Patrones sinópticos que generan lluvias intensas capaces de producir inundaciones en el municipio de Baracoa

Synoptic patterns linked to heavy rain triggered floods in Baracoa municipality

MSc. Arisleidys Peña de la Cruz | *aris.delacruz@gtm.insmet.cu* | Centro Meteorológico Provincial de Guantánamo
Dr.C. Aldo S. Moya Álvarez | *aldo.moya@vcl.insmet.cu* | Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara
Dr.C. Ricardo Delgado Téllez | *richard@orgmon.gtmo.inf.cu* | Órgano de Atención Integral a las Montañas Nipe-Sagua-Baracoa
Lic. Camilo Hernández Quíala | *camilo.hernández@gtm.insmet.cu* | Centro Meteorológico Provincial de Guantánamo
Lic. Akira Machado Fuentes | *akira.machado@gtm.insmet.cu* | Centro Meteorológico Provincial de Guantánamo
MSc. Enrique Perigó Roman | *enrique.perigo@gtm.insmet.cu* | Centro Meteorológico Provincial de Guantánamo
Lic. Liena Beltrán Vicente | *liena.beltran@gtm.insmet.cu* | Centro Meteorológico Provincial de Guantánamo

Recibido: 5 de agosto, 2013: aceptado 28 de octubre,2013. pp. 113 – 126.

Resumen

Con el objetivo de elevar la calidad de los pronósticos de lluvias intensas e inundaciones en el municipio de Baracoa, en el presente trabajo se realiza un estudio de la distribución espacio-temporal de las lluvias que producen inundaciones por el desbordamiento de los ríos. Para ello, se definieron los patrones sinópticos que generan esas precipitaciones y se establecieron los patrones medios de los días en que estas ocurrieron para cada mes del año. La primera parte se llevó a cabo con ayuda de datos pluviométricos de la estación de Baracoa y de once pluviómetros de la Red Básica del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, ubicados en igual número de localidades. La segunda tarea se desarrolló mediante el empleo de las series del archivo mundial de datos del National Center of Environmental Prediction y National Center of Atmospheric Research (NCEP-NCAR) en forma de matriz, limitada horizontalmente entre los 95° y 60° W y los 10° y 40° N, en el período comprendido entre 1987 y 2011 para las 12 UTC. Con vistas a determinar los patrones medios de desarrolló un programa computacional en leguaje C++ y se empleó la media aritmética simple para cada nodo de la malla seleccionada. Las conclusiones principales reflejan que las lluvias intensas en Baracoa tienen lugar, fundamentalmente, en los meses del período de transición de la época lluviosa a la poco lluviosa, y viceversa, y que los patrones sinópticos asociados a estas se vinculan con la presencia de hondonadas frontales en la región.

Palabras clave: Patrones sinópticos, lluvias intensas, inundaciones por desbordamiento de rios, hondonadas frontales, Baracoa.

Abstract

In order to improve the quality of forecasts of heavy rains and flooding in Baracoa, current work performed a study of the spatial and temporal distribution of rainfall produced flooding from overflowing rivers. Synoptic patterns that generate these rainfall were defined and were established means patterns of days when they occurred for each month of the year. The first part was conducted using rainfall data station Baracoa and 11 rain gauges of the Basic Network of the National Institute of Hydraulic Resources, located in as many locations. The second task was

developed by using the series of global data archive National Center of Environmental Prediction and National Center of Atmospheric Research (NCEP-NCAR) as a limited array horizontally between 95 and 60 degrees west longitude and between 10 and 40 degrees north latitude, in the period between 1987 and 2011 for the period 12 UTC. To determine the patterns means a computer program developed in C ++ language and used the simple arithmetic average for each node of the selected mesh. The main findings show that heavy rains in Baracoa occur mainly in the months of the transition period from the rainy to the dry season and vice versa, and that the synoptic patterns associated with them are associated with the presence of frontal depressions in the region.

Keywords: Synoptic patterns, heavy rains, rainfall, rivers overflow, frontal depressions, Baracoa.

Introducción

El análisis de patrones sinópticos asociados a lluvias intensas y su relación con los estados del tiempo en Cuba tienen sus antecedentes principales en los trabajos de Lapinell (1988) y Fernández y Díaz (2005). En el primer caso, el trabajo estuvo dirigido a definir las relaciones entre los patrones sinópticos y las lluvias en Cuba; Fernández y Díaz, por su parte, elaboraron de forma objetiva un catálogo de situaciones sinópticas para Cuba, empleando datos sinópticos del período 1979-1993. Recientemente, Orbe (2009) trabajó sobre el reconocimiento de patrones sinópticos que provocan eventos de lluvias intensas en la mitad occidental de Cuba, entre los cuales destacó la presencia de ciclones tropicales como uno de los patrones desencadenantes de estos eventos.

El noreste del macizo Nipe-Sagua-Baracoa es la región más lluviosa de Cuba (Rodríguez F. F., 2006); por ello, es relevante la realización de estudios que mejoren el pronóstico de ocurrencia de lluvias intensas desencadenantes de peligro por desbordamiento de cuencas hidrográficas, fundamentalmente, para las zonas más densamente pobladas o zonas urbanas.

En el municipio de Baracoa, perteneciente a la provincia de Guantánamo, a menudo, se producen eventos lluviosos que, en no pocas ocasiones, conducen a registros de lluvias superiores a 100 mm en diferentes localidades del territorio. Estas lluvias son potenciales desencadenantes de desbordamientos de los cuatro ríos (Fig. 1) que inundan la zona urbana de este municipio.

El municipio abarca una extensión territorial de 976,6 km^2, con 95 % de áreas montañosas en las cuales predominan las pendientes mayores de 15 %, y alturas que oscilan entre la cota cero y más de 700 m sobre el nivel del mar (msnm). Baracoa posee 15 consejos populares (CP); entre estos pueden mencionarse los de características urbanas: El Turey, La Playa, La Asunción, La Reforma y Cabacú. La población total del área estudiada es de 32 683 habitantes, o sea, 39.7 % del total de habitantes del municipio (ONE: *Datos preliminares del censo de población y vivienda 2012*).

El presente trabajo tiene como objetivo general elevar el conocimiento sobre las lluvias intensas en Baracoa, sus consecuencias y los procesos sinópticos que las originan, con la finalidad de mejorar los pronósticos de precipitaciones para esta zona de la provincia. A partir de aquí, se plantean como objetivos específicos los siguientes: a) conocer la distribución espacio-temporal de las lluvias en el territorio, en particular, de aquellas capaces de desencadenar inundaciones por el desbordamiento de los ríos; y b) definir los patrones sinópticos que provocan estas precipitaciones.

