

Artículo original

## El huracán que pasó sobre la Isla de San Andrés en 1911

### The hurricane that affected San Andrés Island in 1911

Juan C. Ortiz<sup>1,\*</sup>, Mario Conde<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación en Geociencias-GEO4, Departamento de Física y Geociencias, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia

<sup>2</sup> Grupo de investigación en Geociencias-GEO4, Departamento de Física y Geociencias, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia

#### Resumen

En el presente estudio se analizó la dinámica de vientos y del oleaje durante el paso del huracán de 1911 sobre la Isla de San Andrés. A partir de un modelo paramétrico de viento acoplado al modelo de generación y propagación de olas SWAN, se generaron los campos de vientos y oleaje durante el paso de este huracán por el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Los modelos de viento y de oleaje se calibraron y validaron con datos de campo registrados por una boya oceanográfica durante el paso del huracán Matthew en el 2016. Se encontró que los vientos de mayor intensidad (cerca de los 200 km/h) generados por el huracán se ubicaron a 22 km de la costa norte de San Andrés y a 65 km de la costa sur de Providencia. En cuanto al oleaje, este fue de menor intensidad que el generado por el huracán Iota en el 2020 y el Joan en 1988. La extensión de la plataforma costera de San Andrés y la dirección del oleaje producido por el huracán de 1911 podrían haber provocado que la marejada ciclónica asociada fuera más significativa que la de otros huracanes. Por último, la metodología aquí descrita puede utilizarse para reconstruir huracanes en cualquier lugar con información escasa y así mejorar nuestra habilidad para predecir la respuesta costera al potencial impacto de futuros huracanes.

**Palabras clave:** Huracanes históricos; Mar Caribe; Oleaje extremo; Vientos extremos.

#### Abstract

This study examined the winds and wave dynamics over the Island of San Andrés during the passage of the unnamed hurricane of 1911. Wind and wave fields were generated using a parametric wind model coupled to the wave generation and propagation model SWAN. The wind and wave models were calibrated and validated with field data recorded by an oceanographic buoy during the passage of Hurricane Matthew in 2016. We found that the highest intensity winds (close to 200 km/h) were produced 22 km from the north coast of San Andrés and 65 km from the south coast of Providencia. Moreover, we found that the waves were smaller than those generated by hurricanes Iota in 2020 and Joan in 1988. Due to the extension of the coastal platform of San Andrés and the direction of the waves produced by the hurricane, the storm surge associated with the 1911 hurricane may have been more significant than other hurricanes. This methodology can be used to reconstruct hurricanes where information is scarce and, thus, improve our ability to predict the coastal response to the potential impact of future hurricanes.

**Keywords:** Historical hurricane; Caribbean Sea; Extreme waves; Extreme winds.

**Citación:** Ortiz JC, Conde M. El huracán que pasó sobre la Isla de San Andrés en 1911. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 46(180):795-806, julio-septiembre de 2022. doi: <https://doi.org/10.18257/racefyn.1743>

**Editor:** Horacio Torres Sánchez

**\*Correspondencia:**

Juan Carlos Ortiz;  
[jortiz@uninorte.edu.co](mailto:jortiz@uninorte.edu.co)

**Recibido:** 9 de agosto de 2022

**Aceptado:** 8 de septiembre de 2022

**Publicado en línea:** 22 de septiembre de 2022



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

#### Introducción

Las regiones costeras continentales de Colombia no suelen verse afectadas por los efectos devastadores de los huracanes. De hecho, en los últimos 100 años, menos de 15 tormentas importantes han impactado la porción de 1.600 km de línea de costa continental (Ortiz, 2012). La península de La Guajira, situada en el extremo noreste, usualmente es la más

afectada, en tanto que las áreas menos afectadas son la zona central y la zona suroeste del litoral en límites con Panamá. Hasta la fecha, los huracanes Joan en 1998 y Mathew en el 2016 han sido los de mayor impacto en nuestra costa caribe (Ortiz *et al.*, 2022).

En contraste, el área insular de Colombia en el Mar Caribe, es decir, el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, vive una situación muy diferente; allí el paso de tormentas y huracanes es un fenómeno más común. La isla de San Andrés, con una superficie de 27 km<sup>2</sup>, es la más grande y poblada del archipiélago y sus 75.000 habitantes se concentran principalmente a lo largo de la costa noreste, donde también se sitúa el aeropuerto. Ubicada entre los 12,48° y los 12,60° N y los 81,50° y los 81,74° O, la isla se caracteriza por sus playas de arena blanca y aguas cristalinas. El Archipiélago recibe aproximadamente unos 500.000 turistas al año. Las islas de Providencia y Santa Catalina, que tienen una población conjunta de solo 5.000 habitantes, tienen una superficie total de 17 km<sup>2</sup> y están rodeadas por un conjunto de pequeños cayos y un complejo coralino de 22 km de longitud que es el segundo más largo del mar Caribe después del arrecife de Belice. Por sus atributos culturales, naturales e históricos, la UNESCO declaró el archipiélago como Reserva de la Biosfera Seaflower (Ortiz *et al.*, 2015; Vargas, 2004; Meisel, 2003; UNESCO, 2022).

En estudios anteriores se ha informado de las tormentas y huracanes que se han acercado lo suficiente a la isla de San Andrés en los últimos 100 años como para causar algún tipo de impacto (Ortiz *et al.*, 2015). El centro de ojo de los eventos se ha localizado por lo menos a 150 km de la isla. Según Wornom *et al.* (2002), esta distancia, medida desde el ojo de un huracán, debe considerarse como límite para que se den efectos significativos en una zona costera. En orden cronológico, los huracanes que han cumplido con este criterio son el Hattie (1961), el Alma (1970), el Irene (1971), el Joan (1988), el Cesar (1996), el Katrina (1999), el Beta (2005), y el Iota (2020) (Tabla 1), de los cuales cerca del 40 % pasó por el sur de la isla, en tanto que el 60 % restante pasó por el oriente. Por lo menos un huracán afecta a la isla cada 10 años, en promedio (Ortiz *et al.*, 2015).

