

Sensibilidad del WRF en topoclimas del oriente de Cuba



WRF sensitivity in topoclimates of eastern Cuba

<https://cu-id.com/2377/v29n4e07>

 Arisleidys Peña-de la Cruz^{1*},  Ricardo Delgado-Téllez²,  Maibys Sierra-Lorenzo³,
 Arnoldo Benzanilla Morlot³,  Yasmira Savón-Vaciano^{1,4},  Loexis Rodríguez-Montoya¹

¹Centro Meteorológico Provincial (CMP), Guantánamo, Cuba.

²Centro de Desarrollo de la Montaña, CITMA, Guantánamo, Cuba.

³Centro de Física de la Atmósfera sede INSMET, La Habana, Cuba.

⁴Universidad Minera de San Petersburgo, St Petersburg, Rusia.

RESUMEN: La investigación se realizó para evaluar el desempeño de parametrizaciones físicas y las condiciones de frontera estática del modelo de predicción e investigación meteorológica, WRF, para el estudio de los topoclimas en la región oriental de Cuba. En tres etapas, se realizaron simulaciones del clima local a corto plazo con combinaciones de parametrizaciones cúmulo, microfísica y de capa límite planetaria. En la tercera etapa se evaluó, además, el aporte al desempeño del modelo de la integración de bases de datos espaciales nacionales de alta resolución como condiciones de frontera estática. Como conjunto de datos de condiciones iniciales y de contorno se utilizó ERA5, con tres dominios anidados a resoluciones espaciales de 30, 10 y 3.33 km. El estudio se realizó para la temperatura y precipitación de los periodos lluvioso y poco lluvioso del año 2018. Los resultados obtenidos mostraron que, de los elementos climáticos en estudio, la precipitación mostró la mayor incertidumbre en todos los experimentos y casos de estudio. Análogamente, las bases de datos espaciales de alta resolución que se integraron al modelo como condiciones de frontera estática, incidieron en el desempeño de WRF a escala local. El mejor desempeño del WRF para el estudio de los topoclimas en la región oriental de Cuba se alcanzó con las parametrizaciones de Kain-Fritsch como cúmulo, la microfísica de Thompson y Yonsei University como opción de capa límite planetaria, activo viento topográfico por el método de corrección por geoformas.

Palabras claves: Topoclima, islas tropicales, escala local.

ABSTRACT: The research was carried out to evaluate the performance of physical parameterizations and static boundary conditions of the meteorological prediction and research model, WRF, for the study of topoclimates in the eastern region of Cuba. In three stages, short-term local climate simulations were performed with combinations of cumulus, microphysics, and planetary boundary layer parameterizations. In the third stage, the contribution to model performance of the integration of high-resolution national spatial databases as static boundary conditions was also evaluated. ERA5 was used as the initial and boundary conditions data set, with three nested domains at spatial resolutions of 30, 10 and 3.33 km. The study was carried out for the temperature and precipitation of the rainy and dry periods of 2018. The results obtained showed that, of the climatic elements under study, precipitation showed the greatest uncertainty in all experiments and case studies. Similarly, the high-resolution spatial databases that were integrated into the model as static boundary conditions influenced the performance of WRF at the local scale. The best performance of the WRF for the study of topoclimates in the eastern region of Cuba was achieved with the Kain-Fritsch parameterizations as a cluster, the microphysics of Thompson and Yonsei University as the planetary boundary layer option, active topographic wind by the method of geofom correction.

Key words: Topoclima, tropical islands, local scale.

*Autor por correspondencia: Arisleidys Peña-de la Cruz. E-mail: aris.delacruz@gtm.insmet.cu

Recibido: 02/06/2023

Aceptado: 07/09/2023

Conflicto de interés: Declaramos, no tener ningún conflicto de interés.

Contribución de autoría: **Concepción de la idea:** Arisleidys Peña-de la Cruz, Ricardo Delgado Téllez. **Diseño de la investigación, configuración y corridas del WRF y el análisis de los resultados:** Arisleidys Peña-de la Cruz, Ricardo Delgado Téllez, Maibys Sierra-Lorenzo y Arnoldo Benzanilla Morlot. **Manejo y procesamiento de los datos de la red de estaciones:** Loexis Rodríguez Montoya y Yasmira Savon Vaciano. **Realización de las figuras y tablas** Ricardo Delgado Téllez y Arisleidys Peña-de la Cruz. **Manuscrito:** Arisleidys Peña-de la Cruz. **Todos los autores contribuyeron en la revisión de los antecedentes, los análisis estadísticos y la revisión y edición del manuscrito.**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas montañosos ofrecen numerosas y diversas fuentes de servicios, siendo el suministro de agua uno de los más importantes (Liniger & Weingartner, 2018). En Cuba los recursos y servicios del medio ambiente, algunos clasificados como núcleos significativos de biodiversidad (Viña-Bayés, 2001; Mateo-Rodríguez, 2016), tienen una fuerte relación con el clima de las montañas a escala local (Núñez-Jiménez & Viña-Bayés, 1989; Álvarez & Mercadet, 2012). Varias son las razones de esta estrecha dependencia, por ejemplo el aporte relevante de las lluvias orográficas y, a su vez, el efecto de sombras pluviométricas; de igual manera la ubicación en estos ecosistemas de grandes reservas de humedad (Trusov & Davitaya, 1965; Trusov, 1967; Rodríguez Rodríguez, 2005). Análogamente, los ecosistemas agroproductivos de las regiones montañosas tienen significativos impactos en los balances macroeconómicos y la vida de los montañeses (FIDA, 2019; ONEI, 2023).