Materiales y métodos

La base de datos pluviométricos empleada en la investigación cuenta con los registros de lluvias en 24 h (serie 1987-2011) de la estación meteorológica 78356 (Jamal) y los once pluviómetros de la Red Básica del

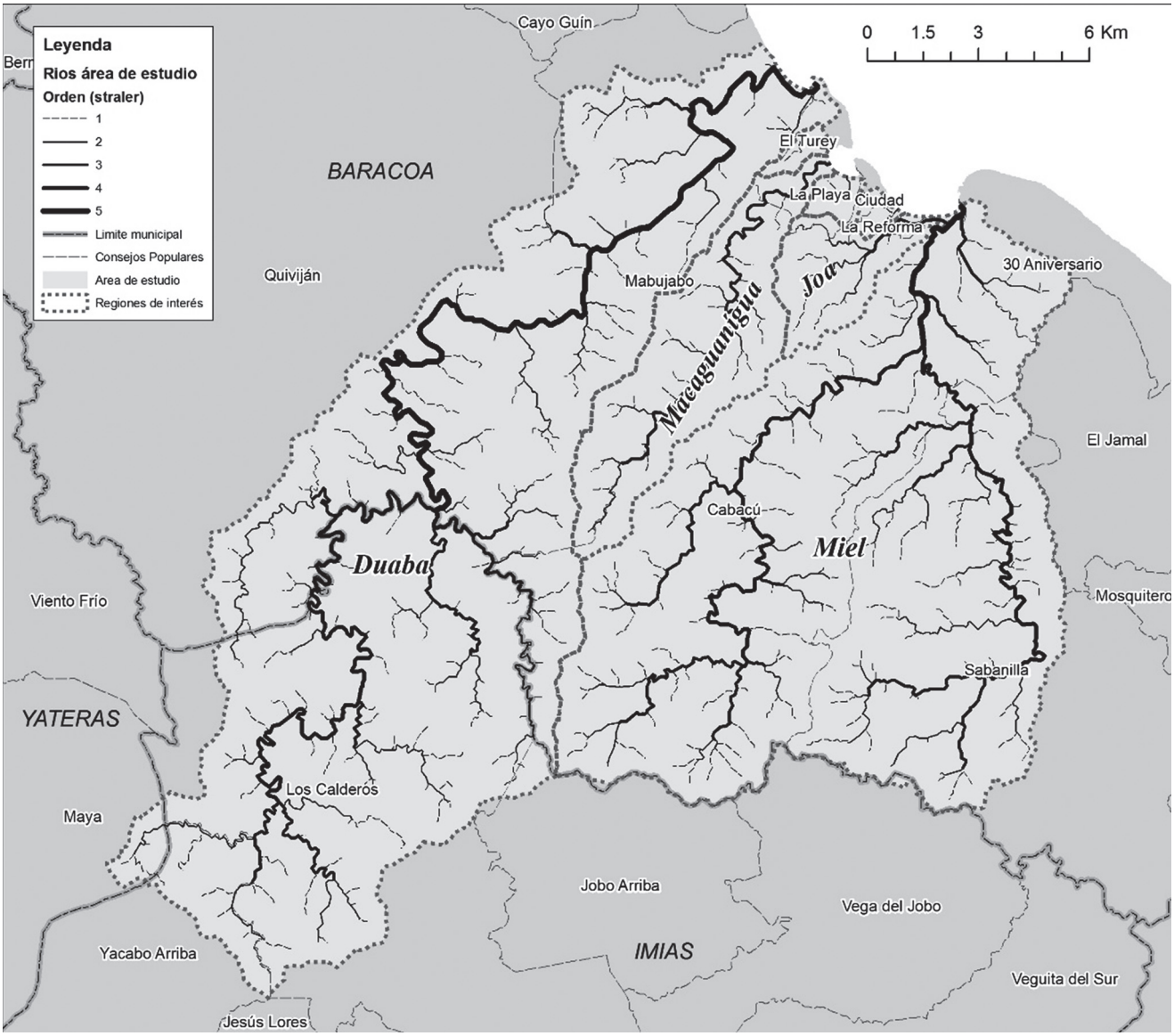

Fig. 1 Cuencas hidrográficas que inundan la zona urbana del municipio de Baracoa, Guantánamo.

Instituto de Recursos Hidráulicos (INRH). Se han extraído 347 casos en los que ocurrieron lluvias intensas, según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), y acumulados superiores a 100 mm en 24 h, al menos, en una localidad del área de estudio.

Para definir los patrones sinópticos que producen lluvias intensas, específicamente, en el municipio de Baracoa, se emplearon las series del archivo mundial de datos del National Center of Environmental prediction y National Center of Atmospheric. Research (NCEP-NCAR) en forma de una matriz limitada horizontalmente entre los 95° y 60° W y los 10° y 40° N, en el período comprendido entre 1987 y 2011. Esta base de datos está disponible en el sitio de Internet http://nomad1.ncep.noaa.gov/cgi-bin/var/g2subset_cfsr_monl_pgb.pl.

Se escogieron los campos de presión al nivel medio del mar (en adelante, "superficie") y de alturas de geopotencial en 850 hPa, 700 hPa y 500 hPa. Para determinar los patrones medios se desarrolló un programa computacional en lenguaje C++ y se empleó la media aritmética simple para cada nodo de la malla

seleccionada. Con vistas a obtener la frecuencia de ocurrencia de eventos por meses se utilizó el programa Microsoft Excel 2003.

Los datos se encuentran en formato GRIB, por lo que para su descodificación se empleó el programa wgrib2.exe, programado en lenguaje computacional C++ y compilado para Windows. Los trabajos gráficos (mapas) se realizaron con el software Golde Surfer 9.

Resultados y discusión

Los resultados alcanzados han puesto en evidencia el hecho de que estas lluvias ocurren con mayor frecuencia en los períodos correspondientes al comienzo y el final del período poco lluvioso del año (*períodos de transición*), aunque pueden ocurrir en otros momentos.

El histograma de la figura 2, construido a partir de la serie histórica tomada para el estudio, muestra la frecuencia de ocurrencia de estos eventos por meses. Puede apreciarse que existen dos picos de máxima frecuencia: uno en mayo, y otro en octubre y noviembre.

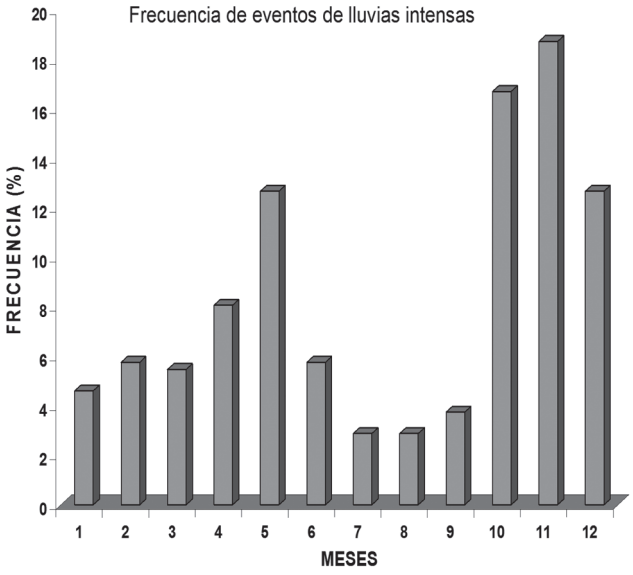

Fig. 2 Histograma de frecuencia de ocurrencia para eventos de lluvias intensas por meses.

Por lo general, los frentes fríos en esta época del año llegan a la región en estado de disipación o disipados y, a menudo, se mantienen casi estacionarios durante varios días. Como parte del proceso, las lluvias generadas suelen ser arrastradas tierra adentro por el flujo anticiclónico desbordado, que recibe una componente adicional de carácter orográfico de acuerdo con la compleja topografía del lugar.

De la serie analizada (1987–2011), y de los 347 casos de lluvias potenciales producentes de inundaciones, se seleccionaron nueve casos para mostrar los procesos sinópticos que los originaron; el criterio de selección tuvo en cuenta la intensidad del proceso, es decir, las mayores áreas afectadas y los mayores acumulados registrados.