Durante la primera mitad del siglo XX, a los huracanes no se les asignaban nombres, sino que se numeraban secuencialmente y, en general, se los denominaba tormentas. La *Historical Hurricane Tracks* de la *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOAA) posee el registro de las tormentas y huracanes que han atravesado el océano Atlántico y el mar Caribe desde 1851 (Historical Hurricane Tracks-NOAA, 2022). Según esta base de datos, el ojo de un huracán sin nombre asignado pasó en 1911 sobre la isla de San Andrés en algún momento entre el 9 y el 10 de septiembre, sin embargo, no hay registros en la literatura científica sobre sus características (velocidad del viento, oleaje, marejada ciclónica), ni sobre sus efectos.

**Tabla 1.** Tormentas y huracanes cuyo ojo ha estado a menos de 150 km de San Andrés (Historical Hurricane Track-NOAA, 2022; Ortiz, 2012)

Nombre	Categoría	Fecha	Distancia entre San Andrés y el ojo de la tormenta (km)	Vientos máximos (km/h)
'Sin nombre' 1911	H2	1911-09-09	A determinar	A determinar
Hattie	Tormenta tropical	1961-09-17	60	101,8
Alma	Tormenta tropical	1970-05-18	131	46,3
Joan	H3	1988-19-21	82	203,7
Cesar	Tormenta tropical	1996-07-28	63	120,4
Beta	Tormenta tropical	2005-10-28	70	92
Iota	H4	2020-11-16	103	250

En términos generales, el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina tiene un clima tropical húmedo influenciado por los vientos alisios del noreste. A lo largo del año, los regímenes de vientos en el archipiélago y en la mayor parte de la costa continental colombiana están condicionados por las oscilaciones de alta presión de las Azores, por las fluctuaciones en la zona de convergencia intertropical (ZCIT), y por el tránsito de frentes fríos y tormentas (Ortiz *et al.*, 2013; Vargas, 2004).

La magnitud del viento oscila entre 6,3 y 7,0 m/s de diciembre a marzo y entre 4,5 y 6,2 m/s durante abril y noviembre. Dentro del tramo de 2,5 km que separa la playa de la barrera arrecifal, las olas son de poca altura (0,30 a 0,60 m), con un período de 4 a 5 segundos (IDEAM, 2001). En contraste, el régimen de olas en las aguas profundas que rodean a San Andrés (es decir, las aguas más allá de la barrera arrecifal) se caracteriza por olas de alturas entre los 0,4 y los 3,0 m provenientes del noreste. Como resultado de la estrecha plataforma de la isla, ubicada en el sureste, esta área está expuesta a la mayor parte de la energía de las olas, por lo que presenta una gran erosión.

En términos de oleaje extremo, San Andrés se clasifica como el lugar más expuesto a huracanes en esa zona de Colombia (Ortiz, 2012) y, aunque ninguno de los huracanes previamente reportados con centro localizado por lo menos a 150 km pasó por la isla, un par de ellos fueron muy destructivos (el Joan en 1998 y el Iota en el 2020). A pesar de su poca frecuencia, la gran capacidad destructiva de los huracanes que pasan cerca del área insular de Colombia, así como su mayor intensidad debido a los fenómenos del calentamiento global (Knutson *et al.*, 2020), la compresión de los parámetros de viento y oleaje de los huracanes del pasado resulta de gran importancia para prever la respuesta costera al potencial impacto de los que ocurran en el futuro.

Con el fin de comprender los impactos de los huracanes en áreas vulnerables al cambio climático, y dado que la velocidad del viento y el oleaje del huracán de 1911 (único evento conocido cuyo centro pasó sobre la isla de San Andrés), no quedaron registrados, el objetivo del presente trabajo fue reconstruir dicha dinámica durante a partir de un modelo paramétrico de viento acoplado al modelo de generación y propagación de olas SWAN. La información que así se recopiló aporta a la comprensión de estos fenómenos en esa área del Caribe colombiano.

## Materiales y métodos

### Modelamiento matemático

Para la reconstrucción del campo de vientos se utilizó el modelo paramétrico de viento de huracanes de Lizano (1990, 2006). Según este modelo, el campo de vientos desde el centro y distribuido radialmente, se puede calcular de acuerdo a las siguientes ecuaciones paramétricas:

$$V(r) = V_{max} \frac{2Rr}{r^2 + R^2} \quad r < R \quad (1a)$$

$$V(r) = V_{max} \frac{V_{max}}{C_1 r^k} \log \frac{R}{C_2 r^m} \quad r > R \quad (1b),$$

donde  $R$  es el radio de vientos máximo, y  $C_1$ , igual a 3.354,  $C_2$  a 0.001265,  $k$  a 0.115128 y  $m$  a 1.607, son constantes. Esta parametrización se construyó a partir de los trabajos originales de Holland (1980), Collins & Viehman (1971) y Jeleznianski (1974). La velocidad máxima del viento,  $V_{max}$  (en la pared del ojo), se calculó utilizando la siguiente ecuación paramétrica:

$$V_{max} = K[(P_n - P_o)^{1/2} - fR_{max}] + 0.5 V_F \quad (2),$$

donde  $K$  es igual a 0,885 (Lizano, 2006),  $P_o$  es la presión en el centro de la tormenta,  $P_n$  la presión ambiental y  $f$  el parámetro de Coriolis ( $f = 2\Omega \sin\phi$ , donde  $\Omega$  es la rapidez angular terrestre y  $\phi$  es la latitud), variables meteorológicas que provienen de la base de datos HURDAT2.  $V_F$  es la velocidad de avance del huracán y es importante para simular la asimetría del viento en el cuadrante derecho (Young, 2003).

