

Estudio de los Sistemas Meteorológicos que han afectado a Baracoa por penetraciones del mar e inundaciones costeras.

Autores: NILO HERNÁNDEZ OROZCO, RAMUNDO VEGA GONZÁLEZ, REYNALDO CASALS TAYLOR.

Departamento de Meteorología Marina, Instituto de Meteorología. E-mail: meteo@ceniai.inf.cu

Resumen.

El objetivo principal de este trabajo consiste en estudiar los sistemas meteorológicos que han afectado con penetraciones del mar e inundaciones costeras a Baracoa (extremo oriental de Cuba).

En el primer capítulo se hace un análisis físico - geográfico de la zona bajo estudio; en el segundo capítulo se da una caracterización estadístico - climatológica de los ciclones tropicales que han provocado afectaciones en dicha zona sobre la base de la elaboración de una cronología que cubre un período de 128 años con actualización hasta 1998, mostrándose los períodos de retorno y ejecutándose un análisis de la tendencia y la determinación de puntos de cambio significativos. Finalmente, en el tercer capítulo, se describen las situaciones que dieron origen a inundaciones costeras por penetraciones del mar en la ciudad de Baracoa desde 1979 hasta febrero de 1999 (con una frecuencia observada de casi un caso por año), existiendo casos complejos en los que se combinan bajas extratropicales y anticiclones, creándose áreas generadoras de oleaje de determinadas dimensiones.

Los resultados obtenidos generan información de utilidad para la Defensa Civil y el Gobierno local, organismo que tienen la misión de salvaguardar los recursos humanos y materiales ante este tipo de contingencia y mitigar los efectos negativos asociados. Esta temática es de interés específico para la toma de decisiones por diversos organismo del Estado y del Gobierno, contribuyendo al proceso de ampliación del conocimiento sobre la ocurrencia de eventos extremos en la región oriental del país.

Introducción

El extremo oriental de Cuba (provincia de Guantánamo) pertenece a la llamada Zona Oriental de Vientos Máximos de Cuba, al este del meridiano 77°W (Vega et al, 1990), donde se ha registrado la ocurrencia de ciclones tropicales del Atlántico Norte que han generado, en ocasiones, penetraciones del mar en el litoral de las costas sur y norte con afectaciones notables. Otros fenómenos característicos de esta región son las tormentas locales severas típicas del verano, así como las altas presiones con fuertes brisotes y los sistemas frontales del invierno según Rodríguez et al (1984). El extremo oriental es afectado solamente por 1/3 de los frentes fríos que penetran por la región occidental de Cuba.

La ocurrencia de inundaciones costeras en la ciudad de Baracoa por penetraciones del mar ha provocado daños materiales y heridos, no solo en el presente siglo sino también durante el pasado, cuando no existía el muro del malecón y las inundaciones cubrían cerca de la mitad del pueblo con todas sus

implicaciones. En el inicio de la década de los 60, se construye el malecón en el litoral de la ciudad de Baracoa, lo cual reduciría la energía de las olas en esa zona densamente poblada. Desde hace mucho tiempo se tiene conocimiento de este evento, que es conocido por la ciudadanía del enclave como "mar de fondo" y se cuenta que no era un suceso corriente, pues solo en la década de los sesenta se recuerda un caso, y veinte años después ocurre la inundación costera más fuerte de los últimos años el 12 y 13 de octubre de 1982.

El objetivo principal del trabajo consiste en realizar una caracterización estadístico - climatológica de los distintos eventos de origen tropical y no tropical que han provocado afectaciones en la zona de Baracoa, aspecto de interés específico en el proceso de obtención de información válida para la toma de decisiones por diversos organismos del Estado y del Gobierno, contribuyendo de esta manera a una ampliación del conocimiento sobre la ocurrencia de eventos extremos en la región oriental de Cuba.

Materiales y métodos

Se consultaron varias cronologías y estudios sobre ciclones tropicales en el Atlántico Norte y en Cuba (Fernández de Castro, 1871; Garriott, 1900; Millás, 1923; Gutiérrez, 1934; Tannehill, 1945; Rodríguez, 1978, 1989; Ortiz, 1973, 1975; Neumann et al, 1985), así como los anuarios (publicaciones) del Observatorio de Belén, el Album del Observatorio de Belén (información extraída en forma de recortes de periódicos), boletines especiales y los resúmenes de temporadas ciclónicas elaborados en el Instituto de Meteorología. En el proceso de extracción de los datos se consideraron las trayectorias disponibles contenidas en un círculo de 300 kilómetros de radio con centro en la ciudad de Baracoa. La escala de Saffir-Simpson (SS) para huracanes (citada por Neumann et al, 1985) es empleada conjuntamente con la conocida categorización de los huracanes dada por el Instituto de Meteorología.

Se utilizaron las cartas sinópticas del archivo del Instituto de Meteorología para la confirmación e identificación de tales fenómenos atmosféricos, tomándose notas de artículos periodísticos, notas de la Defensa Civil y reportes de los Centros Provinciales Meteorológicos de Santiago de Cuba y Guantánamo, así como la información contenida en cartas batimétricas, topográficas y de navegación.

En la modelación estadística para la determinación de los períodos de retorno de interés se utilizaron leyes de probabilidad asociadas a variables aleatorias discretas y las dójimas de bondad del ajuste de Kolmogorov - Smirnov y Chi-Cuadrado (Sneyers, 1975; Ostle, 1981). El análisis de la tendencia y puntos de cambio se realizó mediante las dójimas de Mann - Kendall y Pettitt (Sneyers, 1975, 1992). El período seleccionado 1871-1998 corresponde al período ininterrumpido con trayectorias de ciclones tropicales (mapas de trayectorias).

Capítulo 1. Análisis físico - geográfico

1.1. Topografía de la costa.

La ciudad de Baracoa, la más oriental del país, se encuentra enclavada en el litoral de la costa norte de la provincia de Guantánamo.

La configuración del litoral muestra un eje de inclinación orientado de oeste-noroeste al este-sudeste con escasa plataforma insular, pues la isobata de 200 m se encuentra solo a 1 o 2 kilómetros de la costa. La morfología es irregular, con alternancia de acantilados y terrazas bajas acumulativas con barreras de materiales dendríticos que dan la idea de que su origen es debido a la acción abrasiva del oleaje y los procesos químicos disolutivos sobre el carso.

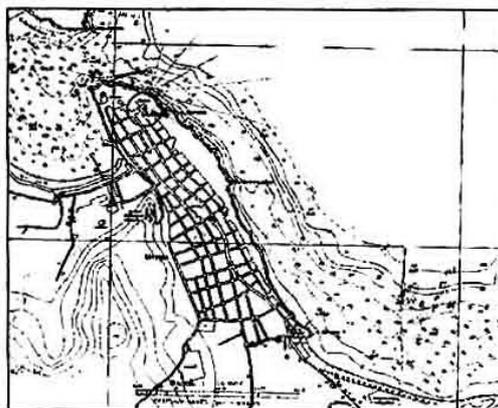


Fig.1. Mapa de la ciudad de Baracoa.