Caso I

La figura 3 muestra los campos de presión al nivel medio del mar y los de geopotencial en 850 hPa, 700 hPa y 500 hPa el día 11 de noviembre de 1991, cuando se registraron lluvias superiores a 100 mm en 24 h en las localidades de La Planta, Paso de Toa, Palma Clara, Mosquitero, Camarones, Duaba y Aguacate. En Paso de Toa, el acumulado superó 300 mm en 24 h. Se aprecia una hondonada en superficie al este de la región oriental de Cuba, con una vaguada en 850 hPa sobre esta parte del país. En 700 hPa, una onda corta extiende su eje sobre la misma zona; y en 500 hPa, otra onda corta se localiza sobre las Bahamas hasta La Española. Este patrón sinóptico generó gran inestabilidad sobre la región de estudio.

Caso II

La figura 4 muestra el caso del 24 de abril de 1993. Ese día se registraron lluvias por encima de 100 mm en las localidades de La Planta, Paso del Toa, Mosquitero, Camarones y Duaba (en estas tres últimas, por encima de 200 mm). En este caso, una hondonada frontal en superficie se extendía sobre La Española; y en 850 hPa, la onda se encontraba sobre la región oriental de Cuba.

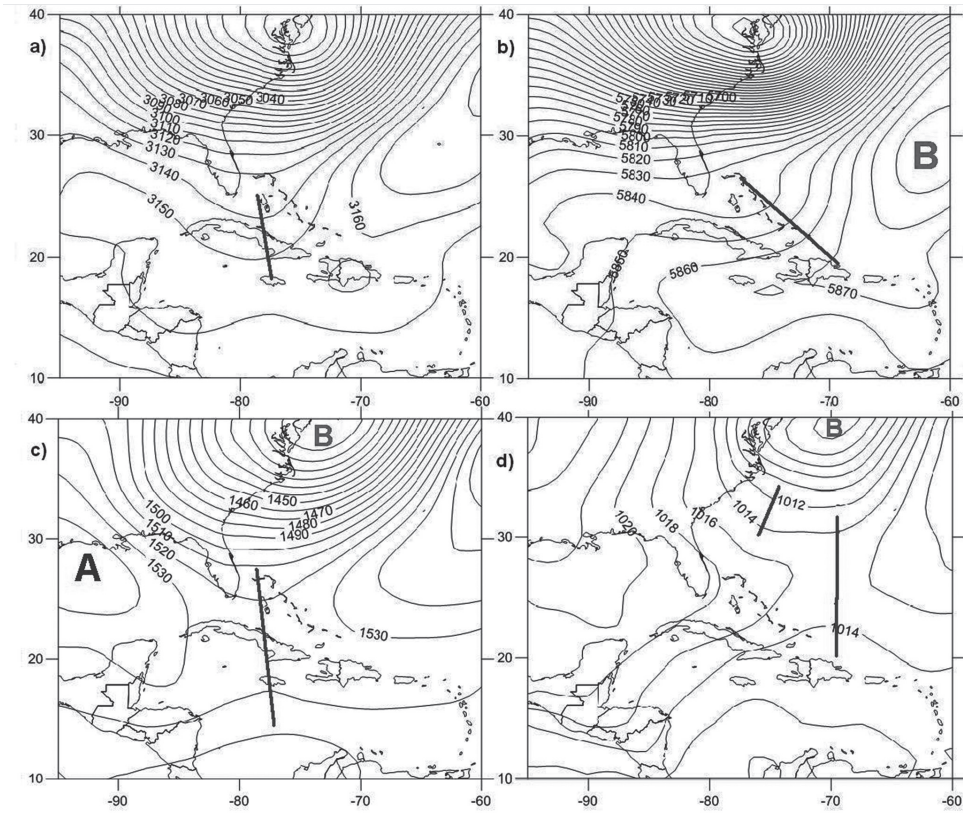

Fig. 3 Patrón sinóptico en superficie (d), 850 hPa (c), 700 hPa (a) y 500 hPa (b), a las 12 UTC del 11 de noviembre de 1991.

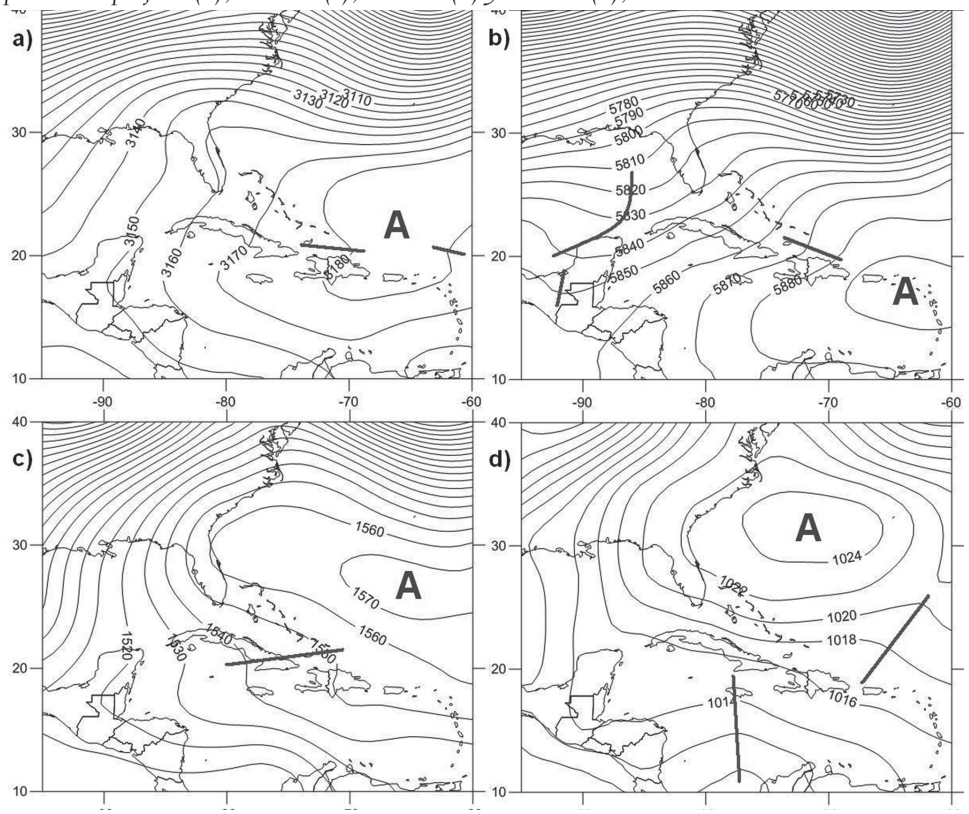

Fig. 4 Patrón sinóptico en superficie (d), 850 hPa (c), 700 hPa (a) y 500 hPa (b), a las 12 UTC del 24 de abril de 1993.

En 700 hPa y 500 hPa, una onda corta profunda sobre el Golfo de México garantizaba un flujo del tercer cuadrante (sur al suroeste) sobre la zona.

Caso III

La figura 5 refleja el patrón sinóptico correspondiente al 7 de diciembre de 1987. Las lluvias fueron significativas en las localidades de Paso de Toa, Navas, Camarones y Duaba. Bajo esta situación sinóptica, Navas y Camarones reportaron precipitaciones por encima de 500 mm, mientras que Paso de Toa reportaba lluvias superiores a 400 mm.

En este caso, una onda se reflejaba en los niveles bajos y en superficie sobre el Caribe, a la vez que al este de la región oriental se extendía otra onda poco profunda. En 700 hPa, una onda corta en los "oestes" sobre el Golfo de México se extiende hasta la región occidental de Cuba; y en 500 hPa, otra onda corta profunda se sitúa al sur de la región central. Esta situación imponía un flujo del suroeste y el sur, respectivamente, sobre la región oriental de Cuba.