El modelo utilizado para la generación y propagación del oleaje producto del campo de viento fue el modelo SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*) de **Booij et al.** (1999), versión 41.31. SWAN es un modelo espectral de oleaje de tercera generación que permite calcular, entre otras cosas, la altura significativa de las olas ( $H_s$ ), y el período y la dirección forzadas por el viento, y es ampliamente utilizado en la comunidad científica por la gran variedad de procesos físicos que incluye, siendo además de libre acceso. Según **Ortiz & Mercado** (2008), el modelo SWAN es una buena opción para simular la propagación de las olas desde aguas profundas hasta la costa. Por otro lado, el uso del modelo de viento paramétrico de **Lizano** (2006) acoplado al modelo SWAN, se validó con los datos de las boyas oceanográficas de la *National Data Buoy Center* (NDBC) en las escalas oceánica y costera (**Lizano et al.**, 2001; **Lizano**, 2006; **Ortiz & Mercado**, 2008; **Dietrich et al.**, 2011). La batimetría utilizada provino del ETOPO1 Global Relief.

### Validación de la metodología

Aunque el acople de ambos modelos fue validado en trabajos previos, en este se hizo una validación propia del modelo paramétrico de vientos acoplado con el modelo SWAN durante el paso del huracán Matthew. Este huracán pasó por el mar Caribe entre el 30 de septiembre y el 4 de octubre del 2016 afectando varias islas en el Caribe y la costa continental de Colombia. Los resultados de ambos modelos (vientos y olas) se compararon con los datos de la boya direccional No. B42058 de la NDBC en el centro del mar Caribe ( $-74,575^\circ$  O y  $14,888^\circ$  N). Para el caso de la altura de ola significativa ( $H_s$ ) también se compararon los valores con el modelo de la NOAA, Wave Watch III o WWIII (**Tolman**, 1999). El dominio computacional se definió entre los  $-78^\circ$  y  $-66^\circ$  O y los  $8^\circ$  y  $19^\circ$  N.

Para la correlación entre los resultados numéricos de viento y oleaje y los datos de la boya B42058, se usó el índice  $D$  de Willmott y el índice de sesgo promedio (*bias*) (**Willmott**, 1981). Estos índices se usan frecuentemente para la comparación de resultados numéricos con datos experimentales de boyas oceanográficas y están definidos por:

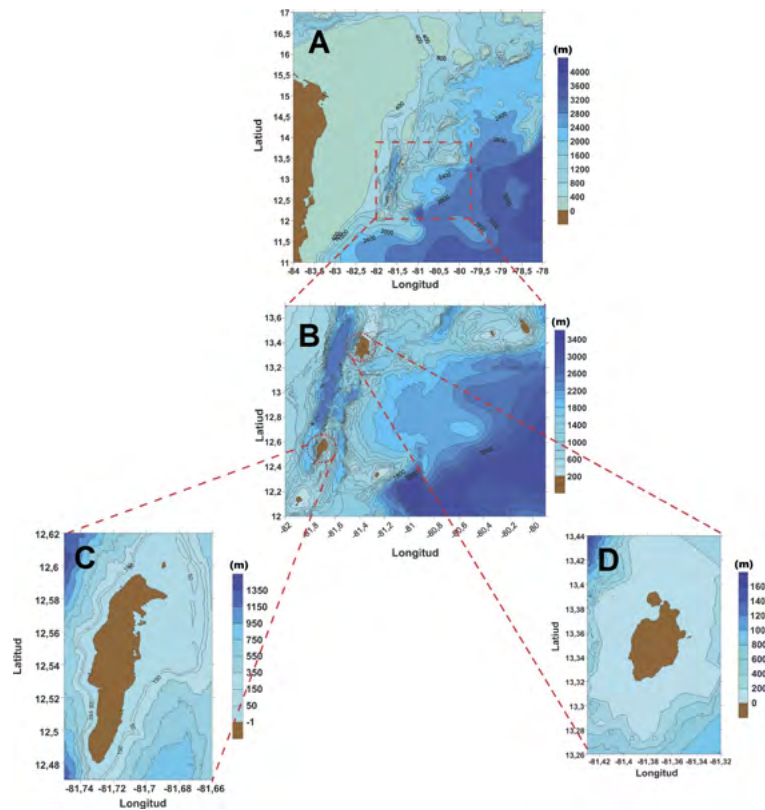
$$D(P) = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N (P_n - O_n)^2}{\sum_{n=1}^N (|P_n - O| + |O_n - O|)^2} \quad (3)$$

$$Bias(P) = \frac{\sum_{n=1}^N (P_n - O_n)}{\sum_{n=1}^N O_n} \quad (4),$$

donde  $N$  es el número de valores evaluados,  $P_n$  representa los valores numéricos,  $O_n$  los datos observados y  $O$  el valor medio de los datos. A manera de ejemplo, un sesgo de  $-0,15$  indica que los datos numéricos están subestimados en un 15 %, en promedio. Asimismo, un índice  $D$  más cercano a 1 indica una mayor correlación entre los resultados numéricos y los datos medidos.

Para modelar con mejor precisión los campos de viento y olas en los dominios locales, se utilizó el proceso de mallas anidadas (*nested grids*). Se diseñaron las siguientes cuatro mallas: la principal, que incluyó la batimetría a escala oceánica (**Figura 1A**), la intermedia, que incluyó la batimetría de la plataforma insular de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (**Figura 1B**), la malla local para San Andrés (**Figura 1C**) y la malla local para Providencia y Santa Catalina (**Figura 1D**).

La validación permitió escoger una resolución espacial de  $0,08333^\circ$  y un paso de tiempo de 30 min para la malla principal, y una resolución de  $0,05^\circ$  y un paso de tiempo de 30 min para la malla intermedia. Para la batimetría se utilizó la información de las cartas náuticas 201 y 200 de la isla de San Andrés. Para las mallas locales se escogió una resolución de  $0,0005^\circ$  y un paso de tiempo de 30 min. Todas las características y dominios computacionales utilizados en el modelamiento, se muestran en la **tabla 2**. Los gráficos se generaron en la plataforma MATLAB. Por último, se compararon los valores de magnitud del viento y la altura significativa del huracán de 1911 con los valores reportados del huracán Joan y del Iota.



**Figura 1.** Mallas computacionales usadas en el modelamiento con SWAN: **A)** malla principal; **B)** malla intermedia; **C)** malla local para San Andrés, y **D)** malla local para Providencia y Santa Catalina con resoluciones de 0,08333°, 500 m, 5 m y 5 m, respectivamente.

