



Influencia de los factores físico-geográficos en la configuración espacio-temporal de la lluvia: Estudio de casos en Cuba

Influence of physical-geographical factors on the spatial-temporal configuration of rainfall: Case studies in Cuba

M. Hernández-Sosa[✉], E. O. Planos-Gutiérrez, D. Boudet-Rouco

Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

Resumen

En el presente artículo se realiza una actualización de la influencia que ejercen algunos factores físico-geográficos en la distribución espacio-temporal de la lluvia en algunas zonas del país, a partir del período 1981-2010. El análisis reveló que no deben establecerse correcciones homogéneas por la altitud en todos los macizos montañosos del país. Que mediante el uso de datos diarios de la lluvia y de la dirección del viento predominante se demuestra la influencia de la altitud en los mayores totales de precipitación durante el período poco lluvioso y se logra identificar la influencia que ejerce la distancia a la costa en el régimen de precipitación, entre otros resultados de interés.

Palabras clave: Factores físico-geográficos, lluvia, configuración espacial

Abstract

In the present article an update is made on the influence by some physical-geographic factors on the temporal-spatial distribution of rain in some areas of the country, from the period 1981-2010. The analysis revealed that homogenous corrections should not be made for altitude in all the mountain ranges of the country. Through the use of daily rainfall data and the predominant wind direction, the influence of altitude in the highest total rainfall during the low rainy season is demonstrated and the influence of distance to the coast in the precipitation regime, among other results of interest.

Key words: Physical-geographic factors, rainfall, spatial configuration

✉ Autor para correspondencia: M. Hernández-Sosa. E-mail: marieta.hernandez@insmet.cu

Recibido: 14/8/2017

Aceptado: 6/12/2017

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2012) centra su atención en el perfeccionamiento y ampliación de los servicios climáticos para aumentar la seguridad de las poblaciones y la economía ante peligros climáticos. Muchos de los impactos asociados a estos peligros, se generan por el desconocimiento de la distribución espacial de la lluvia y su tendencia en las diferentes épocas del año.

En el mundo existen numerosas investigaciones sobre el comportamiento y distribución espacial de las precipitaciones, en el caso específico de Cuba fueron desarrolladas a partir de la década del 70 del pasado siglo (Planos, 2015). Sin embargo, el objetivo fundamental de la mayoría de estos estudios no ha estado dirigido a la modelación del patrón espacial, la configuración y regionalización de esta variable. Estos estudios han centrado su atención en el análisis de los acumulados de precipitaciones y su distribución con estaciones individuales o redes de pluviómetros, sin establecer una representación espacial interrelacionada con herramientas modernas de análisis espacial (Díaz, 2007).

Por tanto se establece como objetivo principal establecer la configuración espacio-temporal de la lluvia en algunas zonas seleccionadas en el país, teniendo en cuenta su representatividad y disponibilidad de datos (30 años). Las localizaciones seleccionadas son: la Sierra Maestra, para determinar la relación de la lluvia con la altitud y las provincias de La Habana- Mayabeque teniendo en cuenta la distancia a la costa, utilizando para los dos casos el período 1981-2010.

En ambas zonas se genera la configuración de la lluvia y el resultado se asume como pequeñas ventanas de investigación, ya que el análisis que se realizó de forma puntual servirá como punto de partida para generar, en futuras investigaciones, la configuración de la lluvia en otras zonas del territorio nacional hasta completar todo el país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos Básicos

Los datos empleados fueron, el viento predominante y los totales acumulados mensuales y diarios de lluvia, proveniente de 54 estaciones de la red del Instituto de Meteorología (Figura 1), además de 650 pluviómetros seleccionados de la red básica del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (Figura 2).

Período de análisis

Como período de análisis se utilizó el comprendido entre los años 1981-2010, teniendo en cuenta que durante estos años el funcionamiento de los pluviómetros del INSMET e INRH es muy estable. Este período se utiliza además, pues se establecerá en el Centro del Clima del Instituto de Meteorología como la norma climatológica que será utilizada en los estudios vinculados con la lluvia, además es la norma recomendada por la OMM.

Homogeneidad de los datos

Se verificó la homogeneidad de las series de lluvias utilizadas con el uso del programa RH-testsV4 (Desarrollado por la Universidad de Victoria, 2004, disponible en <http://http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>), script que corre sobre el software libre R, el cual realiza una serie de pruebas para demostrar la homogeneidad de la serie de datos. Este test indicó que los 54 pluviómetros del INSMET y los 650 INRH que fueron analizados, son homogéneos con un nivel de significación del 0,95%.

Análisis de la distribución espacial y temporal de las precipitaciones

La distribución espacial de la precipitación, se obtuvo a través del método de interpolación inverso de la distancia ponderada (IDW, por sus siglas en inglés). Este método se basa en asignar mayor peso a las muestras cercanas y menor peso a las muestras alejadas (Alfaro, 2007).

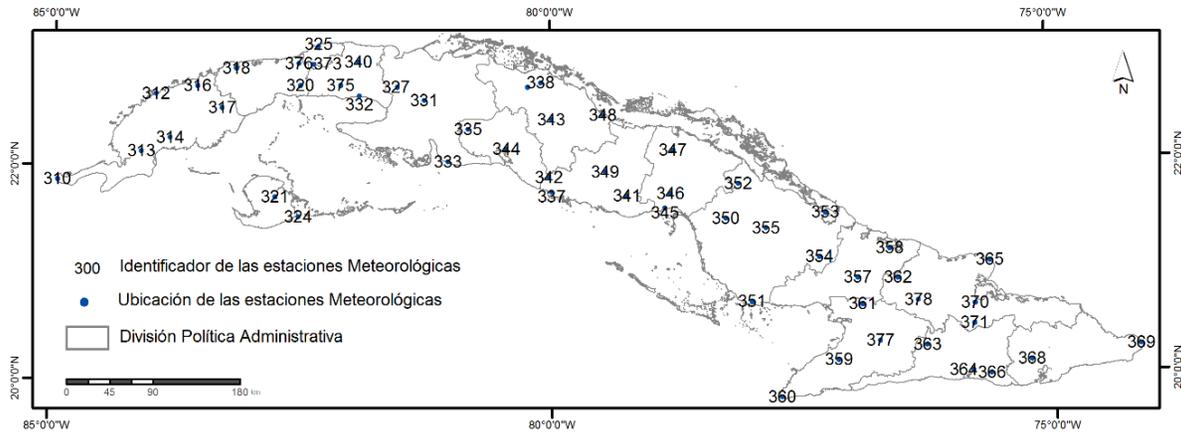


Figura 1. Ubicación de las 54 estaciones meteorológicas de la red del Instituto de Meteorología (INSMET), Cuba

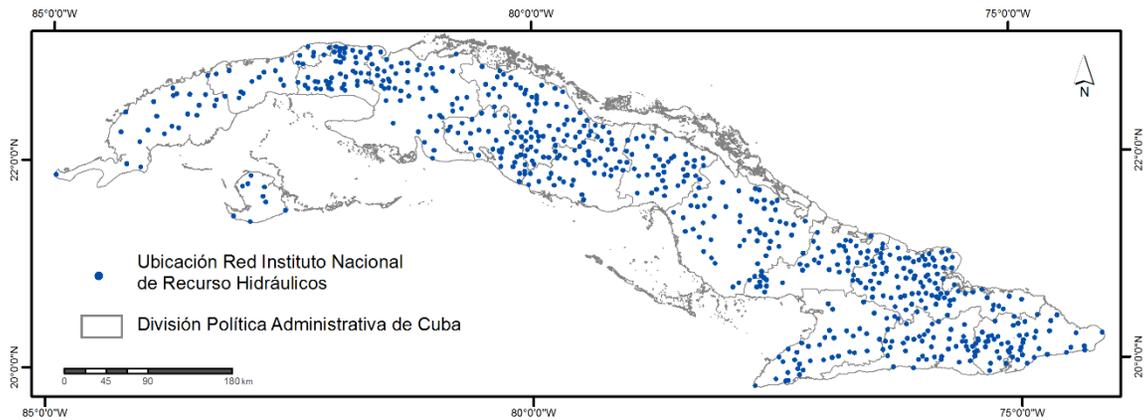


Figura 2. Ubicación de los 650 pluviómetros de la red del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), Cuba