Caso IV

La figura 6 presenta el caso correspondiente al 24 de octubre de 1999. Se aprecia claramente la vaguada frontal extendida sobre el extremo este de Cuba. En 850 hPa, la vaguada en los oestes también ubica su eje sobre la parte más oriental del país; en 700 hPa, esta se localizaba más retrasada sobre el occidente de Cuba y el sureste del Golfo de México, al igual que en 500 hPa, pero esta última más amortiguada. Este día se produjeron precipitaciones por encima de 100 mm en Mosquitero, Camarones, Aguacate y en la estación 356 de Baracoa, donde se registró un acumulado de 233.7 mm.

Caso V

El 8 de octubre de 1990, la combinación de un sistema de bajas presiones ubicado sobre La Española en

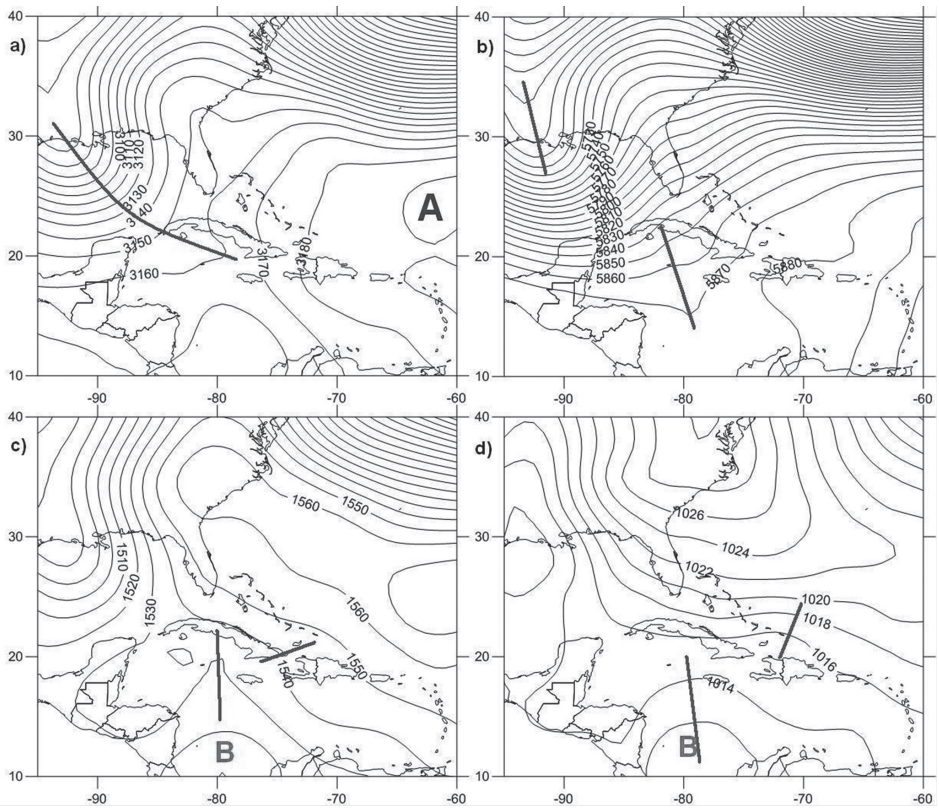

Fig. 5 Patrón sinóptico en superficie (d), 850 hPa (c), 700 hPa (a) y 500 hPa (b), a las 12 UTC del 7 de diciembre de 1987.

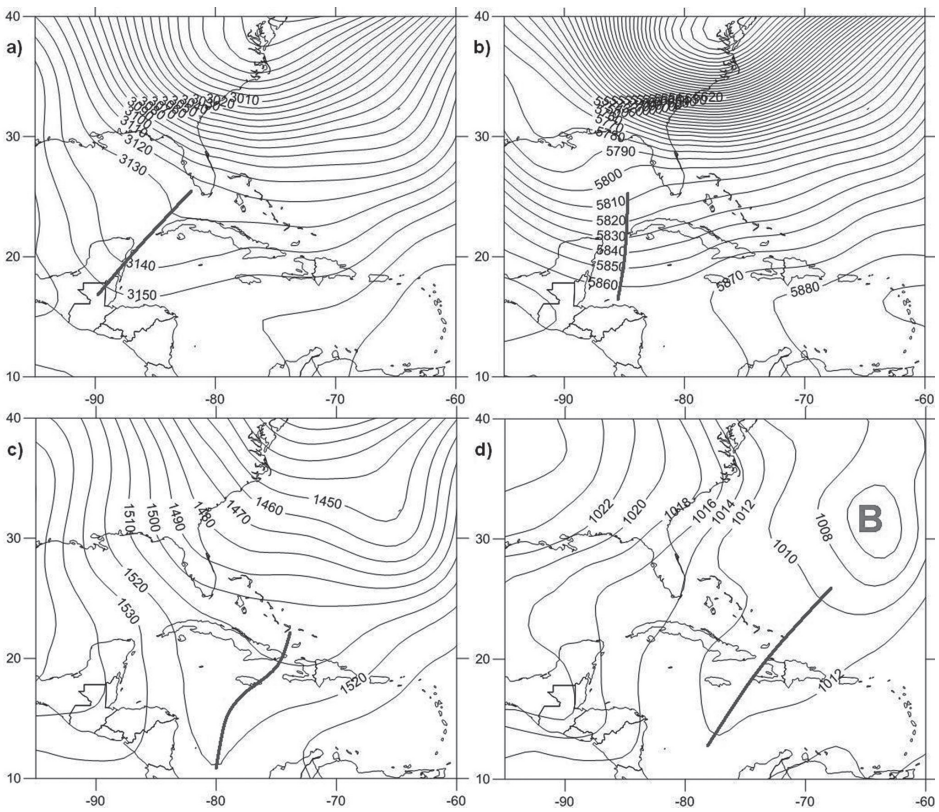

Fig. 6 Patrón sinóptico en superficie (d), 850 hPa (c), 700 hPa (a) y 500 hPa (b), a las 12 UTC del 24 de octubre de 1999.

todos los niveles y el anticiclón continental, con su centro localizado en el sureste de los Estados Unidos (en 500 hPa) y en el Atlántico occidental para el resto de los niveles, provocó gradientes de presión fuertes sobre la zona de interés (Fig. 7). Este día, los pluviómetros de la finca Batea y de Aguacate registraron precipitaciones por encima de 100 mm; sin embargo, no se reportaron acumulados de esta magnitud en otras localidades.

Caso VI

Resulta de interés el evento del 11 de mayo de 2001 (Fig. 8), en el cual se registraron lluvias significativas en varias localidades, como Mosquitero, Camarones, Aguacate y la estación meteorológica de Baracoa. En Camarones, el acumulado superó 300 mm. Este es el caso típico de una hondonada en superficie sobre la región oriental del país en los niveles bajos, combinada con un centro anticiclónico que está saliendo al Atlántico por el Saco de Charleston, y un flujo de aire húmedo y cálido en los niveles medios, procedente del mar Caribe, condicionado por la presencia de una onda corta en 500 hPa y una vaguada invertida en 700 h Pa sobre el sureste del Golfo de México.

Caso VII

El 13 de mayo de 2005 (Fig. 9) también el patrón sinóptico resultaba en extremo inestable y las lluvias reportadas desde las localidades de Camarones y Aguacate fueron superiores a 150 mm y 200 mm, respectivamente. Ese día, una hondonada en superficie se reflejaba en el aire superior hasta 700 hPa, con su eje sobre la parte oriental del país, a la vez que, en 500 hPa, una baja de corte se ubicaba sobre las Bahamas centrales e influía sobre las provincias del este de Cuba. En todos los niveles, el anticiclón continental ubicaba su centro en el sureste de los Estados Unidos.