**Tabla 2.** Características de las mallas computacionales usadas en el modelamiento con SWAN

Malla	Longitud (grados)	Latitud (grados)	Tamaño de celda (grados)	Paso de tiempo
Principal	-84 -78 O	11 - 17 N	0,08333°	30 min
Intermedia	-82,0 -79,9 O	12,0 – 13,7 N	0,05°	30 min
Local-San Andrés	-81,74 -81,67 O	12,47 – 12,62 N	0,005°	30 min
Local-Providencia y Santa Catalina	-81,75 -81,68 O	13,26 – 13,44 N	0,005°	30 min

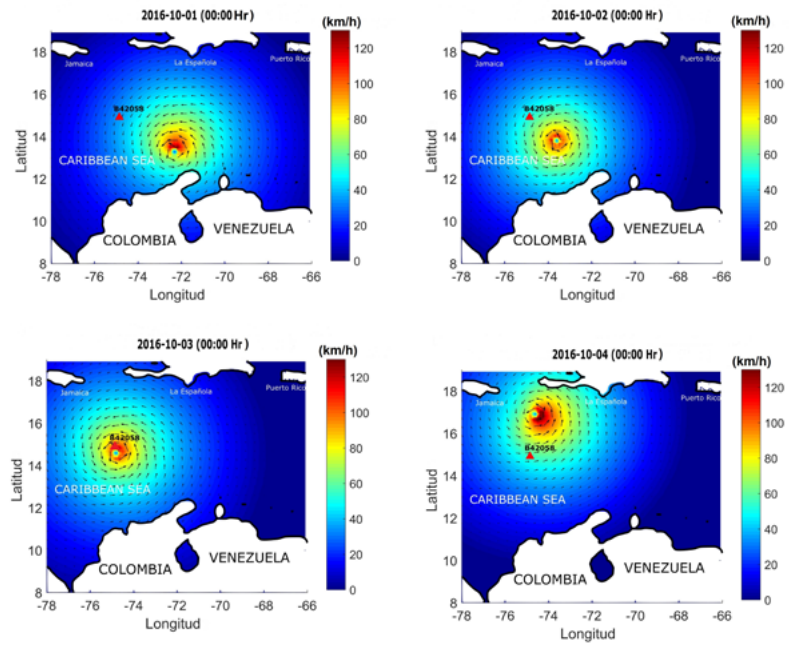
## Resultados y discusión

Presentamos primero los resultados de la calibración propia del modelo paramétrico de vientos acoplado al modelo SWAN para después describir la dinámica de los vientos y el oleaje en el área del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina durante el paso del huracán de 1911.

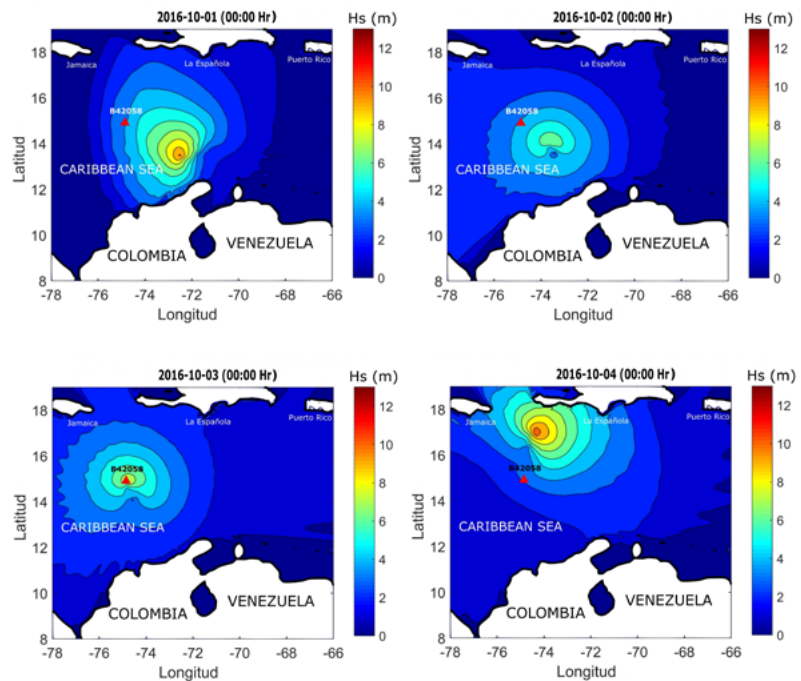
### Calibración y validación

Los campos de viento del huracán Matthew (**Figura 2**) durante los cuatro días de su paso por el mar Caribe revelan variaciones temporales de las velocidades máximas. Particularmente en el área adyacente al ojo, las mayores intensidades oscilaron entre los 80 km/h (**Figura 2, panel 2**) y más de 130 km/h (**Figura 2, panel 4**). Durante su paso cerca a la boya B42058 (**Figura 2, triángulo**), las velocidades registradas fueron de más de 130 km/h.

En cuanto al campo de oleaje, los mayores valores de altura significativa durante el paso del huracán Matthew oscilaron entre 6 m y 9 m (**Figura 3**). Como era de esperarse, la variación temporal de las máximas alturas significativas de oleaje coincidió con la variación temporal de los máximos valores de vientos. Además, se observó que en el área cercana a la boya B42058 los valores de altura significativa de ola alcanzaron magnitudes de hasta 8 m.