Perfiles del terreno y de la lluvia

Para determinar la relación de la lluvia con la altitud se elaboraron seis perfiles de terreno en la dirección norte-sur (Figura 3), con el uso del módulo Análisis 3D (Arcgis 10.1), cuatro perfiles en los principales macizos montañosos del país: Sierra Maestra-Grupo de Maniabón (I-J), Guamuhaya-Alturas del Nordeste de Villa Clara (E-F), Nipe-Sagua-Baracoa (K-L) y la Cordillera de Guaniguanico-Llanura Aluvial del Sur (A-B); y dos perfiles hacia zonas representativas de llanuras: Las Alturas de Bejucal-Madruga-Coliseo y Llanura Cársica Meridional (C-D) y el segundo sobre el Peniplano Florida-Camagüey-Tunas-Sierra de Cubitas (G-H). Esto permitió describir como varía esta variable a partir de la influencia del

relieve y determinar gradientes altitudinales para la precipitación. Los meses seleccionados para realizar este análisis fueron enero y junio, los cuales se asumen representativos del período seco y húmedo del país.

Relación Precipitación- Distancia a la Costa

La distancia a la costa de todas las estaciones utilizadas se calculó mediante el método NEAR (Arcgis 10.1), este método permite determinar automáticamente la distancia de un punto (estación meteorológica) a su vecino más cercano, en este caso línea de costa.

Rejilla

La distribución espacial de la lluvia se obtuvo a partir de dos rejillas: la primera con correcciones altitudinales en la Sierra Maestra,

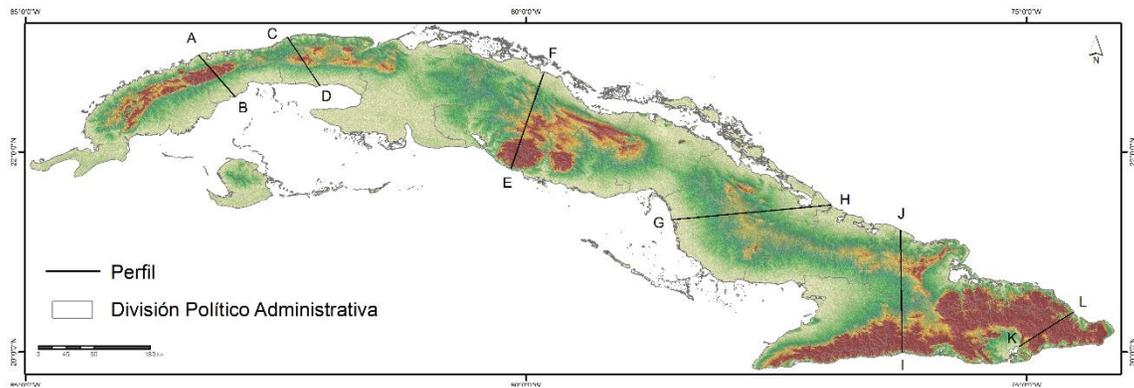


Figura 3. Esquema de la dirección de los perfiles del terreno

de 3261 puntos, con una resolución de 4 km² en zonas por debajo de 200 metros y 1 km² para las alturas iguales o superiores a los 200 metros (Figura 4) y la segunda con corrección por distancia a la costa de 301 puntos en las provincias de La Habana y Mayabeque con igual resolución (Figura 5). Las rejillas se construyeron para los meses de enero y junio, los cuales se asumen representativos de los períodos húmedos y secos del año en el país. Mientras que, para reclasificar las alturas superiores o iguales a 200 metros, en la Sierra Maestra, se utilizó la herramienta Reclassify del Arcgis 10.1. A su vez, para agrupar los puntos de rejilla en ladera norte y sur de este macizo montañoso, se delimitó un parte agua central al utilizar cuatro modelos de sol-sombra (225, 270, 315 y 360 grados) (Tabla 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia de la altitud en la distribución espacio-temporal de la lluvia para los meses de enero y junio

A partir del análisis de los perfiles se determinó que en el mes de enero, en la Sierra Maestra, las lluvias comienzan a aumentar desde los 100 metros de altura en la ladera norte a razón de 5 mm cada 50 metros (Figura 6). En el macizo de Guamuhaya, las precipitaciones también aumentan a partir de los 100 metros en la ladera norte, pero a razón de 2 mm cada 50 metros hasta llegar a los 900 metros de altura. En la ladera sur del macizo, éstas disminuyen

paulatinamente, a igual razón (Figura 7). En Nipe-Sagua-Baracoa, se reportan acumulados de lluvia desde la línea de costa hasta aproximadamente 20 km hacia el interior, distancia a partir de la cual disminuyen a razón de 10 mm cada 100 metros (Figura 8). El máximo de los acumulados no se alcanza en el pico más alto, sino que se reporta a unos 5 kilómetros de la costa noreste del país. En la Cordillera de Guaniguanico las precipitaciones son mayores hacia la costa norte y, éstas disminuyen a razón de 3 mm cada 10 km a partir de los 8 km de esta costa (Figura 9). En el perfil de las Alturas Bejucal – Madruga-Coliseo, las lluvias disminuyen a razón de 4 mm cada 10 km a partir de los 5 km de la costa norte, hasta los 40 km hacia el interior. A partir de esta distancia los acumulados de precipitación se mantienen alrededor de los 40 mm (Figura 10). Sin embargo en el perfil del Peniplano Florida – Camagüey-Tunas- Sierra de Cubitas, los mayores acumulados de lluvia se aprecian hacia la costa norte mientras que hacia la costa sur de la provincia de Camagüey, estos disminuyen paulatinamente a razón de 4 mm por cada 50 km (Figura 11).

En el mes de junio, en la Sierra Maestra, los acumulados de lluvia aumentan 5 mm cada 50 metros a partir de los 400 metros de altura. Al igual que en el mes de enero, en la ladera sur las precipitaciones disminuyen 5 mm por cada 50 metros (Figura 6). En el macizo Guamuhaya las lluvias también comienzan a ascender a partir de los 400 metros de altura pero a razón de

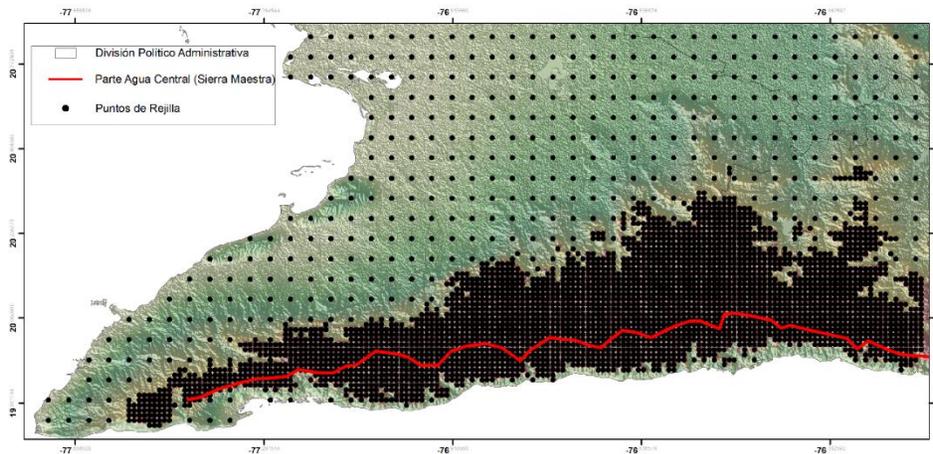


Figura 4. Distribución de los puntos de rejilla con correcciones altitudinales en la Sierra Maestra