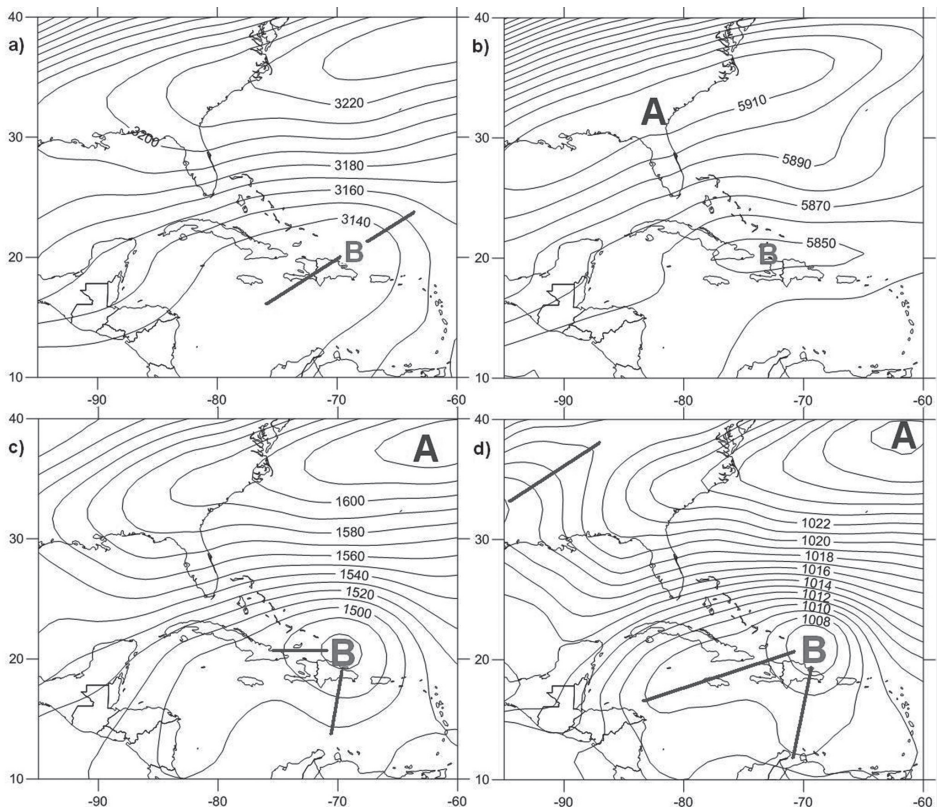

Fig. 7 Patrón sinóptico en superficie (d), 850 hPa (c), 700 hPa (a) y 500 hPa (b), a las 12 UTC del 8 de octubre de 1990.

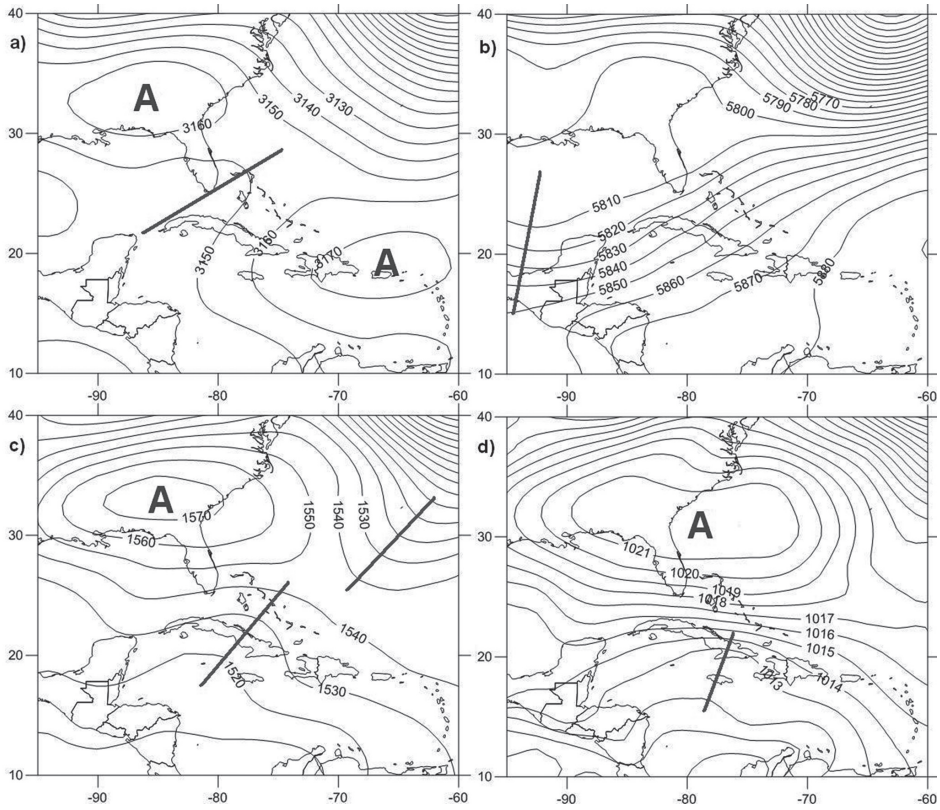

Fig. 8 Patrón sinóptico en superficie (d), 850 hPa (c), 700 hPa (a) y 500 hPa (b), a las 12 UTC del 11 de mayo de 2001.

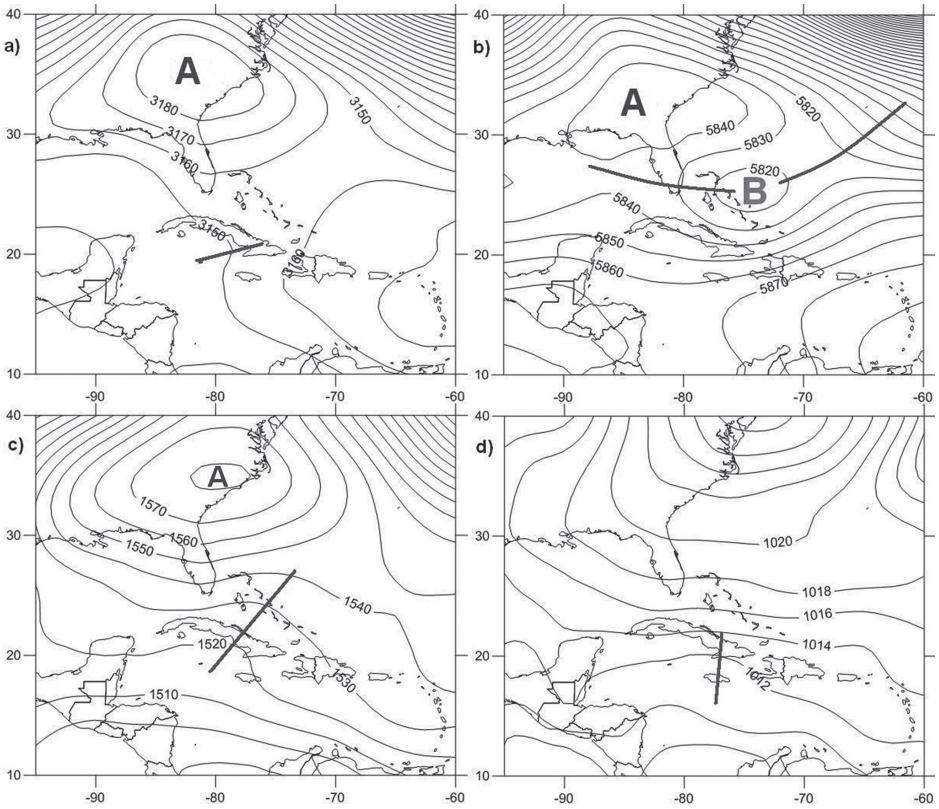

Fig. 9 Patrón sinóptico en superficie (d), 850 hPa (c), 700 hPa (a) y 500 hPa (b), a las 12 UTC del 13 de mayo de 2005.