**Figura 2.** Campo de vientos durante el paso del huracán Matthew usando el modelo paramétrico.

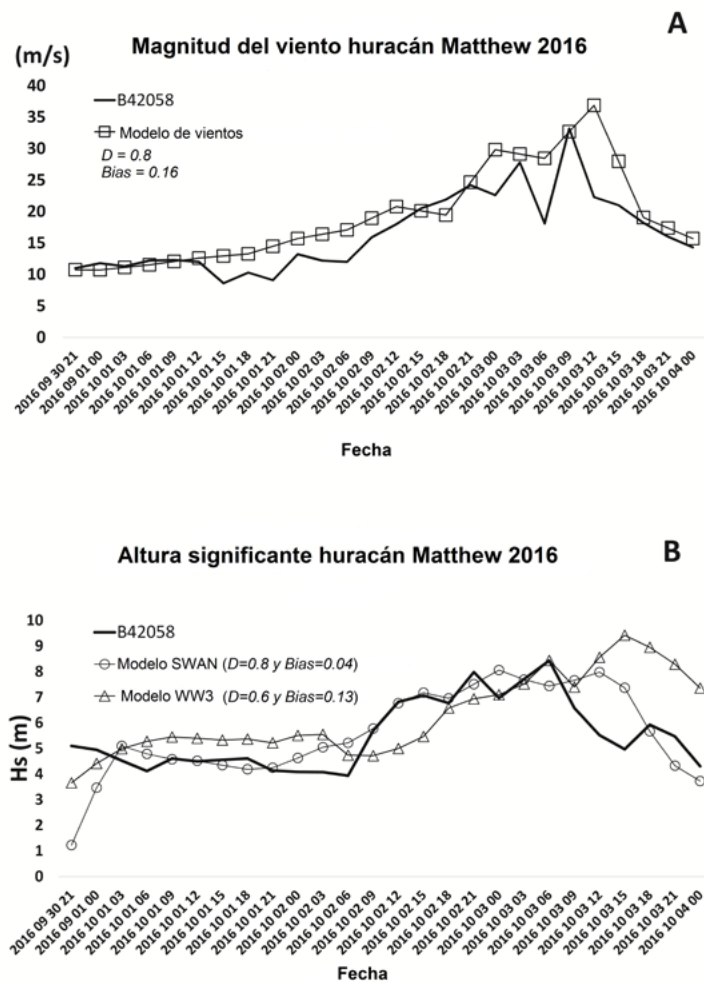


**Figura 3.** Campo de altura significativa (Hs) durante el paso del Huracán Matthew usando el modelo SWAN

El análisis de correlación entre los datos del modelo de vientos y los datos medidos por la boya B42058 arrojó un índice  $D$  y un sesgo de 0,8 y 0,16 (**Figura 4A**), respectivamente, lo que indica que los datos del modelo de vientos fueron consistentes con los datos de la boya experimental, pero sobreestimaron la magnitud del viento en un 16 %, en promedio. Para la simulación del oleaje, se hizo un análisis de sensibilidad utilizando valores de resolución espacial de  $0,16667^\circ$  y  $0,08333^\circ$  y pasos de tiempo de 3 h, 1 h y 30 min. Se eligió una resolución espacial de  $0,08333^\circ$  y un paso de tiempo de 30 min; los resultados fueron consistentes con los datos de la boya B42058, pero sobreestimaron los valores de  $H_s$  en un 4 % en el SWAN (**Figura 4B**). Estos resultados fueron coherentes con los obtenidos anteriormente por Lizano (2006), Ortiz *et al.* (2008), Ortiz & Mercado (2008) y Dietrich *et al.* (2011).

**El Huracán de 1911**

De acuerdo con la base de datos del *National Hurricane Center* (NHC), el huracán de 1911 ingresó al área de estudio delimitada por el dominio principal de análisis (**Figura 1A**) el 9 de septiembre de 1911 a las 06:00 HR (UTC) como un huracán de categoría 1 y la abandonó en algún momento después de las 06:00 HR (UTC) del 10 de septiembre como huracán de categoría 2. Probablemente el ojo tocó tierra en San Andrés en algún momento entre la noche del 9 de septiembre y las primeras horas del 10 de septiembre, con vientos



**Figura 4.** Comparación de las series de tiempo de los datos del modelo de vientos y los datos medidos por la boya B42058. **A.** Magnitud del viento (m/s); **B.** altura significativa  $H_s$  (m)

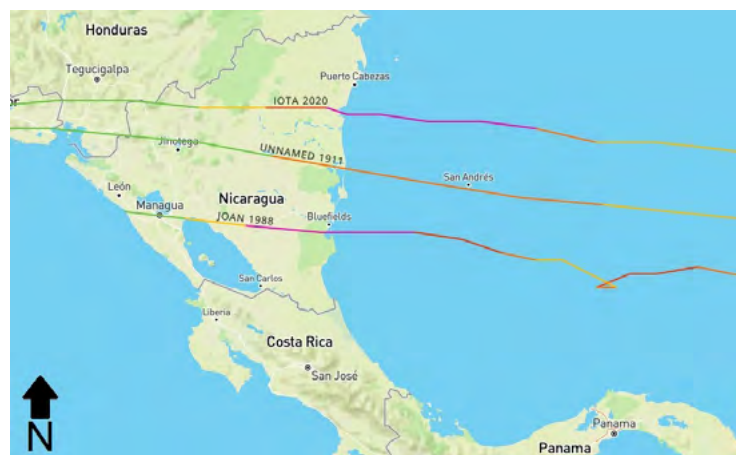
máximos de cerca de 157 km/h (categoría 2). Este caso sería el primer huracán reportado en la literatura cuyo ojo pasó directamente sobre la Isla de San Andrés. Con respecto a Providencia y Santa Catalina, el ojo estuvo a unos 96 km durante las últimas horas del 9 de septiembre. Los parámetros del huracán de 1911 se pueden ver en la **tabla 3**, en tanto que su trayectoria y la de los huracanes Joan de 1988 e Iota de 2020 se presentan en la **figura 5**.

Los resultados del modelamiento de la magnitud del viento del huracán de 1911 (**Figura 6**) muestran que las zonas norte (N) y noreste (NE) de la Isla de San Andrés sufrieron los embates más fuertes en la noche del 9 de septiembre, con vientos del noreste de magnitudes de 100 km/h (**Figura 6B, C**). En cuanto a las islas de Providencia y Santa Catalina, estas fueron principalmente afectadas por vientos del este con magnitudes de alrededor de 115 km/h.