1.2. Áreas adyacentes

De acuerdo a su posición geográfica, la zona de Baracoa puede ser afectada por los ciclones tropicales que se desplazan sobre el Estrecho de Colón, el Canal de Jamaica, el Paso de los Vientos, La Española, Islas Turcas y Bahamas. Además, es conocido el efecto de atenuación ejercido por los sistemas montañosos de Jamaica, Haití y República Dominicana sobre la intensidad de los ciclones tropicales que afectan al extremo oriental de nuestro país.

A unas pocas millas al norte de Baracoa se encuentra el Archipiélago de Bahamas y su Gran Banco. Esta formación es una barrera natural contra las grandes olas que se generan en el Océano Atlántico Norte, pero existen pasos entre las islas que permiten la llegada de las olas con suficiente energía para romper luego sobre las costas del nordeste de Cuba.

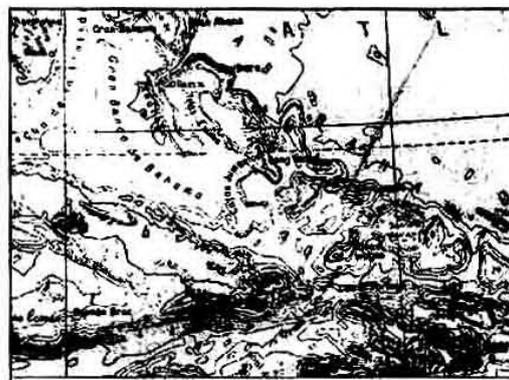


Fig. 2. Mapa topográfico y batimétrico del área de estudio. La línea indica el eje aproximado del Paso de Mayaguana en dirección al litoral de la ciudad de Baracoa.

Específicamente, entre las islas Acklins y Mayaguana se abre el paso nombrado como la segunda de las islas mencionadas, con un ancho de

54 kilómetros, que constituye un cañón profundo que llega muy cerca de la costa de Baracoa y por donde pasan las olas sin transformación, motivo por el cual pueden sentirse los efectos de los fenómenos que ocurren en la porción suroccidental del Océano Atlántico Norte.

Si se estudia una carta del fondo marino del área en cuestión (figura 3), se constatará la existencia de los llamados pasos en las Bahamas orientales a través de los cuales se propagan las olas oceánicas hasta la costa nororiental de Cuba.



Fig.3. Vista en planta del relieve del fondo marino donde se destacan los pasos a través del Gran Banco de Bahamas en su parte oriental hasta la costa nororiental de Cuba.

1.4. Análisis del fetch en los rumbos peligrosos relativos a Baracoa.

Se tomaron los datos de fetch en los distintos pasos profundos que cruzan las Bahamas y que coinciden con los rumbos peligrosos que pueden afectar a Baracoa. El fetch es uno de los factores generadores del oleaje, y no es más que la distancia recorrida por el viento sobre el mar sin cambios notables en su dirección y velocidad.

Las Islas Bahamas están atravesadas por los pasos Crooked, Mayaguana y Caicos, por los cuales se desplaza el oleaje del Océano Atlántico hacia el Canal Viejo y pueden afectar la costa nororiental de Cuba.

Las situaciones de oleajes fuertes son verdaderamente peligrosas cuando las olas tienen rumbo nordeste y estenordeste, que son las direcciones donde el fetch del viento es infinito y permite desarrollar al máximo las alturas de las olas. Específicamente, la ciudad de Baracoa será afectada por los oleajes fuertes que penetran por los pasos Mayaguana y Caicos.

Capítulo 2. Ciclones tropicales en Baracoa.

2.1. Climatología de los ciclones tropicales en Baracoa

2.1.1. Caracterización elemental

Sobre la base de una revisión crítica y actualización de varias cronologías, la zona de Baracoa ha sido azotada por 64 ciclones tropicales (CT): 41 casos con la categoría de tormenta tropical (TT) y 23 casos con la categoría de huracán (H) durante el período 1871-1998 (128 años).

Tabla 1. Distribución mensual y por categorías de los ciclones tropicales que han afectado a la zona de Baracoa (1871-1998), según la escala de Saffir - Simpson.

	TT	SS1	SS2	SS3	Total
Jun.	1	1	0	0	2
Jul.	2	0	0	0	2
Ago.	12	3	1	0	16
Ago. - Sep.	0	1	0	0	1
Sep.	12	7	4	0	23
Sep. - Oct.	0	1	0	0	1
Oct.	6	1	2	0	9
Oct. - Nov.	1	0	0	0	1
Nov.	7	1	1	0	9
Total	41	15	8	0	64

(SS1:huracán de poca intensidad; SS2:huracán de moderada intensidad; SS3:huracán de gran intensidad)

Teniendo en cuenta una información complementaria disponible, podemos afirmar que en 199 años (período 1800-1998) no se ha registrado huracán con la categoría de gran intensidad que haya afectado a la zona de Baracoa. En la tabla 1 se observa el predominio de las afectaciones en septiembre y agosto, seguido por octubre y noviembre en igualdad de frecuencias de ocurrencia.

Gangoiti en 1909 y Gutiérrez en 1912 han descrito la polémica formación de ciclones tropicales intensos en el "borde" de altas presiones persistentes durante el mes de noviembre, los cuales se han desplazado desde el Mar Caribe hacia el primer cuadrante afectando notablemente a Jamaica, Cuba, Haití, el Paso de los Vientos y las Islas Turcas. En el primer decenio del presente siglo se había expresado la teoría de que las depresiones que se originaban en el Mar Caribe durante el mes de noviembre no podían adquirir la forma e intensidad de los ciclones tropicales por la oposición de las altas presiones que se desplazaban al norte de Cuba. Un escrito de Gutiérrez Lanza S.J. en la Reseña Meteorológica del anuario del Observatorio de Belén de 1912 se refiere a que "los ciclones de noviembre cuentan entre nosotros con numerosos y decididos adversarios", añadiendo que "en aquel entonces tuvimos un insistente adversario contradiciendo los anuncios del Observatorio de Belén y sosteniendo que aquello (el huracán de noviembre de 1909) no era más que un brisote

de carácter anticiclónico invernal, producido por la pendiente barométrica fácil de comprender en el borde de la alta presión que reinaba en el Atlántico".