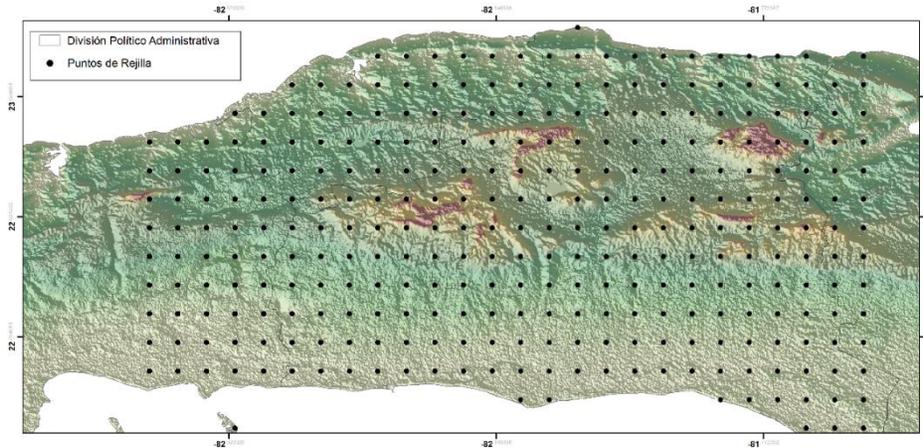


Figura 5. Distribución de los puntos de rejilla con correcciones por distancia a la costa en las provincias, La Habana y Mayabeque

Tabla 1. Correcciones establecidas a partir de la relación lluvia y factores físico-geográficos

Parámetros	Enero		Junio	
	Ladera norte	Ladera sur	Ladera norte	Ladera sur
Altura	+5 mm/50m hasta 900m.	-5mm/50m hasta 900m.	+5mm/50m hasta 900m.	-5mm/50m hasta 900m.
Distancia a la costa	10 km costa N		10 km costa N	
	-2mm/5km hasta 40km de la N		+25mm/5km hasta 40 km de la N -10mm/5km hasta 10 km de la S	

20 mm cada 100 metros, éstas alcanzan su máximo en los 900 metros de altura y disminuyen abruptamente en la ladera sur (Figura 7). En el macizo Nipe-Sagua-Baracoa, el máximo de la lluvia se observa a unos 900 metros de altura y a los 20 km de la costa noreste de esta región (Figura 8). El descenso

de las precipitaciones ocurre a partir de esta distancia a razón de unos 40 mm cada 5 km. En la Cordillera de Guaniguanico, las lluvias son mayores hacia la costa norte, disminuyendo a los 20 km de esta costa a razón de 6 mm cada 10 km (Figura 9).

En las Alturas Bejucal – Madruga-Coliseo, el máximo acumulado se observa hacia el interior del país a unos 40 kilómetros de la costa norte, y disminuye a partir de esta distancia, a razón de 20 mm cada 5 km ([Figura 10](#)). En el Peniplano Florida – Camagüey-Tunas- Sierra de Cubitas los mayores acumulados se observan hacia el interior y suroeste de la provincia de Camagüey, a unos 130 km de la costa norte. Estas precipitaciones disminuyen a razón de 50 mm en los 150 km de la costa norte, para mantenerse oscilando alrededor de los 210 mm hacia la costa sur de este territorio ([Figura 11](#)).

Influencia del viento y del relieve en la distribución diaria de la lluvia, para el período lluvioso y poco lluvioso

Según [Barbro et al. \(2003\)](#), existe una estrecha relación entre el viento en superficie y la topografía, que puede ser descrita a través de relaciones estadísticas, y además estas relaciones condicionan un patrón en la distribución de la precipitación a partir de datos diarios. Por tanto, en este acápite se realiza un análisis de la influencia que ejerce la altitud en combinación con la dirección predominante del viento, a partir de datos diarios de la lluvia, en estaciones seleccionadas para el período lluvioso y poco lluvioso.

Para este análisis se seleccionaron estaciones de la Sierra Maestra y Guamuhaya, además se seleccionaron ocho direcciones del viento predominante (Noreste (NE), Este (E), Sureste (SE), Sur (S), Suroeste (SW), Oeste (W), Noroeste (NW), Norte (N)).

- *Sierra Maestra. Ladera Norte. Provincia Granma*

En la provincia de Granma los equipos seleccionados para representar los totales de precipitación fueron: 200 (157 m de altura), 208 (231 m de altura) y 1120 (193 m de altura), mientras que para representar los valores de la dirección del viento predominante en superficie se utilizó la estación 377 de la red del Instituto de Meteorología. Los resultados obtenidos revelaron que en el período poco lluvioso los

mayores acumulados de precipitación se encuentran asociadas a direcciones del viento de componente E y W, coincidiendo con los valores máximos extremos de precipitación ([Figura 12B](#)). A partir de la relación altura y dirección del viento y su influencia en el comportamiento espacial de la lluvia ([Figura 12A](#)), los máximos de precipitación se reportan hacia las zonas más altas, asociados a direcciones predominantes del viento de componente del S, SW y W. En el período lluvioso ([Figura 13B](#)), las direcciones del viento que tienen asociado un mayor número de precipitaciones son del NE, S y W. Las direcciones del viento asociadas a valores extremos de la lluvia son del W, E y el S. El análisis espacial de la lluvia, a partir de la relación del viento y la altura ([Figura 13A](#)) muestra que los mayores acumulados ocurren en las zonas de mayor altura en casi todas las componentes del viento; sin embargo, también se observan altos totales de precipitación en zonas inferiores a los 200 metros de altura.

- *Guamuhaya. Región Montañosa*

En Guamuhaya los equipos seleccionados para representar los totales de precipitación fueron: 703 (665 m de altura) y el 434 (774 m de altura), perteneciente a la provincia de Cienfuegos mientras que la estación 342, de la red del INSMET, se utilizó para representar los valores de la dirección del viento predominante. En el período poco lluvioso los mayores acumulados estuvieron asociados a direcciones del S y del N, mientras que los valores extremos de lluvia estuvieron asociados a vientos del SE y el S ([Figura 14B](#)). En el período lluvioso se observa la influencia de casi todas las direcciones del viento en la ocurrencia de altos totales de precipitación; en la estación 703, las direcciones del viento asociadas a estos acumulados son del SW y W, mientras que para el equipo 434 son del NE y N, los extremos de precipitación para ambos casos están asociados a direcciones del NE, E y N ([Figuras 15A y B](#)).

