulado con JHURWIN.

La geometría de la línea de costa (no cuasi-horizontal) del departamento del Atlántico, y en general de toda la costa Caribe Colombiana, permite que el oleaje no impacte perpendicularmente, (si el oleaje extremo viene del Norte) sino que cambie de dirección por efectos de refracción.

## ***Futuros trabajos***

Los resultados anteriores no eximen el inicio de un programa de alerta y mitigación contra huracanes para la zona, ya que en esta investigación no se ha tenido en cuenta la línea de inundación de la marejada ciclónica y el run up total del oleaje. Adicionalmente a lo anterior, podría hacerse un estudio complementario para un huracán que venga del Oeste y no del Este como en este caso, por ejemplo el caso del huracán Lenny en 1999.

La inclusión otras zonas de la Costa Caribe Colombiana con mayor riesgo (Guajira y San Andrés) se hacen necesarios. Igualmente la modelación de la línea de inundación por la

marejada ciclónica sería un enorme aporte a este estudio, modelos como SLOSH o ADCIRC son recomendables. Corridas no estacionarias del modelo SWAN son recomendadas en estudios posteriores para analizar la evolución del campo de olas en el caso de evaluar el impacto en zonas de mayor extensión geográfica.

## ***Agradecimientos***

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Dirección de Investigaciones y Proyectos (DIP) de la Universidad del Norte por proporcionar los fondos para la realización de esta investigación, así mismo como al Centro Hemisférico de Cooperación en Investigación y Educación en Ingeniería y Ciencia Aplicada (Cohemis) de la Universidad de Puerto Rico. Igualmente a la Dirección Marítima Nacional (DIMAR) y El Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) de la Armada Nacional por los datos y el apoyo suministrado.

## ***Referencias bibliográficas***

- [1] Unisys Weather Tropical Data Department [Online]. 2007 feb 1 [Citada 2006 feb 15]. Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/atlantic/index.html>.
- [2] US ARMY waterways experiment station. Coastal Engineering Research Center. HURWIN: Tropical storm planetary boundary layer wind model. [Informe Final]: may 1992.
- [3] Willoughby HE. Parametric representation of the primary vortex. Part I: observations and evaluation of the Holland (1980) model. Monthly Weather Review. 2004; 3033-3048.
- [4] Booij N, Holthuijsen LH. Propagation of ocean waves in discrete spectral wave models. Journal of Computational Physics. 1987;68:307-326.
- [5] López F, Díaz E, Bacca LF, Ortiz JC. Estudio y simulación del huracán JOAN en 1988 a su paso por el Caribe Colombiano. [Tesis M.S.]. Universidad Tecnológica de Bolívar. Instituto Tecnológico de Monterrey; 2005.



[6] Ortiz JC, Mercado A. Oleaje en la costa norte de Puerto Rico: simulación, climatología y pronóstico. [Tesis Ph.D]. Universidad de Puerto Rico; 2003.

[7] Visbal J, Ortiz JC. Simulación de huracanes bajo el lenguaje Java a partir del modelo HURWIN (HURricane WIND model) para su aplicación sobre la costa Caribe Colombiana. [Tesis de pregrado en Ingeniería de Sistemas]. Universidad Del Norte; 2006.

[8] Watson Technical Consulting, Inc. Atlas of probable storm effects in the Caribbean Sea. Caribbean disaster mitigation project. [Informe Final]: mar 2000.

[9] National Weather Service Forecast. Office. Mobile/Pensacola. National Data Buoy Center [Online]. 2006 dic 20 [ Citada 2006 jun 15]. Disponible en: <http://www.srh.noaa.gov/mob/0805Katrina/>.

[10] National Oceanic and Atmospheric Administration. National Data Buoy Center [Online]. 2006 dic [Citada 2006 may 15]. Disponible en: <http://www.ndbc.noaa.gov/>.

[11] Moffatt and Nichol International. Obras de profundización del canal de acceso al Puerto de Barranquilla, Colombia. Modelo de propagación de oleaje [Borrador del Informe Final]: 2006 jun 15.

[12] Caribbean sea meteorological and oceanographic study [Online]. 2001; [Citada 2006 feb 15]; Disponible en: <http://www.oceanweather.com/metocean/carimos/index.html>.