Caso VIII

De interés especial resulta el caso del 25 de octubre de 2005. La figura 10 muestra el patrón sinóptico correspondiente a esa fecha y se aprecia una vaguada pronunciada sobre la parte más oriental de Cuba en superficie, y en 850 hPa y 700 hPa, una vaguada muy profunda sobre la zona centro-occidental del archipiélago cubano. En 500 hPa, la onda larga se encuentra más retrasada sobre el Golfo de México pero, igualmente, todo el patrón en su conjunto determinará las condiciones meteorológicas sobre la parte más oriental del país. La presencia de esta onda larga en todos los niveles garantiza una zona de convergencia fuerte sobre su sector derecho, que abarca, prácticamente, toda la mitad oriental de Cuba. Los acumulados más significativos tuvieron lugar en Aguacate y la estación meteorológica de Baracoa, con 114.5 mm y 150 mm, respectivamente.

Caso IX

El 26 de diciembre del año 2000 (Fig. 11) otro evento de lluvias intensas ocurrió en Baracoa; en este caso, los acumulados más importantes se registraron en las localidades de Mosquitero, Camarones y la estación meteorológica ubicada en ese municipio. Ese día, el patrón sinóptico correspondiente a las 12 UTC mostraba una hondonada frontal con su eje al este de la región oriental de Cuba en superficie y en 850 hPa. Esta situación se combinó con la salida al Atlántico de un poderoso anticiclón de 1 036 hPa por las inmediaciones de Cabo Hateras, que extiendió sus isobaras sobre el país e impuso un flujo de aire del primer cuadrante. En 700 hPa y 500 hPa no se apreció ningún evento significativo.

En el histograma de frecuencia de la figura 11 se aprecia que los meses en que más casos de lluvias intensas se registraron fueron noviembre, octubre, mayo y diciembre, por ese orden. En noviembre, 65

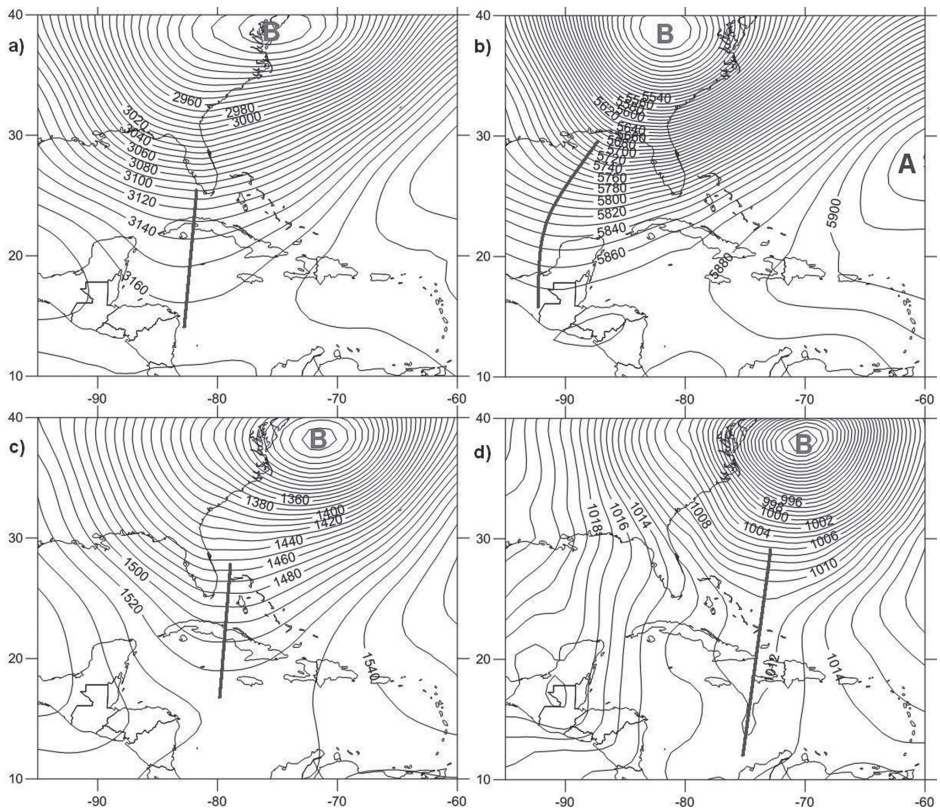

Fig. 10 Patrón sinóptico en superficie (d), 850 hPa (c), 700 hPa (a) y 500 hPa (b), a las 12 UTC del 25 de octubre de 2005.

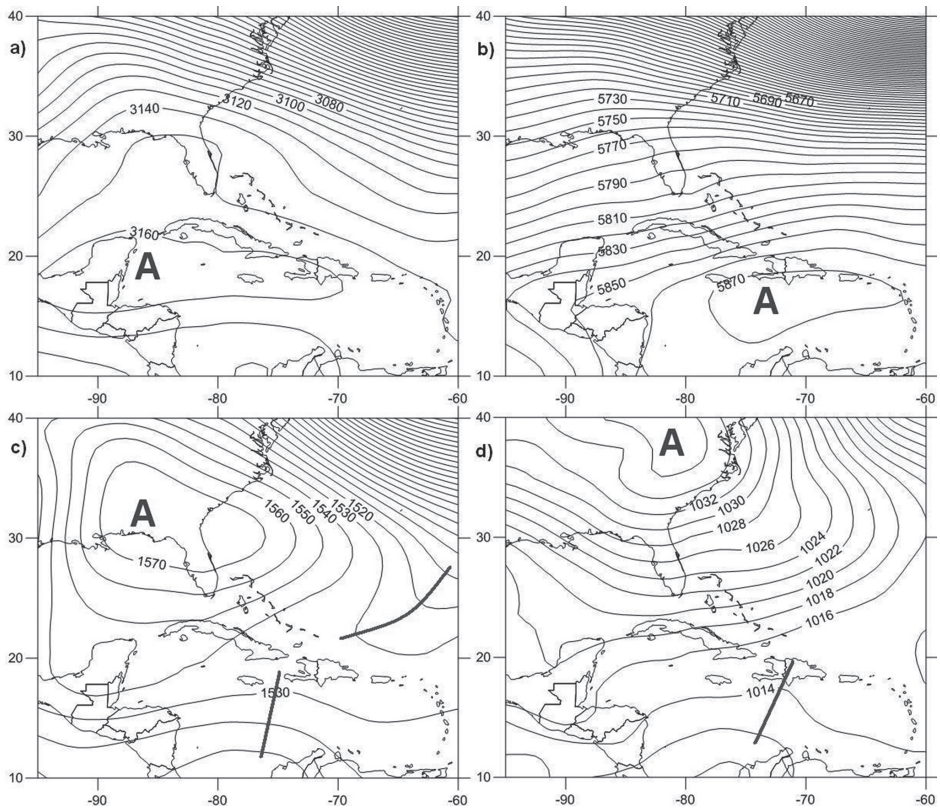

Fig. 11 Patrón sinóptico en superficie (d), 850 hPa (c), 700 hPa (a) y 500 hPa (b), a las 12 UTC del 26 de diciembre de 2000.

casos; en octubre, 58; en mayo, 44 y en diciembre, 44. Se han calculado los patrones medios para todos los casos de lluvias intensas registrados en estos cuatro meses, con la finalidad de generalizar las características sinópticas que más a menudo provocan precipitaciones intensas en la zona de Baracoa.