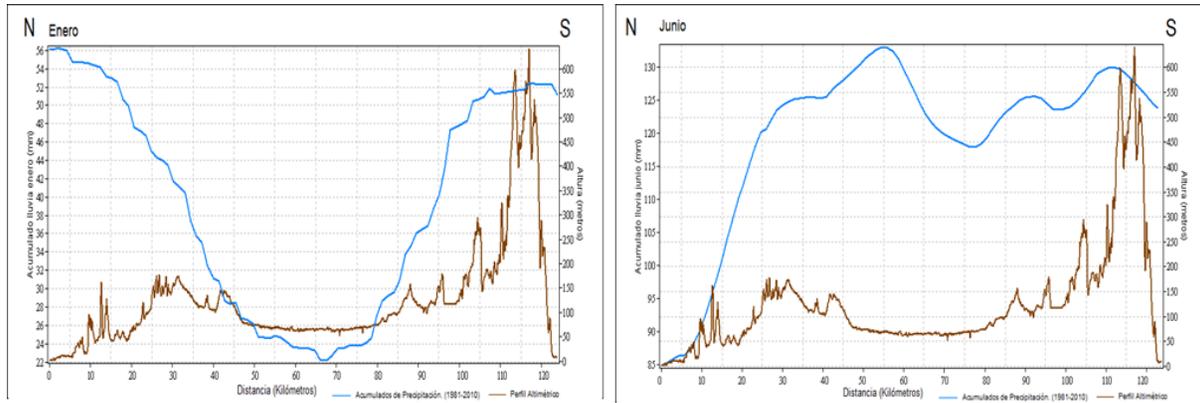


Figura 6. Perfil (I-J). Sierra Maestra y el Grupo de Maniabón

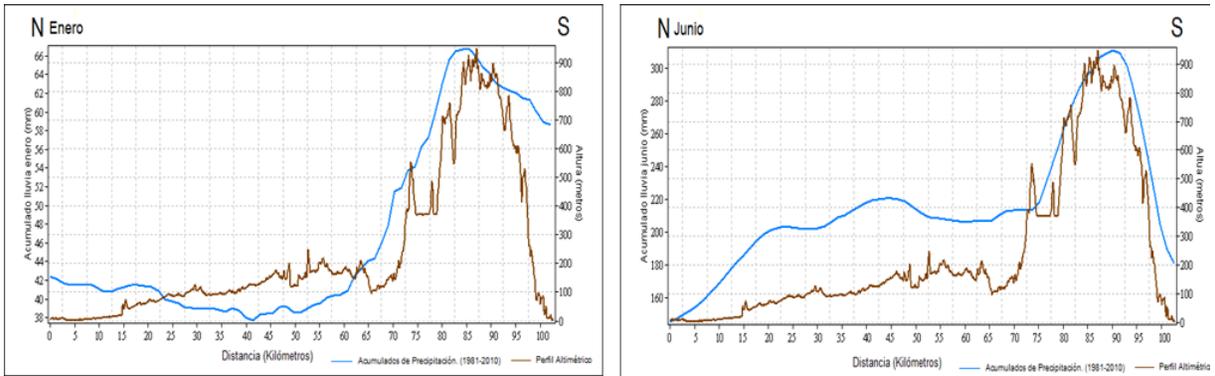


Figura 7. Perfil (E-F). Guamuhaya-Alturas del Nordeste de Villa Clara

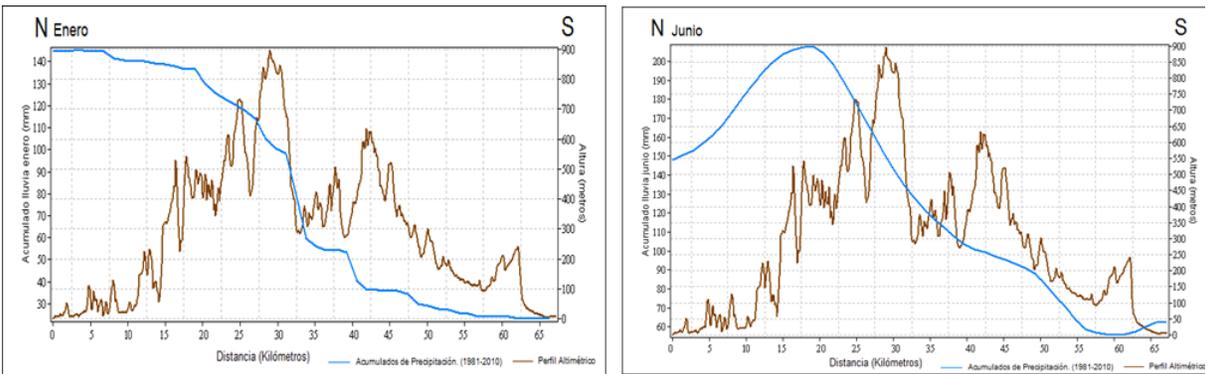


Figura 8. Perfil (K-L). Nipe-Sagua-Baracoa

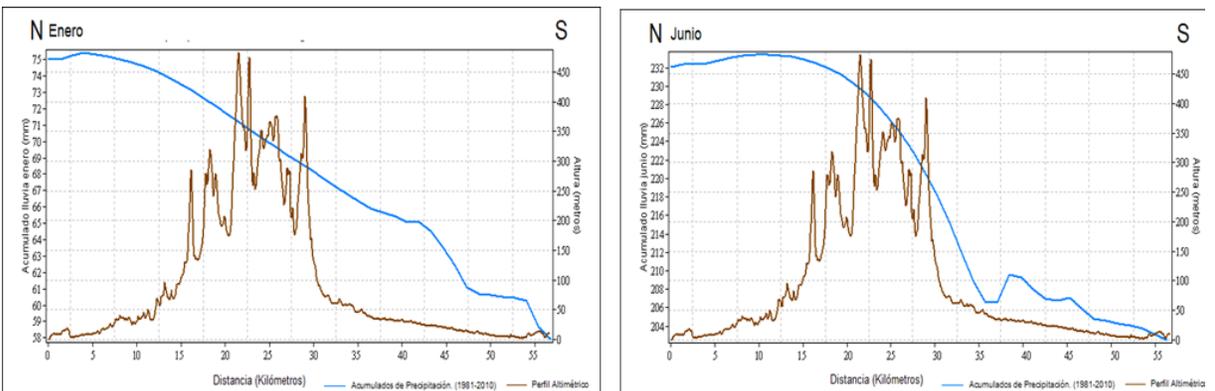


Figura 9. Perfil (A-B). Cordillera de Guaniguanico-Llanura Aluvial del Sur

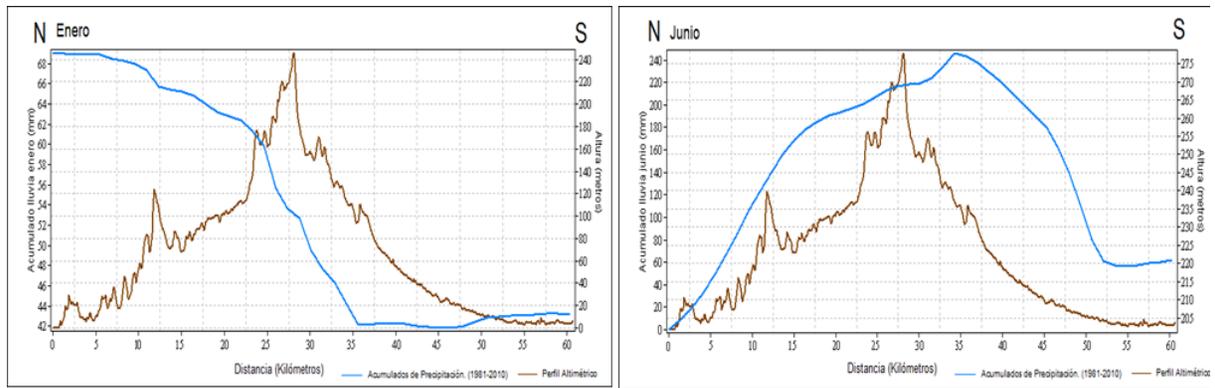


Figura 10. Perfil (C-D). Alturas de Bejugal – Madruga-Coliseo y Llanura Cárstica Meridional