El modelamiento del oleaje muestra que, en general, el oleaje más alto generado por el huracán de 1911 afectó a toda la costa este del archipiélago. La costa oeste de la Isla de San Andrés, por el contrario, permaneció protegida en una zona de sombra creada por la refracción de las olas en la parte norte y sur de la isla (**Figura 7**). La altura significativa de mayor valor en San Andrés fue de 3,5 m con dirección noreste en las primeras horas del 9 de septiembre de 1911 y la altura significativa más alta en Providencia y Santa Catalina fue de 5,0 m con dirección este. Al igual que lo ocurrido en San Andrés, la parte oeste de la isla de Providencia también quedó protegida en una zona de sombra creada por el bloqueo directo del campo de oleaje.

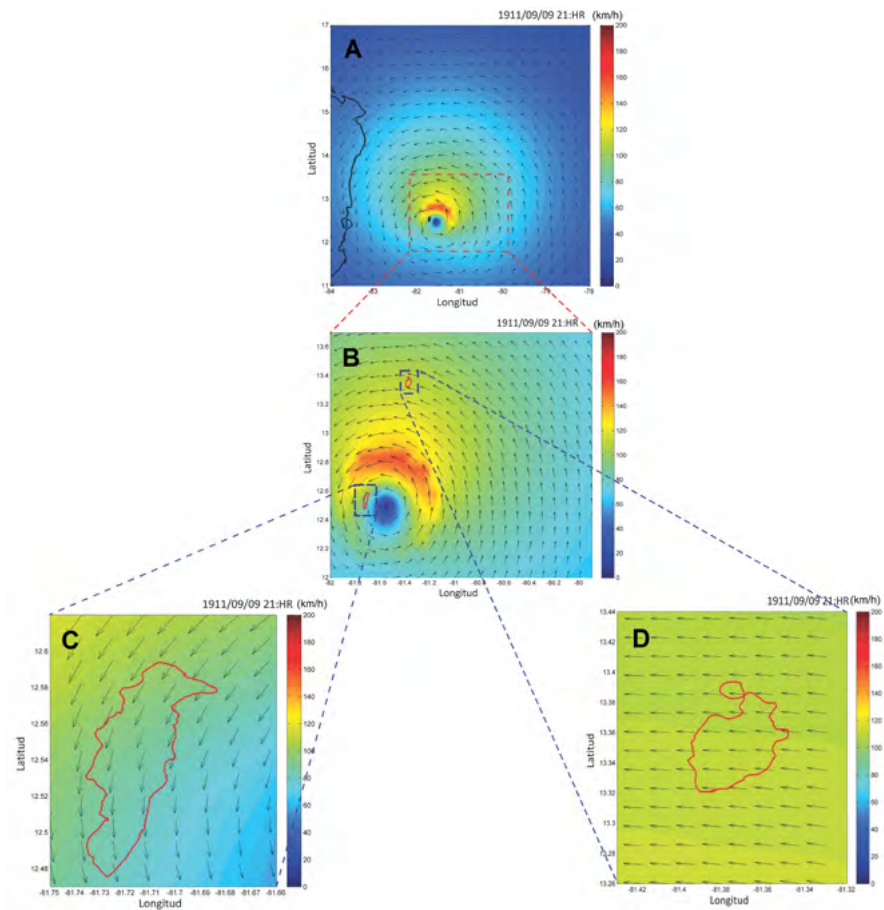
**Tabla 3.** Características del huracán de 1911 reconstruido a partir de los datos históricos del Centro Nacional de Huracanes (NHC) y la Escala Saffir-Simpson

Fecha	Categoría	Distancia estimada entre San Andrés y el ojo de la tormenta (km)	Vientos máximos (km/h)	Presión central (mb)
1911-09-09_00 HR	H1	438	139	990
1911-09-09_06 HR	H1	328	148	992
1911-09-09_12 HR	H2	219	149	979
1911-09-09_18 HR	H2	89	150	969
1911-09-10_00 HR	H2	53	157	970
1911-09-10_06 HR	H2	185	157	975



**Figura 5.** Trayectorias estimadas del huracán de 1911, el huracán Joan de 1988 y el huracán Iota de 2020. (Imagen tomada y modificada de: **Historical Hurricane Track-NOAA, 2022**).



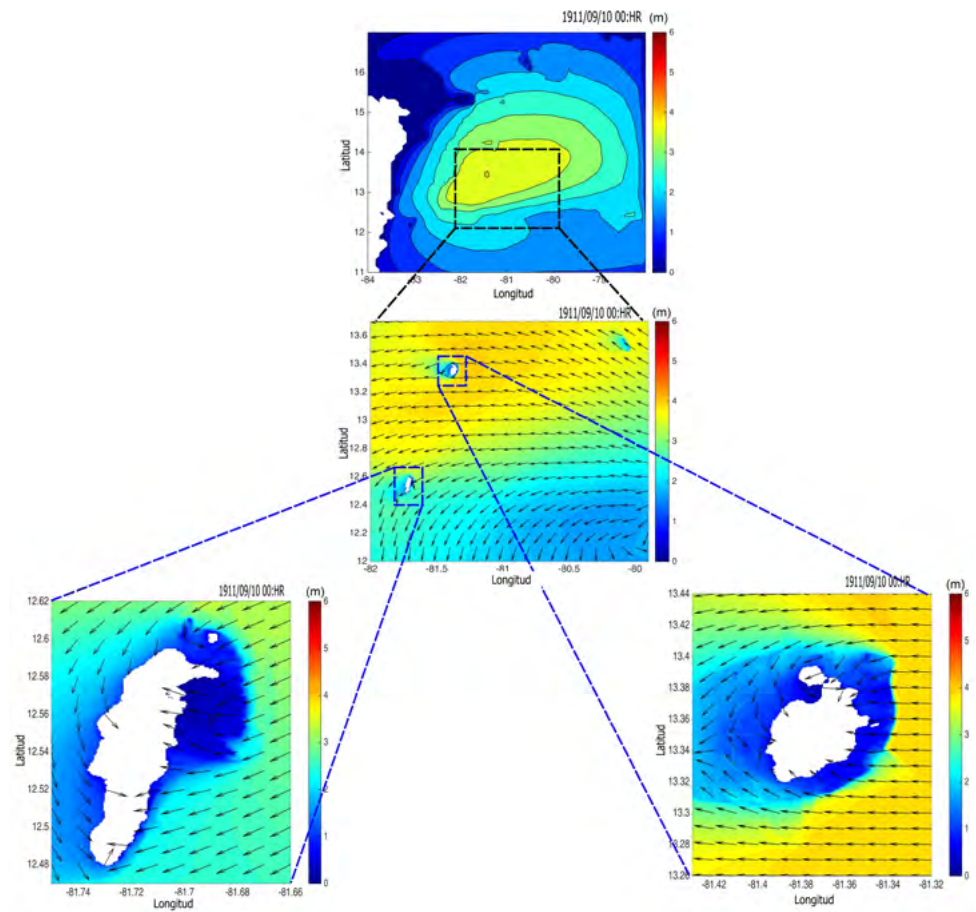


**Figura 6.** Campo de vientos del huracán de 1911 para cada malla computacional usada en el modelo paramétrico de vientos