La figura 12 muestra el patrón medio de los casos ocurridos en noviembre, un total de 65. En los esquemas 12c y d se observa la presencia de una hondonada frontal en superficie sobre las inmediaciones de la parte más oriental del país, que tiene un claro reflejo en 850 hPa y 700 hPa. En 500 hPa, una onda corta predomina sobre la región centro-occidental de Cuba.

El patrón medio obtenido para los casos ocurridos en octubre (Fig. 13), en que se registraron 58 eventos, es muy similar al de noviembre, solo que la influencia anticiclónica continental se encuentra menos establecida sobre la región oriental del país. Este elemento puede ser el factor determinante para que estos eventos sean más frecuentes en noviembre que en octubre, a la vez que las lluvias promedio registradas el onceno mes del año representen 158 % de las reportadas el décimo mes. Esto puede estar relacionado con el papel que desempeña el flujo de arrastre del anticiclón migratorio en los procesos de lluvias, en general, en la costa norte del país y, en particular, en la mitad oriental del archipiélago.

Los patrones medios obtenidos en mayo para los 44 eventos de lluvias intensas en Baracoa (Fig. 14) tienen puntos de confluencia con los de octubre y noviembre, aunque existen diferencias evidentes, fundamentalmente en 700 hPa y 500 hPa. Se nota la presencia de una hondonada en superficie sobre la región oriental del país, mientras que en 850 hPa se refleja una vaguada invertida poco profunda sobre la zona. En este caso, la influencia anticiclónica también es mucho más débil. En 700 hPa y 500 hPa, el flujo de retorno de la dorsal oceánica se combina con la presencia de una onda corta en el sureste del

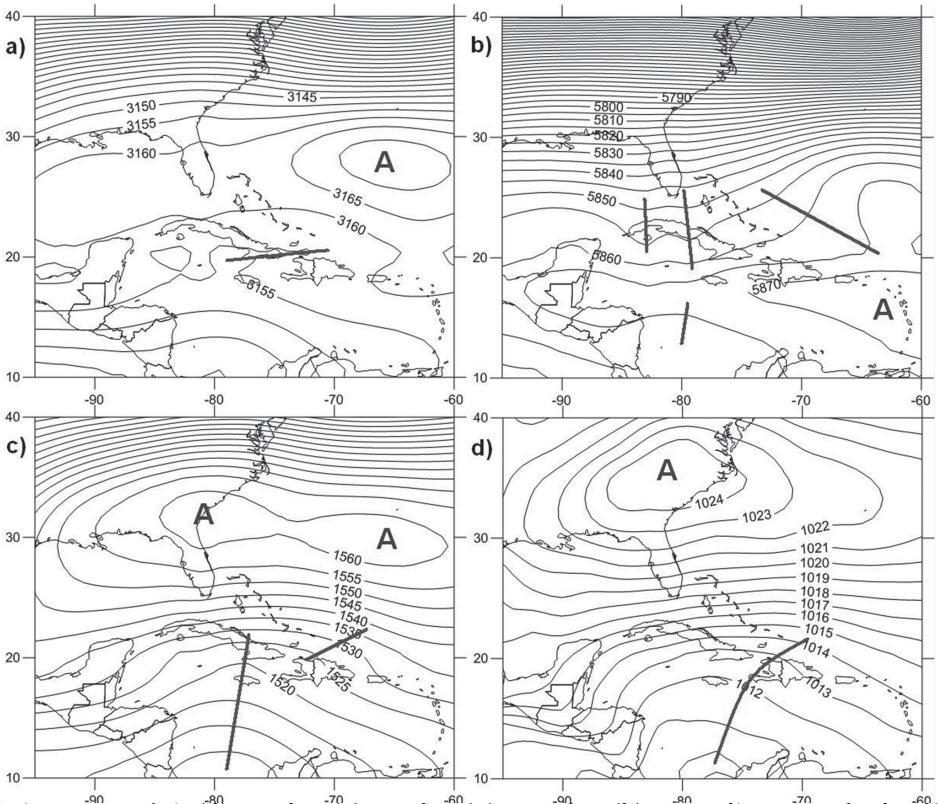

Fig. 12 Patrón sinóptico en superficie (d), 850 hPa (c), 700 hPa (a) y 500 hPa (b), promedio entre todos los días que registraron lluvias intensas en noviembre.

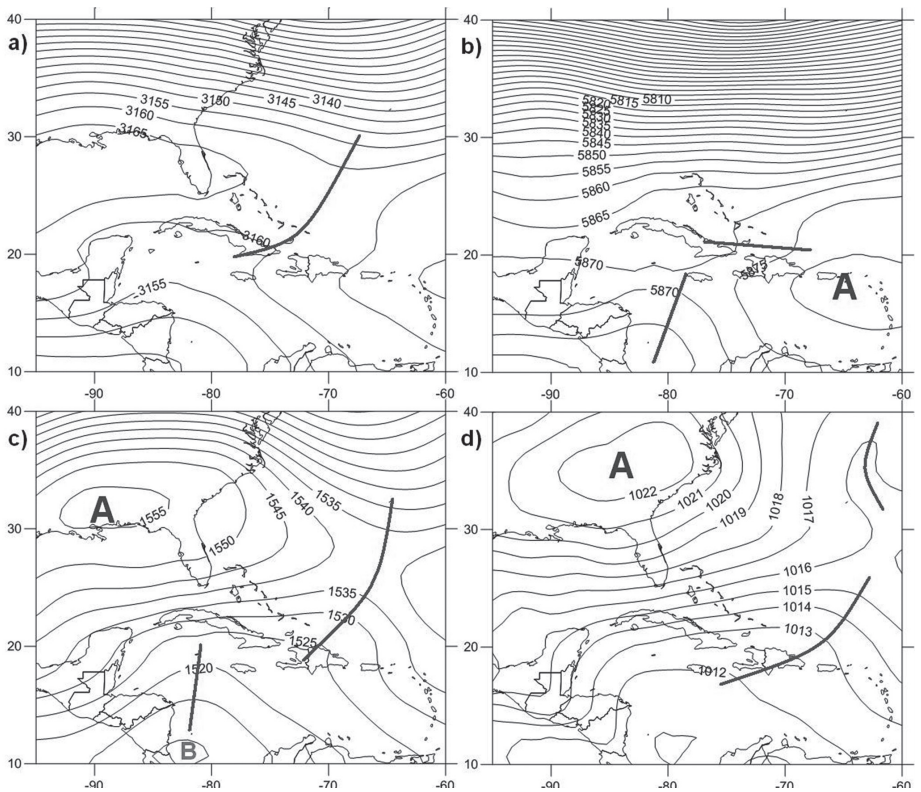

Fig. 13 Patrón sinóptico en superficie (d), 850 hPa (c), 700 hPa (a) y 500 hPa (b), promedio entre todos los días que registraron lluvias intensas en octubre.