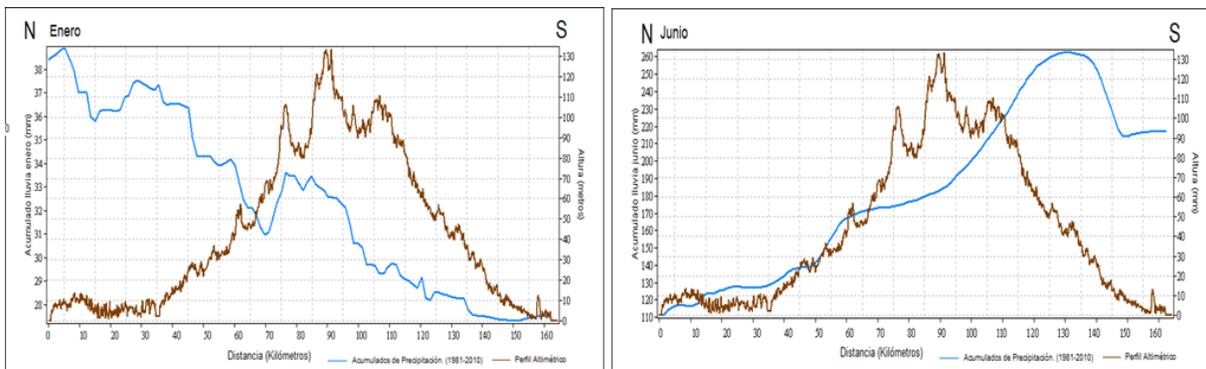


Figura 11. Perfil (G-H). Peniplano Florida – Camagüey – Tunas-Sierra de Cubitas

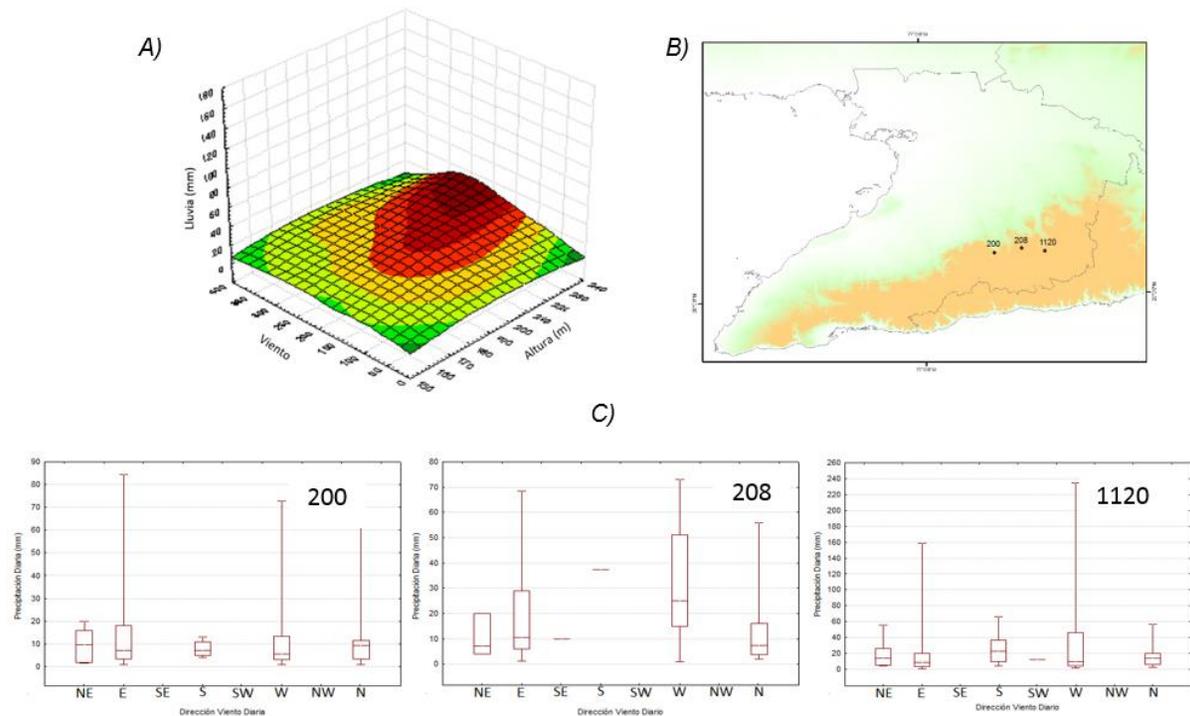


Figura 12. A) Relación espacial del viento y el relieve en las precipitaciones. B) Ubicación de los pluviómetros. C) Relación viento predominante con las precipitaciones diarias, período poco lluvioso.

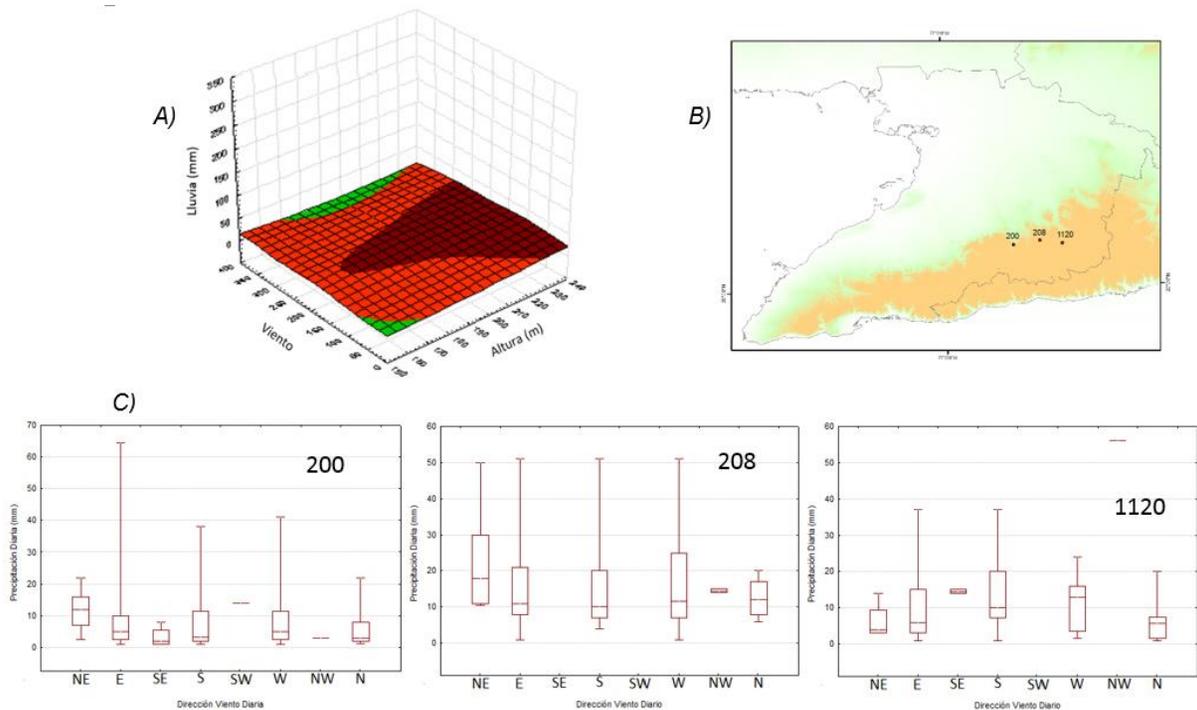


Figura 13. A) Relación espacial del viento y el relieve en las precipitaciones. B) Ubicación de los pluviómetros. C) Relación viento predominante con las precipitaciones diarias, período lluvioso