Es importante destacar que, aunque el ojo del huracán de 1911 estuvo más cerca de la Isla de San Andrés que otros eventos reportados (el huracán Joan y el Iota), los vientos más intensos se localizaron al noreste y no sobre la isla misma, ya que tiene unos 14 km de largo de norte a sur y unos 3 km de ancho de este a oeste y el ojo del huracán se estimó en 24 km.

La longitud de la plataforma ubicada frente a la costa noreste de San Andrés sugiere que la marejada ciclónica asociada con el huracán de 1911 pudo haber sido más significativa que la de otros huracanes debido a la cercanía del centro de baja presión. Las **tablas 4 y 5** resumen los parámetros del huracán de 1911 calculados en el presente estudio y comparados con los de los huracanes Joan e Iota. En San Andrés los vientos máximos históricos fueron los del Iota, en el 2020, que alcanzaron los 170 km/h, en tanto que el oleaje generado por el huracán Joan fue el mayor (10 m). El huracán de 1911 tuvo probablemente vientos de hasta 110 km/h y generó olas de hasta 3,0 m. Los vientos más fuertes del Joan, por su parte, ubicados en el cuadrante derecho, tuvieron suficiente alcance para generar grandes olas capaces de afectar directamente a las islas. En el caso del huracán Iota, la elevada categoría (categoría 4) (**Figura 5**) que adquirió durante su recorrido por la zona del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina fue el principal causante de los altos oleajes registrados en las islas.

Puede concluirse, entonces, que la metodología utilizada en el presente trabajo representa una buena alternativa para la reconstrucción de huracanes históricos cuando no se dispone de los datos experimentales completos.



**Figura 7.** Campo de altura significativa ( $H_s$ ) del Huracán de 1911 para cada dominio o malla computacional usando el modelo SWAN

**Tabla 4.** Resultados del huracán de 1911 comparados con los huracanes Joan de 1988 e Iota de 2020 en San Andrés (**Historical Hurricane Track-NOAA, 2022; Ortiz et al., 2015**)

Nombre	Fecha	Vientos máximos sobre la Isla de SA (km/h)	Valor más alto del oleaje en aguas profundas (m)
Huracán de 1911	1911-09-09	110	3,0
Joan	1988-10-21	120	10,0
Iota	2020-11-16	170	5,0

**Tabla 5.** Resultados del huracán de 1911 comparados con los huracanes Joan e Iota en las islas de Providencia y Santa Catalina (**Historical Hurricane Track-NOAA; Ortiz et al., 2015**).

Nombre	Fecha	Vientos máximos sobre las islas de Providencia y Santa Catalina (km/h)	Valor más alto del oleaje en aguas profundas (m)
Huracán de 1911	1911-09-09	110	4,0
Joan	1988-10-21	100	8,0
Iota	2020-11-16	230	7,0

## Conclusiones

Se aplicó un modelo paramétrico de huracanes acoplado a uno de oleaje para reconstruir los probables campos de viento y olas generados por el huracán de 1911, el cual no había sido reportado en la literatura y cuyo ojo pasó sobre la Isla de San Andrés. La metodología fue validada con datos medidos por la boya B42058 de la NDBC durante el paso del huracán Matthew en el mar Caribe en el 2016.

Los resultados mostraron que el ojo del huracán de 1911 pasó sobre la Isla de San Andrés en algún momento de la noche del 9 de septiembre de 1911 con vientos máximos de 110 km/h. Los vientos más extremos de este huracán (casi 200 km/h) se ubicaron a 22 km de la costa norte de San Andrés y a 65 km de la costa sur de Providencia. Si bien esta tormenta afectó directamente a San Andrés, los resultados de las modelaciones muestran que su impacto habría sido menor que el del huracán Joan en 1988 y el Iota en el 2020. En el caso del Joan, su gran impacto se debió a la dinámica del campo de vientos y oleaje, en tanto que en el caso del Iota, la afectación a la Isla de San Andrés se debió a su intensidad.

La longitud de la plataforma frente a la costa noreste de San Andrés indica que la marejada ciclónica del huracán de 1911 habría sido significativa y probablemente mayor que la del huracán Joan, pero no mayor que la del Iota, por lo que sería importante calcular la marejada ciclónica de estos eventos históricos y compararlas con estudios recientes sobre inundación como el de **Rey et al.** (2021). En países como Colombia, donde la población costera ha aumentado, aunque los huracanes no son tan frecuentes, es de gran interés establecer las características de los eventos históricos para ayudar a comprender y predecir los impactos de futuras amenazas. Esto es especialmente importante hoy, cuando el calentamiento global ha comenzado a afectar la intensidad de los huracanes en el océano Atlántico y el mar Caribe.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Centro de Investigación Oceanográfico e Hidrográfico de la Armada Nacional de Colombia (CIOH) de La Dirección Marítima Nacional de Colombia (DIMAR).

## Contribución de los autores

MC: modelación mediante SWAN del huracán de 1911. JCO: modelación del campo de vientos del huracán de 1911. Ambos autores diseñaron las figuras, redactaron el texto e hicieron el análisis de los resultados y las conclusiones.