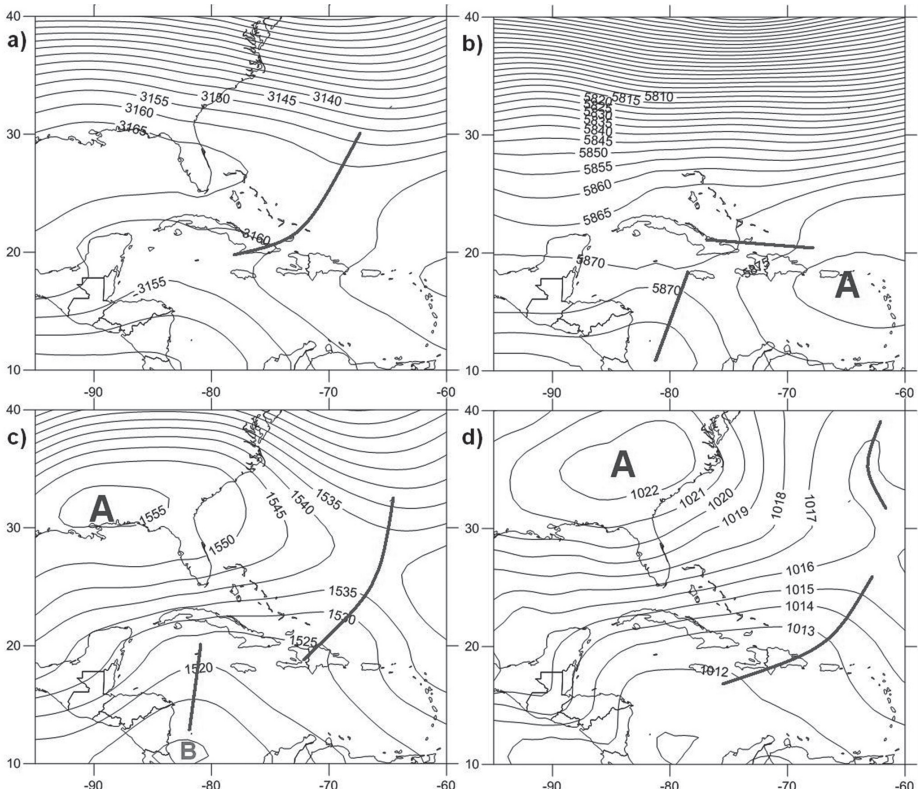

Fig. 14 Patrón sinóptico en superficie (d), 850 hPa (c) 700 hPa (a) y 500 hPa (b), promedio entre todos los días que registraron lluvias intensas en mayo.

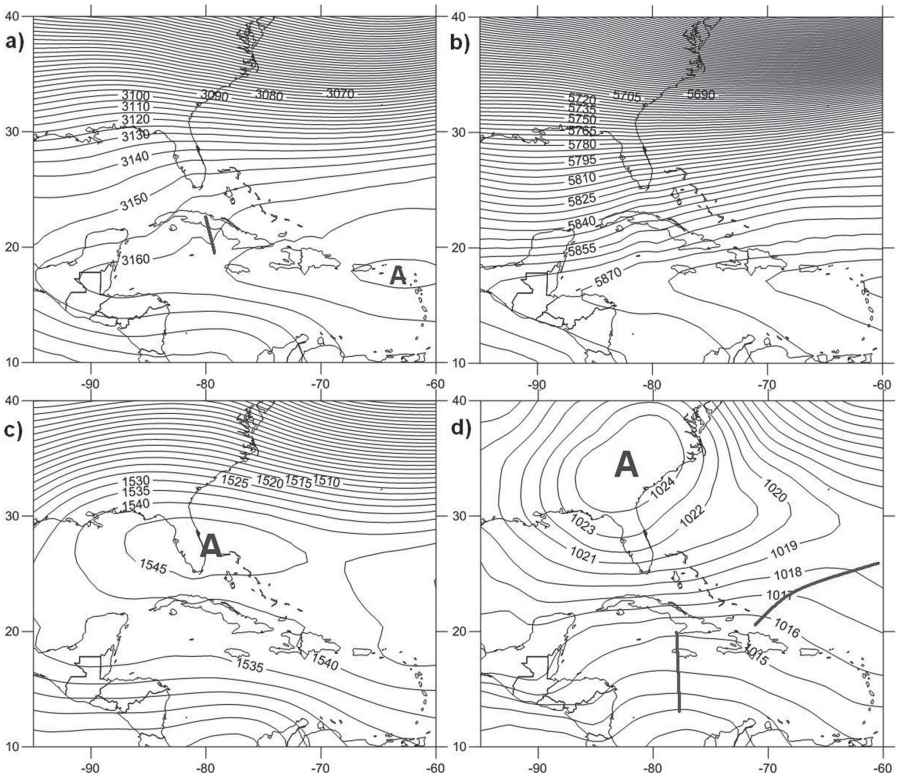

Fig. 15 Patrón sinóptico en superficie (d), 850 hPa (c), 700 hPa (a) y 500 hPa (b), promedio entre todos los días que registraron lluvias intensas en diciembre.

Golfo de México e impone una corriente de aire cálido y húmedo del sur al suroeste sobre esa zona. Los acumulados medios en 24 h de los eventos ocurridos en mayo representan solo 63 % de los que ocurrieron en noviembre.

Los patrones medios obtenidos para los eventos acontecidos en diciembre (Fig. 15) confirman el papel importante que desempeña el anticiclón migratorio en superficie sobre los procesos de lluvias intensas en Baracoa. En este mes se registraron 44 casos, aunque las intensidades medias fueron, ligeramente, superiores a las de mayo y octubre. En superficie, la hondonada frontal se encuentra algo más al este de la región oriental de Cuba, y una onda ubica su eje en las inmediaciones de Jamaica; sin embargo, la influencia del anticiclón migratorio de origen continental es bien marcada y se combina con la zona de bajas presiones centrada en el Golfo de Darién para ocasionar gradientes de presión apretados sobre el archipiélago cubano, lo cual ocasiona un flujo de arrastre importante sobre la zona de Baracoa en los niveles bajos. Los procesos sinópticos en el resto de los niveles persisten, pero con mucha menos profundidad que en los meses descritos.

Conclusiones

1. Los estudios realizados demostraron que las lluvias intensas en Baracoa se producen con mayor frecuencia en los meses del período de transición, tanto del período poco lluvioso al lluvioso, como a la inversa.
2. Las lluvias intensas que producen inundaciones en el territorio, a menudo, superan 200 mm en 24 h.
3. Octubre y noviembre son los meses en que ocurren con mayor frecuencia las lluvias intensas.
4. Las lluvias intensas en Baracoa están asociadas mayoritariamente con la presencia de hondonadas frontales en niveles bajos sobre la región oriental de

Cuba o al este de esta, y no a la influencia de los ciclones tropicales.

5. La salida al océano de los anticiclones migratorios de origen continental desempeñan un papel importante en la ocurrencia de lluvias intensas en Baracoa, lo cual se definió con mayor claridad para diciembre.

Referencias

Lapinell, P, 1988, *La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las precipitaciones en Cuba*. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Geográficas. Relación entre los distintos tipos de situaciones sinópticas y las lluvias, INSMET-ACC.

Fernández, A. J y Díaz Y. A, 2005: *Catálogo de Procesos Sinópticos del archipiélago cubano en el período 1979-1993*, Ed. Academia, 177pp.

Rodríguez F. F, 2006, *Mapa isoyético para el período 1961-2000*, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Fondo de datos de la Delegación Territorial del INRH de Guantánamo.

Llanes, M. T, 2010, *Pronóstico de precipitaciones en el territorio de Cuba*. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Meteorológicas, La Habana, 126 pp.

Oficina Nacional de Estadísticas e Información provincia de Guantánamo: *Datos preliminares del censo de población y vivienda 2012*.

Orbe, G, 2009, *Sistema de reconocimiento de patrones de lluvias intensas en la mitad occidental de Cuba*. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Meteorológicas, La Habana, 133 pp.