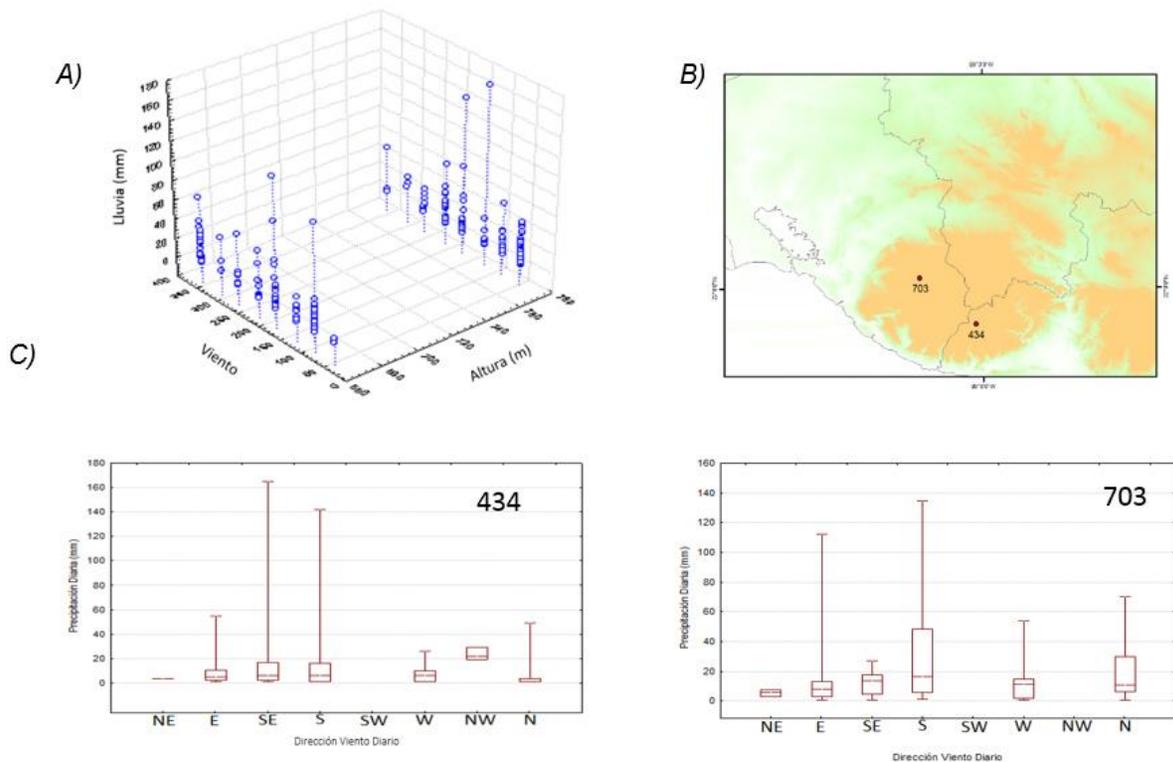


Figura 14. A) Relación espacial del viento y el relieve en las precipitaciones. B) Ubicación de los pluviómetros. C) Relación viento predominante con las precipitaciones diarias, período poco lluvioso

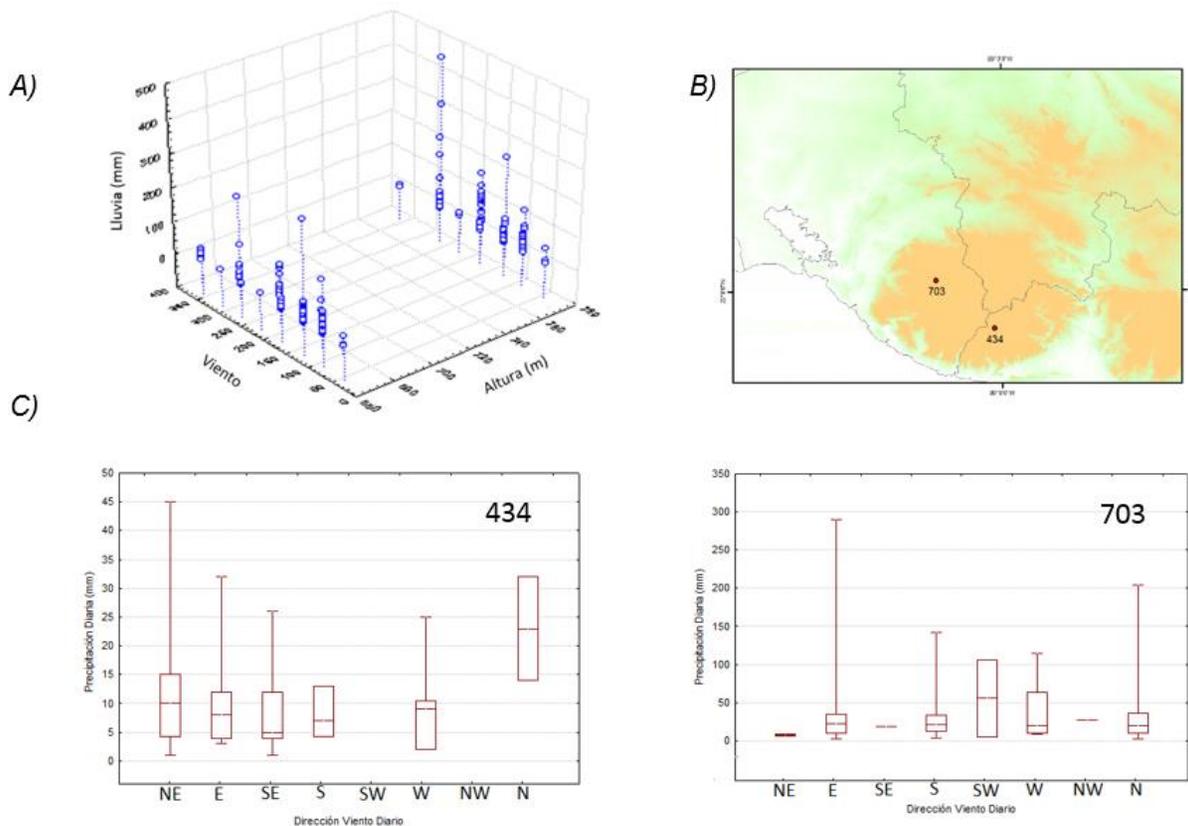


Figura 15. A) Relación espacial del viento y el relieve en las precipitaciones. B) Ubicación de los pluviómetros. C) Relación viento predominante con las precipitaciones diarias, período lluvioso

Relación lluvia/distancia a la costa

A partir de los mapas de precipitaciones del período 1981-2010, para todos los meses de enero, junio, octubre y el mapa anual se calculó la distancia en km desde ambas costas hasta las isoyetas de mayor y menor acumulado de lluvia. Estas mediciones se realizaron en: La Habana, Artemisa, Mayabeque, Holguín, Granma y Santiago de Cuba. En el período anual, en las provincias de La Habana y Mayabeque los mayores acumulados ocurren a 20 km de la costa sur. En Artemisa los mayores acumulados se reportan a 13 km de la costa norte, mientras que, para las provincias de la región oriental, los mayores acumulados ocurren a 16 km de la costa sur.

• Período poco Lluvioso

En La Habana y Mayabeque en enero, los menores acumulados oscilan entre los 30 - 50 mm, a 8 km de la costa sur. En la provincia de Artemisa los menores acumulados están en el orden de los 40 - 70 mm, los cuales se reportan mayormente a los 10 km de la costa sur del país. En las provincias orientales (Holguín, Granma y Santiago de Cuba) los menores acumulados de precipitación 20 - 50 mm, ocurren a unos 50 - 60 km de la costa norte y a 70 km de la costa sur. Los mayores acumulados para dicho período 90 -150 mm, ocurren a 20 km de la costa sur en los meses de enero, marzo, abril y noviembre. Para los meses de febrero y diciembre estos valores se reportan a 20 km de la costa norte (Figura 16 y 17).