Son polémicas las trayectorias de los ciclones tropicales de noviembre de 1899 y junio de 1908, clasificados por Rodríguez (1978, 1989). Según el Album de Belén, el vórtice del ciclón tropical de noviembre 8/10 de 1899 pasó al este cerca de Kingston (Jamaica) y recurvó entre Jamaica y Cabo Cruz, pasando entre Manzanillo (al este) y Gibara (al oeste, cerca) con rumbo norte (no cruzó sobre la Isla de La Española). Se dice de "terribles efectos del temporal" en la región de Manzanillo; sin embargo, Neumann et al (1985) no lo cataloga. El evento de junio 4/5 de 1908 aparece catalogado por Gutiérrez (1934): ciclón ligero en el extremo oriental, algunos daños. Los periódicos mencionan fuertes vientos y lluvias intensas en la región oriental (150 mm en la ciudad de Santiago de Cuba); Neumann et al (1985) no lo cataloga. De esta manera, del total de 64 casos, existen 63 casos con trayectorias conocidas relativas a la vecina Isla de La Española. La mayoría (61.3%) de los ciclones tropicales que afectaron a Baracoa se originaron en la zona del Atlántico Norte al este del arco de las Antillas Menores (entre los paralelos 10° y 20°N) y solamente el 24.2% en el Mar Caribe. Además, del total admisible, el 42.9% corresponde a ciclones tropicales que cruzaron previamente sobre la Isla de La Española.

De la información obtenida se deduce que en Baracoa (periodo 1871-1998):

- en 75 años no se registran ciclones tropicales;
- el número mayor de años consecutivos sin afectaciones por ciclones tropicales es de ocho (en 1967-1974 y 1986-1993);
- el número mayor de años consecutivos con afectaciones por ciclones tropicales es de siete (en 1882-1888);
- el número mayor de ciclones tropicales en un año es de tres (en 1899, 1908 y 1916);
- en 107 años no se registran huracanes;
- el número mayor de años consecutivos sin afectaciones por huracanes es de 41 (en 1913-1953);
- el número mayor de años consecutivos con afectaciones por huracanes es de dos (en 1883-1884, 1908-1909, 1954-1955 y 1979-1980);
- el número mayor de huracanes en un año es de dos: en 1908 se registraron dos huracanes en un mismo mes (septiembre).

En la figura 4 se dan las trayectorias de los ciclones tropicales más intensos que azotaron a Baracoa durante el periodo 1871-1998. La trayectoria (aproximada)

del huracán de noviembre de 1909 fue elaborada de acuerdo a la información suministrada por los boletines emitidos por el Observatorio de Belén. La trayectoria del huracán de agosto de 1909 fue tomada del Boletín del Observatorio Nacional, que difiere notablemente de la consignada por Neumann et al (1985).

Durante el período complementario 1800-1870 (66 años), a pesar de lo escaso de la información relativa a las afectaciones por ciclones tropicales, se reporta la ocurrencia de cinco huracanes en la región oriental de Cuba: en noviembre 2 de 1800 ("arrasó los campos de Santiago de Cuba"), septiembre 4/6 de 1804 ("Huracán de Antigua - Charleston", en Bahamas), septiembre 5 de 1807 (devastador en Bahamas), agosto 13/14 de 1831 ("Gran Huracán de Barbados") y agosto 14/15 de 1835 ("Huracán de Antigua - Texas"). Se conocen las trayectorias en tres casos (1804, 1831, 1835); Rodríguez (1978, 1998) no cataloga el de 1807.

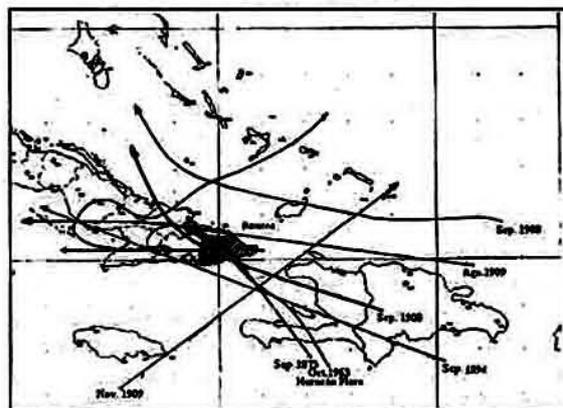


Fig.4. Trayectorias de huracanes que han afectado notablemente a Baracoa y su vecindad.

2.1.2. Eventos relacionados con penetraciones del mar e inundaciones costeras.

Se analizaron y catalogaron algunos casos de interés:

(1) El evento de noviembre 28 a diciembre 5 de 1887 puede ser considerado como un fenómeno complejo severo (el más notable reportado durante el período de referencia relativo a penetraciones del mar en Baracoa), conformado por la acción de altas presiones postfrontales (frente frío reversivo en La Habana del día 26 al 27 con "recio norte") y un huracán describiendo lentamente un "lazo" sobre Bahamas (del día 28 al 29). De acuerdo a los periódicos de la época, los vientos fuertes que azotaron a Baracoa comenzaron a sentirse desde finales de

noviembre; el mar invadió el litoral durante los días 3, 4 y 5 de diciembre llegando hasta el interior de la ciudad provocando enormes daños (105 casas destruidas, grandes daños en la Bahía) sin que se registraran desgracias personales. Ortiz (1975) cataloga el huracán (extemporáneo) con el "lazo" sobre las Bahamas orientales, pero no dice de afectaciones a Cuba.

(2) El evento de septiembre 11/13 de 1908 corresponde a la acción directa de un ciclón tropical que cruzó al norte cerca de la Isla de La Española y recurvó lentamente sobre Bahamas con rumbo al Océano Atlántico. Se ha catalogado como de moderada intensidad en la región oriental de Cuba, categoría asignada por Rodríguez (1989). En Baracoa, según el periódico "La Lucha", fuertes marejadas destruyeron el establo de la Jefatura de Sanidad y sufrieron daños de cierta consideración las casas y patios de la calle Costa, pero no se registraron desgracias personales. Azotó con gran intensidad a Islas Turcas (la ciudad de Grand Turk fue destruida) y Gran Inagua; los efectos del(ciclón se sintieron a lo largo de la costa norte de Cuba (se reporta que las marejadas en el litoral habanero no ocasionaron penetraciones en la zona del Malecón).

(3) El evento de noviembre 10/12 de 1909 corresponde también a la acción directa de un ciclón tropical denominado "Ciclón de Jamaica, Haití e Islas Turcas", catalogado como de moderada intensidad en la región oriental de Cuba (coincidente con la categoría dada por Rodríguez, 1989). Originado en el Mar Caribe, en la latitud 10°N, cruzó (según los boletines del Observatorio de Belén) al este cerca de Kingston con rumbo al primer cuadrante (Haití, Paso de los Vientos, Islas Turcas); la trayectoria de Neumann et al (1985) es dudosa porque está muy desplazada hacia el este (sobre República Dominicana). En Jamaica y Haití se registraron enormes daños materiales y víctimas; en Baracoa se consignaron vientos aciclonados y la invasión del mar. Este huracán, además de otros desastres marítimos, provocó el naufragio del buque cubano "María Herrera".