## Conflicto de intereses

Ninguno

## Referencias

- Booij, N., Ris R.C., Holthuijsen, L.H.** (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *Journal of Geophysical Research, C4* (104): 7649-7666.
- Collins, J.J., Viehnaman, J.** (1971). A simplified empirical model for hurricane wind fields. Paper No. OTC 1346. *Offshore Technology Conference*.
- Dietrich, J.C., Tanaka, S., Westerink, J.J., Dawson, C.N., Luetlich, J.J., Zijlema, M., Holthuijsen, L.M., Smith, J.M., Westerink, L.G., Westerink, H.J.** (2012). Performance of the Unstructured-Mesh, SWAN+ADCIRC Model in Computing Hurricane Waves and Surge. *Journal of Scientific Computing, 52* (2): 468-497.
- Historical Hurricane Tracks-NOAA.** Interactive mapping tool. Fecha de consulta: entre enero y mayo de 2022. Disponible en: <https://coast.noaa.gov/hurricanes/#map=4/32/-80>.
- Holland, J.** (1980). An Analytic Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes. *Monthly Weather Review, 108* (8), 1212-1218.

- IDEAM.** (2001). *Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2001 Colombia*, 217p. <http://www.ideam.gov.co/documents/40860/219937/primera-comunicacion--nacional/b99663bb-9023-47d1-b54a-41f74cca0b1e>
- Jelesnianski, C.P.** (1974). Special program to list amplitudes of surges from hurricanes (SPLASH), Landfall Storms, TM-46 (COM-72-10807). National Weather Service. NOAA: p.52.
- Knutson, T., Camargo, S., Chan, J., Emanuel, K., Ho, Ch., Kossin J., Mohapatra, M., Satoh, M., Sugi, M., Walsh, K., Wu, L.** (2020): Tropical Cyclones and Climate Change Assessment Part II: Projected Response to Anthropogenic Warming. *Bulletin of the American Meteorological Society*, E303-E322.
- Lizano, O.** (1990). Un modelo de viento ajustado a un modelo de generación de olas para el pronóstico de oleaje de huracanes. *Geofísica*, 33, 75-103.
- Lizano, O.** (2001). Evaluación de modelos numéricos de tercera generación para el pronóstico de oleaje en Centroamérica y México. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 8, 40-49.
- Lizano, O.G.** (2006). Simulación de oleaje de huracán usando modelos de viento paramétricos en un modelo de olas de Tercera Generación. *Boletín Científico CIOH*, 24, 36-47.
- Meisel, A.** (2003). *The Continentalization of the San Andrés Island, Colombia: Panyas, raizales and tourism, 1953-2003*. (2003). Working Documents on Local, N° 37, Banco de la República, 44p.
- NOAA National Geophysical Data Center.** (2009). ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model. NOAA National Centers for Environmental Information. Fecha de consulta: enero y mayo de 2022. Disponible en: <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>
- National Data Buoy Center (NDBC).** Station 42058 - Central Caribbean. Fecha de consulta: entre enero y mayo de 2022. Disponible en: <http://www.ndbc.noaa.gov>
- National Hurricane Center. (NHC).** (2022). Educational Resources and Archives. Fecha de consulta: entre enero y mayo de 2022. Disponible en <https://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php>
- Ortiz, J.C. & Mercado A.** (2008). An Intercomparison of SWAN and WAVEWATCH III models with data from NDBC-NOAA buoys at oceanic scales. *Coastal Engineering Journal*, 50 (1), 47-73.
- Ortiz, J.C.** (2012). Exposure of the Colombian Caribbean Coast, including San Andrés Island, to Tropical Storms and Hurricanes, 1900–2010. *Natural Hazards Journal*, 61, 815-827.
- Ortiz, J.C., Otero, L.J., Restrepo, J.C., Ruiz, J., Cadena, M.** (2013). Cold fronts in the Colombian Caribbean Sea and their relationship to extreme wave events. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13, 2797-2804.
- Ortiz, J.C., Plazas, J., Lizano, L.** (2015). Evaluation of extreme waves associated with cyclonic activity in San Andrés Island on the Caribbean Sea since 1900. *Journal of Coastal Research*, 31 (3), 557-568.
- Ortiz J.C., Henríquez, S., Gomes, H.** (2022). Coastal meteo-marine parameters during the pass of Hurricane Matthew in the Colombian Caribbean Coast in 2016: Establishing a Baseline of Knowledge. *Journal of Coastal Research*, 38 (1), 66-76.
- Rey, W., Ruiz-Salcines, P., Salles, P., Urbano-Latorre, C.P., Escobar-Olaya, G., Osorio, A.F., Ramírez J.P., Cabarcas-Mier, A., Jigena-Antelo, B., Appendini, C.M.** (2021). Hurricane Flood Hazard Assessment for the Archipelago of San Andres, Providencia and Santa Catalina, Colombia. *Front. Mar. Sci.* 8, (766258), 1-18.
- Simulating Waves Nearshore Model (SWAN).** (2022). Latest stable version for Windows. Fecha de consulta: entre enero y mayo de 2022. Disponible en: <https://swanmodel.sourceforge.io/>
- Tolman, H.** (1999). *User manual and system documentation of WAVEWATCH- III version 1.18. Tech. Note 166, Ocean Modeling Branch, NCEP, National Weather Service, NOAA, U.S. Department of Commerce.*
- UNESCO.** (2022). MBA Biosphere Reserve Directory. Fecha de consulta: entre enero y mayo de 2022. Disponible en: <https://en.unesco.org/mab>
- Vargas, G.** (2004). Geología de la Isla de San Andrés, Colombia. *Geología Colombiana*, 29, 71-87.
- Willmott, C.J.** (1981). On the validation of models. *Physical Geography Journal*, 2, 184-194.
- Wornom, S. & Welsh, D.** (2002). An MPI quasi time-accurate approach for nearshore wave prediction using SWAN code Part I. *Coastal engineering Journal*, 44 (3), 247-256; Part II. *Coastal Engineering Journal*, 44 (3), 257-280.
- Young, I.R.** (1999). *Wind generated ocean waves*. Elsevier Science Ltd, Oxford, UK. 289 pp.