- *Período Lluvioso*

En Artemisa los menores acumulados están en el orden de 120 - 220 mm, los cuales se reportan a 8 km de la costa norte, mientras que las mayores precipitaciones están entre los 160 - 280 mm, alrededor de los 20 - 30 km hacia ambas costas. En octubre ocurren los menores acumulados a 16 km de la costa sur y los mayores acumulados ocurren a 4 km de la costa norte. En las provincias del oriente del país los menores acumulados 50 - 110 mm, ocurren entre los 11 y los 14 km de la costa norte para los meses de mayo-septiembre, mientras que los mayores acumulados 210 - 270 mm ocurren entre los 14 - 20 km de la costa sur ([Figura 16](#) y [17](#)).

Configuración espacio-temporal de la lluvia a partir de factores físico-geográficos. Sierra Maestra, La Habana y Mayabeque

Para realizar la configuración espacial de la lluvia teniendo en cuenta los parámetros físico-geográficos, se seleccionaron dos zonas del país, la Sierra Maestra, para tener en cuenta la configuración espacio-temporal de la lluvia al considerar la altitudinal y la ladera de exposición; mientras que para las correcciones por distancia a la costa se seleccionó una porción del país donde la influencia de este factor estuviera presente durante gran parte del año, en este caso las provincias de La Habana y Mayabeque. La configuración de la lluvia se determinó a partir de la salida de los mapas isoyéticos de los meses de enero y junio del período 1981-2010, ambos con características

espaciales representativas del período poco lluvioso y lluvioso en Cuba, respectivamente.

De manera general, todos los análisis espaciales generados utilizando solamente los pluviómetros del INRH y del INSMET, no logran establecer las relaciones espaciales de la lluvia teniendo en cuenta los factores físico-geográficos. En el caso de la Sierra Maestra, no se representan las diferencias en los totales de precipitación que ocurren cuando influye la altitud y las laderas de exposición. En La Habana y Mayabeque, en aquellas zonas donde la densidad de pluviómetros es menor, las isoyetas infieren los valores a partir de la estación más cercana, sin tener en cuenta el aumento, o disminución de la lluvia a partir de la influencia de la distancia a la costa ([Figuras 18](#) y [20](#)).

Sin embargo, cuando se realizan las correcciones al tener en cuenta el gradiente por altura, en ambas laderas del macizo montañoso de la Sierra Maestra, se obtiene una mejor representatividad de los acumulados con los mayores totales de lluvia hacia la ladera norte y disminuyendo en la ladera sur. En el caso de La Habana y Mayabeque cuando se realizan las correcciones por distancia a la costa, aparece una isoyeta de menor acumulado de lluvia hacia el centro de esta región, en el mes de enero y en el mes de junio, hacia esta misma porción del territorio aparece representada una isoyeta de mayor acumulado de precipitación. Además, las isoyetas se suavizan y aparecen más generalizadas al introducir las correcciones en esta porción del país ([Figuras 19](#) y [21](#)).

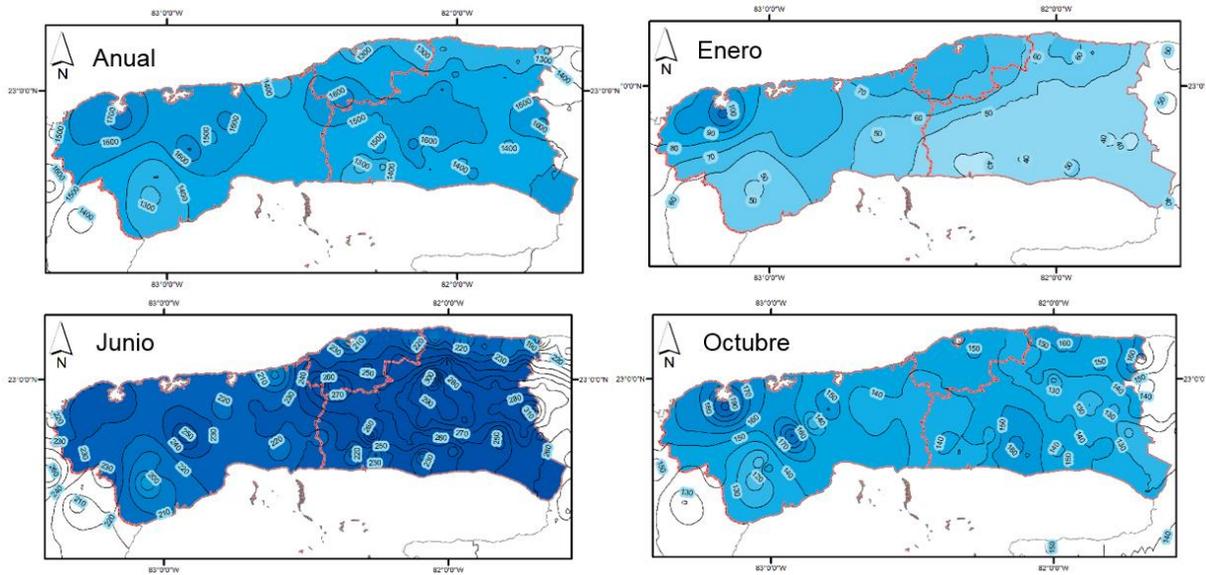


Figura 16. Mapas isoyéticos de las provincias Artemisa, La Habana, Mayabeque. Período: 1981-2010

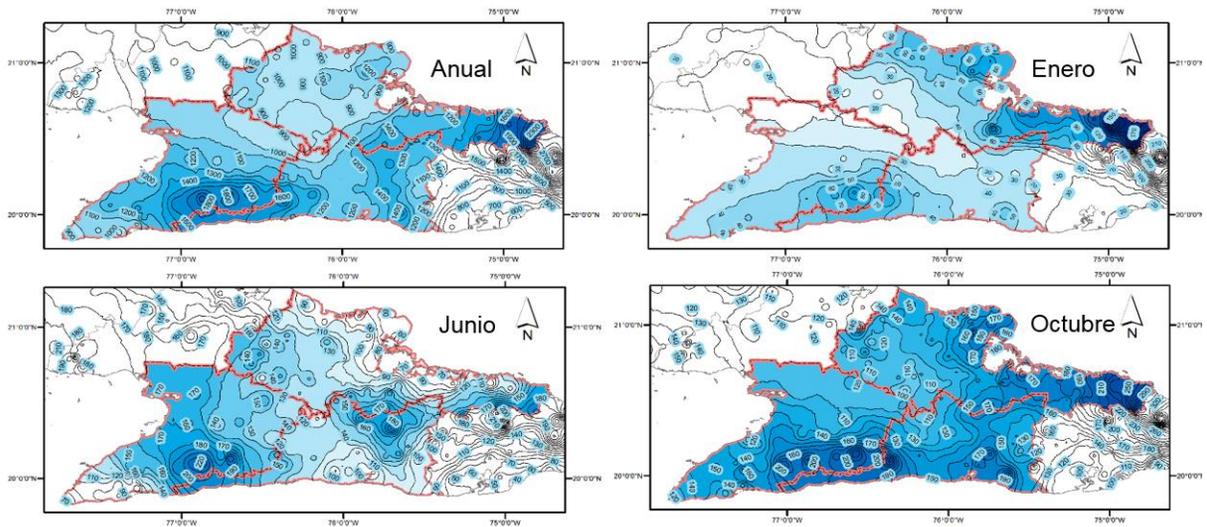


Figura 17. Mapas isoyéticos de Holguín, Granma, Santiago de Cuba. Período: 1981-2010