(4) El evento de octubre 4/8 de 1963 es el huracán "Flora", que penetró por la costa sur de la antigua provincia de Oriente, pasando al este cerca de la ciudad de Guantánamo. Originado en una zona del Océano Atlántico entre los paralelos 5° y 10° N, cruzó sobre el suroeste de Haití con gran intensidad. Según Ortiz (1980), el "Flora" es único en la historia de la climatología cubana, igualando en permanencia sobre una misma región al famoso y polémico "Ciclón de los Cinco Días" de octubre de 1910 en la región occidental de Cuba. Generó vientos máximos de unos 200 kilómetros por hora en Cabo Lucrecia (provincia de Holguín), lluvias torrenciales con acu-

mulados máximos de 735 mm en 24 horas y acumulados totales de hasta 1 600 mm durante su ciclo de influencia, así como penetraciones profundas del mar en zonas bajas de la costa que agravaron la situación creada por las catastróficas inundaciones. Se cataloga como de moderada intensidad en Cuba, donde ocasionó enormes pérdidas materiales y centenares de muertos.

2.2. Modelación estadística y cálculo de los periodos de retorno

En las siguientes tablas operativas, $f_o(k)$ es la frecuencia observada, $Pe(k)$ es la probabilidad estimada, $fe(k)$ es la frecuencia esperada, $Q(k)$ es la suma acumulada de las frecuencias esperadas y $T(k)$ es el periodo de retorno estimado (Sneyers, 1975).

La variable aleatoria X que cuenta el número de ciclones tropicales/año que azotaron a la zona de Baracoa (1871-1998) se distribuye según una ley de Poisson $P(x)$ de parámetro estimado $L = 64/128 = 0.5$ CT/año:

$$P(x) = \exp(-0.5) \times \frac{0.5^x}{x!} \quad \text{para } x = 0, 1, 2, \dots$$

Tabla 2. Cálculos para el ajuste de una ley de Poisson a la variable aleatoria X que cuenta el número de ciclones tropicales/año que azotaron a la zona de Baracoa (1871-1998).

k (clase)	$f_o(k)$	$Pe(k)$	$fe(k)$	$Q(k)$	$T(k)$
0 CT/año	75	0.6065	77.67	0.656	—
1 " "	45	0.3032	38.82	0.9097	2.54
2 " "	5	0.0758	9.7	0.9856	11.09
3 " "	3	0.0126	1.62	0.9982	69.51

El modelo $P(x)$ se ajusta con coeficientes de confianza de 90 y 95%.

La variable aleatoria Y que cuenta el número de huracanes/año que azotaron a la zona de Baracoa (1871-1998) se distribuye según una ley de Poisson $P(y)$ de parámetro estimado $L = 23/128 = 0.179688$ (0.2 H/año):

$$P(y) = \exp(-0.179688) \times \frac{0.179688^y}{y!} \quad \text{para } y = 0, 1, 2, \dots$$

Tabla 3. Cálculos para el ajuste de una ley de Poisson a la variable aleatoria discreta Y que cuenta el número de huracanes/año que azotaron a la zona de Baracoa (1871-1998).

k (clase)	$f_o(k)$	$Pe(k)$	$fe(k)$	$Q(k)$	$T(k)$
0 H/año	107	0.8355	106.95	0.8355	—
1 " "	19	0.1501	19.22	0.9856	6.07
2 " "	2	0.0134	1.7	0.9991	9.76

El modelo $P(y)$ se ajusta con coeficientes de confianza de 90 y 95%.

Los ciclones tropicales son fenómenos característicos que satisfacen los postulados del modelo de Poisson debido a la pequeña probabilidad de ocurrencia en series hiperanuales con un largo período observacional y a la independencia estocástica inherente en la evolución por temporadas.

2.3. Análisis de la tendencia y determinación de puntos de cambio significativos.

Una cuestión de actualidad y de interés específico relacionada con los cambios globales pronosticados está conformada por la determinación adecuada de tendencias y puntos de cambio sobre la base de series homogéneas de datos (variables meteorológicas y fenomenología) con un largo período observacional. El calentamiento global atribuido a la conocida concentración acelerada de los gases de efecto invernadero en la atmósfera puede provocar afectaciones socio-económicas notables en el futuro por la elevación del nivel del mar y el aumento en la ocurrencia de eventos extremos; en particular, se ha expresado el criterio de un posible aumento en la intensidad de los ciclones tropicales (Report of the Meeting on Archival Survey for Climate History, WMO/TD-No.372, 1990). Las diferentes metodologías para la detección de cambios climáticos han sido citadas por Cavadias (1992); Sneyers (1992) recomienda la utilización de las dójimas de Wald - Wolfowitz (análisis de la correlación de serie), Mann - Kendall (análisis de la tendencia en las formas directa e inversa) y Pettitt (ubicación cronológica de un punto de cambio).

En la figura 5 se dan los datos de frecuencias observadas de ciclones tropicales/año en Baracoa (1871-1998), los cuales presentan una tendencia decreciente bajo el 5 y 10% de nivel de significación, adquiriendo el estadígrafo de Mann - Kendall el valor global de $MK = -2.035008$.

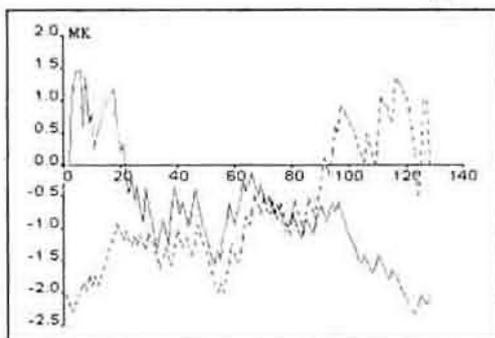


Fig. 5. Ciclones tropicales por año en Baracoa (1871 - 1998). Estadígrafo de Mann - Kendall.

Con respecto a estos datos, el estadígrafo de Pettitt alcanza el valor máximo absoluto de $P = 886$ en el año de 1936 (ver figura 6), pero no se tiene punto de cambio bajo el 5 y 10% de nivel de signifi-

cación, aunque es preciso señalar que el valor crítico calculado (0.107692) difiere poco del 10%. Sin embargo, suponiendo que durante el presente año (1999) no se presenten afectaciones por ciclones tropicales, se confirmaría la existencia de un punto de cambio bajo el 10% de nivel de significación en el año de 1936 en Baracoa, resultado que está en correspondencia con los datos: el período 1871-1936 (66 años) contiene el 68.8% del total de ciclones tropicales que azotaron a esta zona.

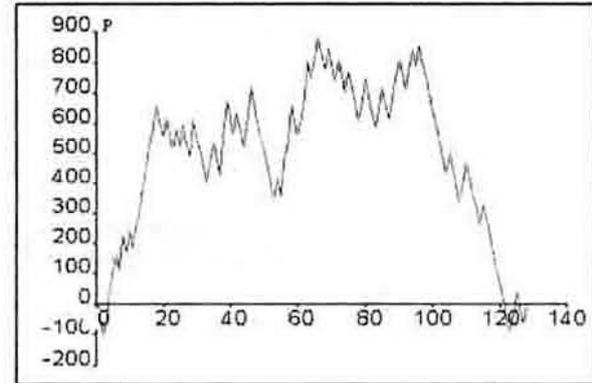


Fig. 6. Ciclones tropicales por año en Baracoa (1871 - 1998). Estadígrafo de Pettitt.

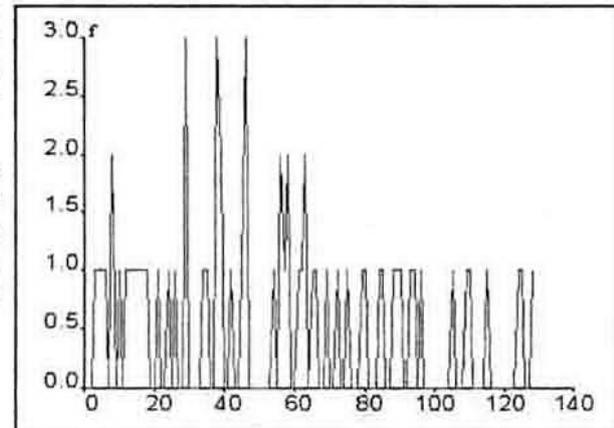


Fig. 7. Frecuencia observada anual de los ciclones tropicales en Baracoa (1871 - 1998).

Capítulo 3. Sistemas no tropicales y análisis de los eventos registrados durante los últimos 20 años en Baracoa.

3.1. Identificación de los sistemas no tropicales.

Los sistemas no tropicales son los que se generan fuera de la zona tropical como los anticiclones migratorios asociados a bajas extratropicales en las fronteras de las discontinuidades térmicas de los frentes fríos y calientes. Estos anticiclones continentales que se desplazan hacia el Océano Atlántico son bloqueados o retardados por otros sistemas oceánicos

en una latitud de hasta 30°N, estableciéndose un gradiente notable. En el área oceánica donde se entablan los vientos de región norte se constituye el área generadora de olas que se enmarca en una zona limitada por 25°-37°N y 70°- 75°W. La altura de la ola que se genera en esta área es proporcional al gradiente bórico, cuya magnitud origina afectaciones desde normales hasta notables en la zona bajo estudio.

Los anticiclones migratorios, principalmente los invernales, también producen afectaciones en Baracoa, en su salida al océano y con valores centrales entre 1038 y 1042 hPa en los casos observados. Los vientos fuertes en su periferia, de región este, pueden producir afectaciones notables dada su permanencia en el tiempo (desde 36 hasta 120 horas, según observaciones).

En este caso, el área generadora de las olas se puede enmarcar entre 20-22°N y 70-74°W, esta última limitada por el Banco Silver al norte de la República Dominicana y Puerto Rico.

Entre las dos áreas generadoras, la más peligrosa es la del Océano Atlántico debido a su gran extensión y la evolución de los sistemas (ver análisis del fetch en el Capítulo 1).

3.2. Penetraciones del mar e inundaciones costeras en el período 1979 - 1998.

La muestra extraída contiene diferentes situaciones meteorológicas que han dado lugar al fenómeno que nos ocupa, cuyas causas son las bajas extratropicales, los ciclones tropicales y los anticiclones.

Estos sistemas han intervenido en la ocurrencia de 12 casos de penetraciones del mar e inundaciones costeras de diferentes magnitudes en la ciudad de Baracoa. La muestra mencionada abarca un período de 20 años. Entre los fenómenos causantes se cuentan tres huracanes, cinco bajas extratropicales y cuatro anticiclones. En cuanto a la distribución de casos por meses, octubre acumula cinco casos y le siguen septiembre (dos), enero (dos), agosto (uno), noviembre (uno) y diciembre (uno) .

A continuación describiremos algunas situaciones que han producido inundaciones costeras en Baracoa por penetraciones del mar:

23 de septiembre de 1998 (1:00 PM): Huracán Georges en el Paso de los Vientos proveniente de Haití, que penetró por la zona de Imías, costa sur de la región oriental de Cuba, moviéndose hacia el oeste-noroeste. En este caso, el núcleo de olas de viento de su sector derecho delantero, con alturas máximas de 4.0 a 5.0 metros estaba incidiendo directamente sobre la costa de la ciudad de Baracoa,

aunque por corto tiempo dado su movimiento, por lo que se produjeron inundaciones ligeras a moderadas con afectaciones hasta la calle Maceo.

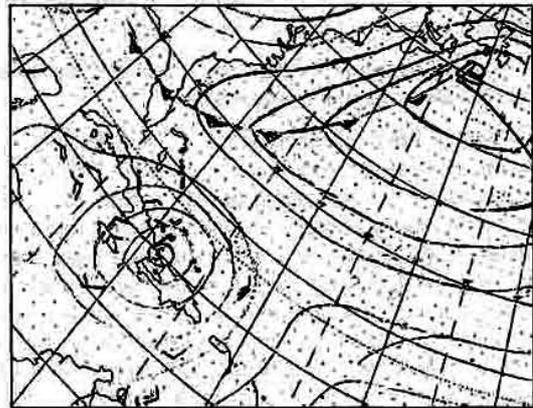


Fig.8. Situación meteorológica el 23 de septiembre de 1998, 7:00 AM.

3 de enero de 1998 (1:00 PM): Sistema frontal casi estacionario y en estado de disipación sobre la costa norte de la provincia Guantánamo en combinación con un potente anticiclón Invernal de 1034 hectopascal centrado al noreste de las Islas Azores; los vientos en la periferia de este anticiclón tenían un valor sostenido de 37 kilómetros por hora, del noreste, con un recorrido superior a los 900 kilómetros, aunque con persistencia reducida. Se generaron olas de viento de 3.0 - 4.0 metros que produjeron inundaciones costeras ligeras, las cuales alcanzaron la avenida contigua al malecón de Baracoa.

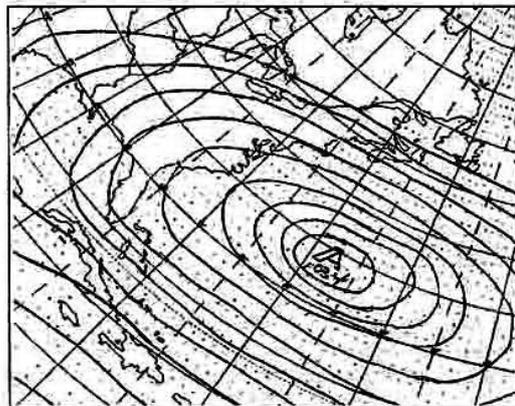


Fig.9. Situación meteorológica el 3 de enero de 1998, 1:00 PM.