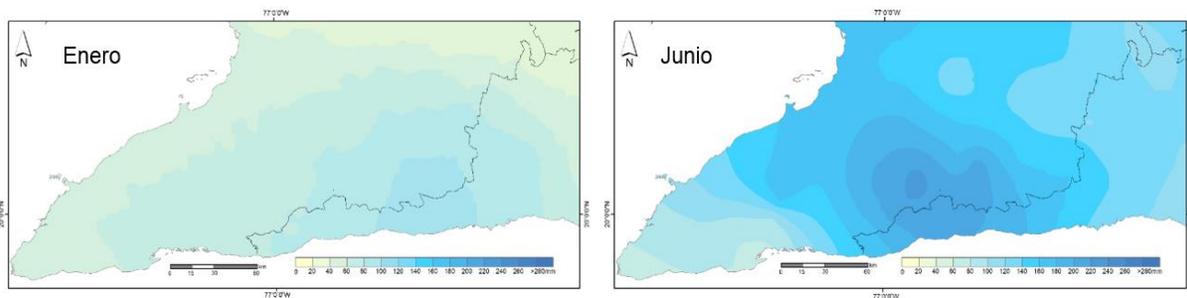


Figura 18. Sierra Maestra. Período: 1981-2010. Sin corrección

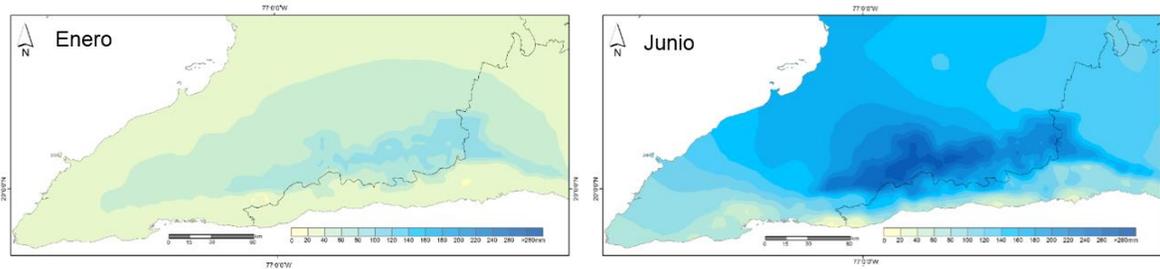


Figura 19. Sierra Maestra. Período: 1981-2010. Correcciones altitudinales

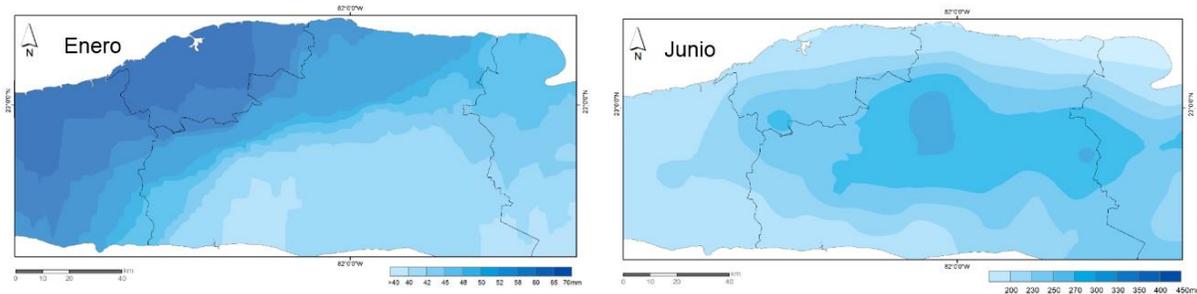


Figura 20. La Habana-Mayabeque. Período: 1981-2010. Sin corrección

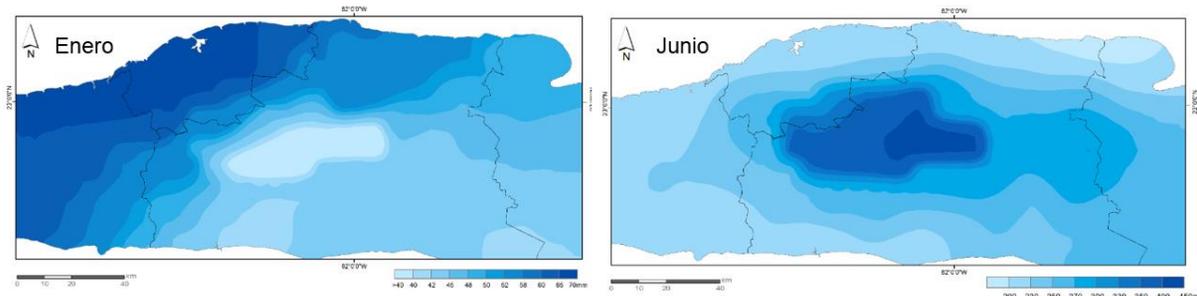


Figura 21. La Habana-Mayabeque. Período: 1981-2010. Correcciones influencia distancia a la costa

CONCLUSIONES

- La distribución espacial de la lluvia en los macizos montañosos del país no es homogénea. Los gradientes de esta variable con la altitud varían en dependencia del macizo montañoso y de los sistemas meteorológicos que la generan.
- A partir de datos diarios de la lluvia y de la dirección del viento predominante se demuestra que existe una influencia directa de la altitud en combinación con el viento en los mayores totales de precipitación durante el período poco lluvioso, en general estas lluvias están asociadas a direcciones del viento del S, SW, NW y W.
- En el período lluvioso esta relación no es tan marcada.
- En las provincias de La Habana, Artemisa, Mayabeque y gran parte de la región oriental del país se logra identificar la influencia que ejerce la distancia a la costa en el régimen de precipitación. En las provincias pertenecientes a la región occidental, los mayores acumulados de lluvia se reportan entre los 0 - 20 km de la costa norte en el período poco lluvioso y hacia los 30 - 40 km de ambas costas en el período lluvioso. En el oriente del país los mayores acumulados se observan alrededor de los 20 - 40 km de la costa sur en ambos períodos.

- A partir de la influencia que ejercen los factores físico - geográficos en la distribución espacio - temporal de la lluvia se identifican los máximos de precipitación en las zonas de mayor altitud de la Sierra Maestra, mientras que los menores acumulados se obtienen en la ladera sur de este macizo.
- En las provincias de La Habana - Mayabeque se identifica la influencia que ejerce la distancia a la costa en los totales de precipitación. Hacia el centro de esta región se establece una isoyeta de mínimos acumulados de precipitación en el mes de enero, mientras que en junio se establece una isoyeta de máximos acumulados de lluvia.
- Se identifica que no deben establecerse correcciones homogéneas en todo el país a partir de la influencia que ejercen los factores físico - geográficos en la configuración espacio - temporal de la lluvia.

REFERENCIAS

- Alfaro A. (2007). Estimación de Recursos Mineros. Santiago de Chile, 2007. Publicación del Centro de Geociencias y Geoestadística de Francia.
- Barbro J., Chen D. (2003). The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: Statistical analysis and modelling. *International Journal of Climatology* 23: 1523-1535.
- Díaz A. (2007). Modelo espacio-temporal de la precipitación. Estudio de Caso: Cuenca del Papaloapan. Tesis para obtener el grado de Master en Estadística Aplicada. Universidad de Veracruz. México.
- OMM (2012). Plan de ejecución del Marco Mundial para los Servicios Climáticos, pp 100.
- Planos E. (2015). Influencia de las grandes precipitaciones en la garantía de entrega de agua anual. *Aqua-LAC - Vol. 7 - N° 2 - Set.* 2015. pp. 38 – 39.
- Test de Homogeneidad. Disponible en la web: <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>, (Consultado el 9 de octubre del 2017.)