3 de abril de 1997 (1:00 PM): Anticiclón invernal que se desplazó desde el sudeste de Estados Unidos hacia el Saco de Charleston con un valor de 1026 hectopascal y posteriormente interactuó con la baja extratropical de 982 hectopascal que le antecede-

dió, que se encontraba en las inmediaciones de la Isla de Norfolk. Todo este sistema se estaciona y establece vientos fuertes con dirección nortenordeste sobre el Océano Atlántico adyacente a la costa de Baracoa. El oleaje de viento llega a las costas de Baracoa con alturas de 3.0 metros, provocando que el mar salte sobre el muro del malecón, produciendo inundaciones ligeras.

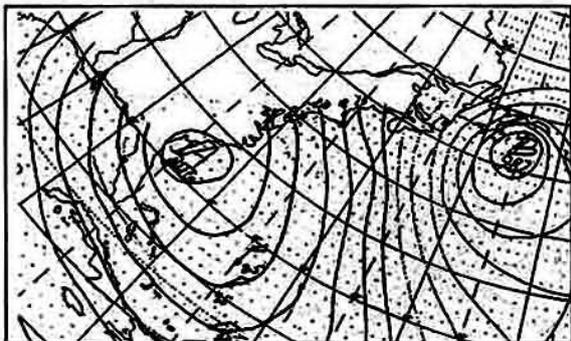


Fig.10. Situación meteorológica el 3 de abril de 1997, 1:00 PM.

17 de noviembre de 1996 (1:00 PM): Amplio anticiclón invernal con dos centros: uno sobre Canadá con 1034 hectopascal y otro sobre Estados Unidos con valor de 1038 hectopascal que interactuaron con una baja extratropical ocluida de 996 hectopascal. Se produjeron vientos entre 55 y 65 kilómetros por hora, de dirección norte sobre el Océano Atlántico adyacente a las Islas Bahamas con un recorrido de unos 1000 kilómetros y persistencia de 24 horas. Según reportes de los buques en el área, las alturas de las olas fueron de 3.0 - 4.0 metros por mar de leva cerca de las Islas Bahamas y de 8.0 metros por oleaje de viento en mar abierto. En la costa de Baracoa se reportaron olas de 2.5 - 3.5 metros, produciéndose inundaciones ligeras que alcanzaron la avenida contigua al malecón.

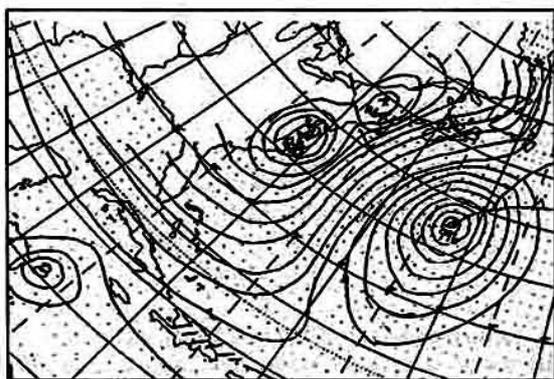


Fig.11. Situación meteorológica el 17 de noviembre de 1996, 1:00 PM

30 de agosto de 1996 (7:00 PM): Huracán Edouard a unos 300 kilómetros al noreste de las Islas Bahamas, realizando su recurva hacia el norte. El proceso de recurva de este huracán se produjo con lentitud, por lo que se estuvo produciendo vientos huracanados durante unas 36 horas, generándose mar de leva que se desplazó de dirección norte. La costa nororiental de Cuba estuvo afectada por mar de leva con alturas de 3.0 - 4.0 metros, produciéndose inundaciones ligeras en la ciudad de Baracoa e inundaciones moderadas en un asentamiento costero del municipio Gibara.

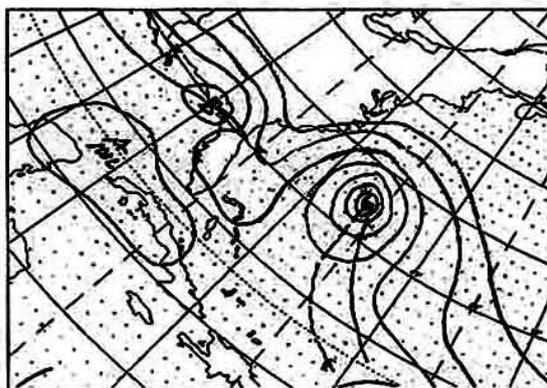


Fig.12. Situación meteorológica el 30 de agosto de 1996, 7:00 PM

7 de febrero de 1996 (7:00 PM): Baja extratropical de 1020 hectopascal que se generó en el seno de un sistema frontal, la cual interactuaba con un anticiclón invernal de 1036 hectopascal sobre el Saco de Charleston. El fuerte gradiente bórico entre el anticiclón y la baja extratropical fue la causa del incremento de la velocidad de los vientos, los cuales soplaron durante 18 horas sobre una carrera de 930 kilómetros. Las olas generadas se propagaron como mar de leva con alturas entre 3.0 y 3.5 metros hacia la región oriental de nuestro territorio, produciendo inundaciones costeras ligeras que ocuparon la avenida contigua al malecón.

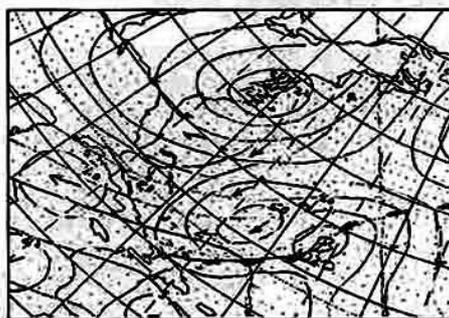


Fig.13. Situación meteorológica el 7 de febrero de 1996, 7:00 PM

18 de diciembre de 1994 (1:00 PM): Frente frío sobre la región oriental de Cuba, seguido de un amplio e intenso anticiclón continental que extendía sus isobaras sobre el Océano Atlántico, Islas Bahamas, Cuba, sur de Estados Unidos y Golfo de México. El oleaje generado en el Océano Atlántico atraviesa los profundos cañones submarinos entre las Islas Bahamas como mar de leva y llega a la costa de Baracoa con alturas de 2.5 - 3.5 metros durante la tarde y la noche, produciendo inundaciones ligeras en la zona del malecón. Durante 36 horas soplaron vientos sostenidos entre 28 y 38 kilómetros por hora al norte del grupo oriental de las Islas Bahamas.

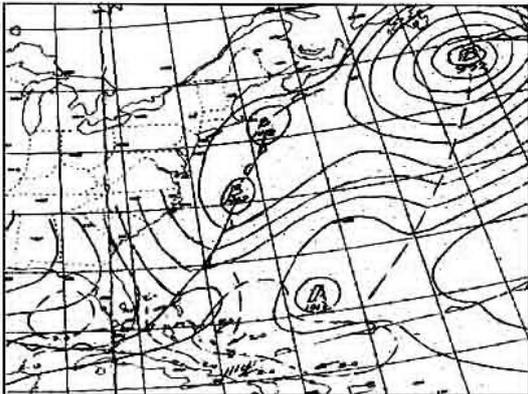


Fig. 14. Situación meteorológica el 18 de diciembre de 1994, 1:00 PM

17 de octubre de 1994 (7:00 AM): Centro anticiclónico invernal con valor de 1029 hectopascal sobre los Grandes Lagos afecta a Cuba luego del paso de un frente frío, la baja extratropical ocluida que se asocia al frente frío tiene valor de 992 hectopascal y una configuración alargada que da a sus isobaras una orientación norte - sur. El intenso gradiente de presión (37 hectopascal) produjo un incremento en la velocidad de los vientos, existiendo reportes de buques con rachas de 92 kilómetros por hora. Esta situación dura sólo 12 horas y las olas generadas en el océano arriban al litoral de Baracoa como mar de leva con alturas de 2.5 - 3.5 metros, produciendo inundaciones ligeras

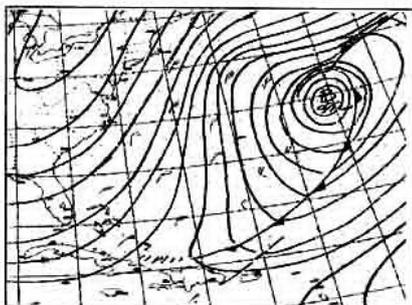


Fig. 15. Situación meteorológica el 17 de octubre de 1994, 7:00 AM

16 de marzo de 1993 (7:00 AM): Potente anticiclón invernal con valor de 1043 hectopascal, localizado al nortenordeste del Saco de Charleston con lento movimiento. Los vientos de 46 - 55 kilómetros por hora provenientes de la periferia de este anticiclón afectan toda la costa norte de la región oriental de Cuba durante dos días, generando oleaje de viento con alturas entre 3.5 y 4.0 metros y produciendo inundaciones moderadas en Baracoa.

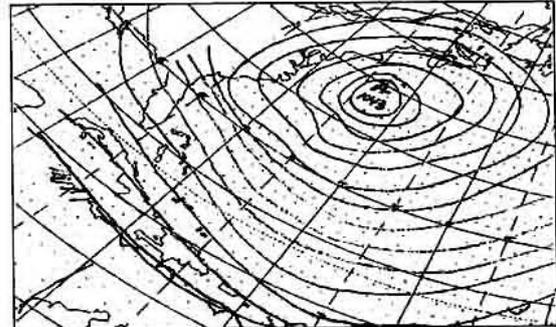


Fig. 16. Situación meteorológica el 16 de marzo de 1993, 7:00 AM.

31 de enero de 1988 (7:00 AM): Potente anticiclón de 1040 hectopascal en el Océano Atlántico en combinación con un frente casi estacionario sobre la región oriental de Cuba, que produjo vientos sostenidos de 46 kilómetros por hora durante 72 horas y generaron fuerte oleaje de viento con alturas de 3.0 - 4.0 metros. Como consecuencia, se produjeron inundaciones moderadas que llegaron hasta la calle Maceo y dificultaron el drenaje. Hubo daños en viviendas.

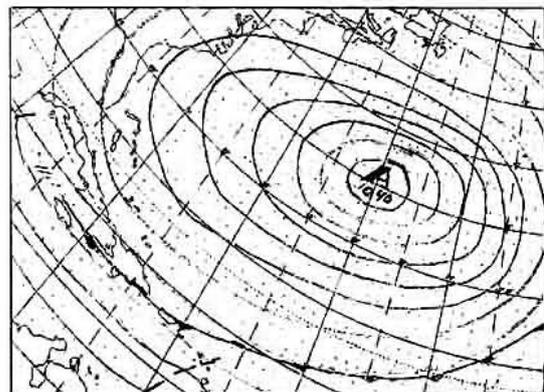


Fig. 17. Situación meteorológica el 31 de enero de 1988, 7:00 AM.

13 de octubre de 1982 (7:00 PM): Anticiclón continental potente sobre Norteamérica en combinación con una baja extratropical ocluida de 994 hectopascal en el Océano Atlántico con poco movimiento. La orientación de ambos sistemas es norte - sur, lo que

permite a los vientos tener un recorrido superior a los 1100 kilómetros; el gradiente de presión es intenso (26 hectopascal) por lo que se generaron vientos fuertes con 36 horas de persistencia. Las grandes olas producidas en el océano abierto se propagaron hacia la costa de Baracoa como mar de leva con alturas de 3.5 - 4.5 metros, incluso superiores, trayendo como consecuencia inundaciones fuertes alcanzando hasta la calle Máximo Gómez. Se reportaron daños en muchas viviendas.

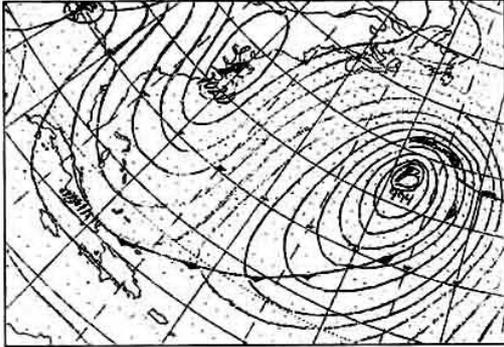


Fig. 18. Situación meteorológica el 13 de octubre de 1982, 7:00 PM

1 de septiembre de 1979: Huracán David al sur de la región oriental de Cuba desplazándose al oeste. Su posición propició que el radio de los vientos máximos afectara a la ciudad de Baracoa, generando oleaje de viento con alturas de 2.5 - 3.5 metros y produciendo inundaciones ligeras que alcanzaron la calle Maceo y provocaron daños parciales en viviendas.

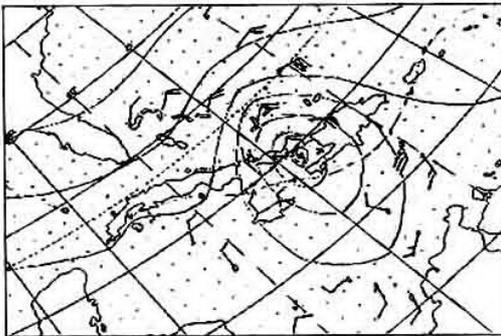


Fig. 19. Situación meteorológica el 1 de septiembre de 1979.

La persistencia del fenómeno meteorológico que da lugar a una inundación costera influye en la magnitud de la misma. Obsérvese el caso del huracán Georges, cuyo desplazamiento hacia el oestenoeste hizo que sus vientos huracanados no persistieran por más de 8 horas sobre Baracoa.

Conclusiones

En Baracoa, el mes de mayor probabilidad de afectación por ciclones tropicales y, en particular, por huracanes de moderada intensidad es septiembre, característica que difiere del comportamiento en la región occidental de Cuba donde el mes de octubre es el de mayor frecuencia de ocurrencia de ciclones tropicales y el de mayor peligrosidad en relación con los huracanes intensos.

De acuerdo al modelo ajustado, la probabilidad de ocurrencia de (al menos) un huracán es pequeña (16.3%) y el período de retorno correspondiente es de 6.1 años (como promedio), pero se presenta un desplazamiento notable en la distribución hiperanual debido a que la mayoría de los huracanes se concentran en un subperíodo 1871-1912. En 128 años, la zona de Baracoa ha sido azotada por 15 huracanes de categoría 1 (SS1) y 8 huracanes de categoría 2 (SS2).

Se considera que en esta ciudad del extremo oriental del país, desde que se tienen noticias, el fenómeno que produjo la mayor y más destructora inundación por penetraciones del mar no fue precisamente la acción directa de un ciclón tropical, estimándose que el evento de diciembre 1 al 5 de 1887 (catalogado como "Ciclón en Baracoa" con fecha diferida) se generó por la influencia anticiclónica con brisotes extraordinarios, precedido secuencialmente por un huracán que describió lentamente una trayectoria irregular sobre Bahamas en los últimos días del mes de noviembre.

De esta manera, teniendo en cuenta la información histórica disponible desde el siglo pasado y la información más reciente y detallada sobre las causas de las penetraciones del mar en Baracoa resulta de interés específico (además de los ciclones tropicales), la acción de las altas presiones (conjuntamente o no con bajas extratropicales) que, según su ubicación e intensidad, pueden provocar vientos muy fuertes y marejadas notables en zonas costeras de la provincia de Guantánamo y, particularmente en el litoral de la ciudad de Baracoa.

El resultado más importante de este trabajo que se logra identificar los fenómenos peligrosos más notables en la ocurrencia de los eventos de inundaciones costeras por penetraciones del mar, que son los anticiclones intensos, los ciclones tropicales de lento movimiento cerca de la costa de provincia Guantánamo y las bajas extratropicales en combinación con fuertes anticiclones migratorios en la costa oriental de Norteamérica que producen intensos gradientes de presión, y en consecuencia, fuertes vientos y gran área de generación de olas.

El estudio realizado y los resultados logrados en los mismos son compatibles con los fenómenos que se pueden producir en la mesoescala γ . Las condiciones locales impuestas por la existencia de dos cañones profundos dirigidos hacia Baracoa con orientación de nortenordeste a sursuroeste, acentúan las manifestaciones del fenómeno descrito con respecto a las áreas litorales adyacentes.

Recomendaciones

En primera instancia, es recomendable no considerar con carácter determinante para un futuro inmediato el resultado del decrecimiento secular significativo de la tendencia en la ocurrencia de ciclones tropicales y el hecho de que en un período de casi 200 años la zona de Baracoa no haya sido afectada por un huracán de gran intensidad. Se debe prestar una atención especial (vigilancia y pronóstico) a otros eventos migratorios que no son de carácter tropical y que, con cierta frecuencia, pueden provocar penetraciones del mar e inundaciones costeras con afectaciones socioeconómicas notables. Las incertidumbres existentes sobre el comportamiento del sistema atmosférico global en el futuro y sus consecuencias implican la necesidad de continuar el proceso de profundización en el estudio sobre variabilidad, tendencias y fenomenología de los datos.

Bibliografía

- Cavadas, G.S. (1992):** A survey of current approaches to modelling of hydrological time-series with respect to climate variability and change. WCASP-23, WMO/TD-No.534. 37 págs.
- Fernández de Castro, M. (1871):** Estudio sobre los huracanes en la Isla de Cuba. Imprenta de J.M. Lapuente, Madrid. 288 págs.
- Garriott, E.B. (1900):** West Indian Hurricanes. U.S. Department of Agriculture. W.B. No.232. Bulletin H. 69 págs.
- Gutiérrez Lanza M.S.J. M. (1934):** Ciclones que han pasado por la Isla de Cuba, o tan cerca que hayan hecho sentir en ella sus efectos con alguna fuerza desde 1865 a 1933. Cultural, S.A., Habana. 23 págs.
- Hernández, N., Casals, R. y Pérez, P.J. (1998):** Situaciones meteorológicas que han producido marejadas fuertes e inundaciones costeras en la ciudad de Baracoa. Departamento de Meteorología Marina. Instituto de Meteorología, CITMA. 11 págs.
- Millás, J.C. (1923):** Huracanes que han afectado a Cuba desde 1494 al 1856. Boletín del Observatorio Nacional, Secretaría de Agricultura, Comercio y Trabajo. Vol.XIX, No.1.
- Neumann, Ch.J., Cry, G.W., Caso, E.L. y Jarvinen, B.R. (1985):** Tropical cyclones of the North Atlantic Ocean, 1871-1980 (updated through 1984). NOAA, U.S. Department of Commerce. 174 págs.
- Ortiz, R. (1973):** Trayectorias de huracanes y de perturbaciones ciclónicas del Océano Atlántico, del Mar Caribe y del Golfo de México (1919-1969). Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba. 106 págs.
- Ortiz, R. (1975):** Organismos ciclónicos tropicales extemporáneos. Serie meteorológica No.5. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba. 99 págs.
- Ortiz, R. (1980):** Descripción de los cinco huracanes mas interesantes que han afectado a Cuba durante los últimos cincuenta y cuatro años. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba. 10 págs.
- Ostle, B. (1979):** Estadística Aplicada. Editorial Científico-Técnica, La Habana. 629 págs.
- Rodríguez, M. (1978):** Cronología clasificada de los huracanes que han azotado a Cuba desde 1800 hasta 1975 (176 años). Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba. 7 págs.
- Rodríguez, M. (1989):** Cronología clasificada (por intensidades y provincias) de los huracanes que han afectado a Cuba desde el Descubrimiento hasta 1988. Laboratorio Conjunto Cubano-Soviético de Meteorología Tropical, Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba. 9 págs.
- Rodríguez, M. González, C. y Valdés, J. (1984):** Cronología de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde la temporada de 1916-1917 hasta la de 1982-1983 (67 temporadas). Reporte de Investigación No.9. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba. 10 págs.
- Sneyers, R. (1975):** Sur l'analyse statistique des series d'observations. Note Technique No.143. OMM-No.15. 189 págs.
- Sneyers, R. (1992):** On the use of statistical analysis for the objective determination of climate change. Meteorol. Zeitschrift, N.F.1. pág. 247-256.
- Tannehill, I.I. (1945):** Hurricanes. Their nature and history. Princeton University Press, N.J. 275 págs.
- Vega, R., Nieves, M.E., Sardiñas, M.E. y Centella, A. (1990):** Análisis estadístico - climatológico del régimen de la velocidad máxima del viento en(Cuba. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba. 65 pág.

Palabras clave:

inundación costera, climatología, ciclones tropicales