Los antecedentes de estudios del clima, desde la escala espacial, se dividen en macroclima, mesoclima, clima local, y microclima (Yoshino, 1975). El término de topoclima es utilizado en referencia del clima a escala local en las montañas, (Geiger *et al.*, 2003; Barry, 2008). Entre las particularidades en los estudios de los topoclimas están las influencias que introducen los factores geográficos locales como la altura, exposición, forma del relieve, vertientes entre otros, en los procesos y elementos del clima en las montañas (Montenegro, 1989; Delgado-Téllez & Peña-de la Cruz, 2019).

Una variante metodológica que facilita el estudio y predicción de los topoclimas consiste en el uso de los modelos numéricos dinámicos (Fernando *et al.*, 2017). El WRF (Skamarock *et al.*, 2008), es en la actualidad uno de los más usados con este fin (Qiu *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2018; Fernando *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020). Varios estudios han evaluado el desempeño del modelo WRF en simulaciones climáticas a muy alta resolución (Marta-Almeida *et al.*, 2016; Raghavan *et al.*, 2016; Kryza *et al.*, 2017; Annor *et al.*, 2018). Los resultados obtenidos demuestran que la eficiencia del modelo depende en gran medida de la configuración más adecuada de las parametrizaciones físicas (Giorgi, 2019; Varga & Breuer, 2020). Por otra parte, la efectividad de las configuraciones y parametrizaciones varía entre diferentes regiones geográficas y periodos del año, por lo que se requiere atender estas singularidades en las áreas de estudio (Katragkou *et al.*, 2015). En este sentido, los estudios de sensibilidad podrían ser útiles para la selección de esquemas de parametrización con desempeño favorable en climas tropicales insulares (Wootten *et al.*, 2016; Afrizal & Surussavadee, 2018).

En Cuba se han realizado aportes en los estudios del clima actual y proyección del clima futuro; estos últimos, aún con limitaciones en cuanto a la resolución espacial para la evaluación de impactos y adaptación al cambio climático en algunos sectores (Centella-Artola, 2019; Planos-Gutiérrez, 2020). Esta investigación tiene como objetivo evaluar el desempeño de parametrizaciones físicas y las condiciones de frontera estática en el WRF para el estudio de los topoclimas del oriente de Cuba. Los resultados pudieran favorecer el uso del WRF para la modelación del clima local, actual y futuro, en las montañas de islas tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Base de datos observadas.

La investigación se realizó en la región oriental de Cuba. En el área se ubican las regiones naturales de Sierra del Turquino, Sierra de la Gran Piedra, Alturas de Cristal-Baracoa y la Altiplanicie del Nipe (Núñez-Jiménez & Viña-Bayés, 1989), que en el trabajo se denominaron macizos Sierra Maestra y Nipe-Sagua-Baracoa (CITMA, 1999). Dentro del área de estudio se consideraron, además, las regiones naturales de los valles de Guantánamo, Santiago, Central y del Cauto y la Región Camaguey-Maniabón. El rango altitudinal analizado estuvo en el rango de 0 a 1974 msnm (Portela, 1989). Para la validación de los resultados se utilizó las bases de datos de las 20 estaciones meteorológicas del Sistema Meteorológico Nacional ubicadas en el área de estudio (figura 1, tabla 1).

Las estaciones se agruparon por altitud sobre el nivel del mar (tabla 1), factor geográfico analizado en la generalidad de los estudios del clima de montañas realizados en Cuba (Peña-de la Cruz *et al.*, 2021). Se definió un grupo específico para las estaciones localizadas a menor o igual (\leq) de 2 km de la costa, por su significativa influencia marina.

El estudio se realizó en los meses de junio y diciembre del 2018, meses representativos de los periodos lluvioso y poco lluvioso en Cuba (Trusov & Davitaya, 1965; Rodríguez Rodríguez, 2005).

Condiciones iniciales y de frontera.

En la investigación se utilizó el modelo no hidrostático de mesoescala Advanced Research WRF (ARW) versión v.4.0.0. (NCAR, 2018) Se seleccionó el ERA5 (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>), como condición inicial y de contorno (ICBC por sus siglas en idioma inglés). Estos datos se tomaron con resolución temporal de una hora y resolución espacial horizontal de 31 km y 137 niveles verticales hasta una altura de 80 km.

En esta evaluación de sensibilidad del WRF se definieron tres dominios de 30, 10 y 3.33 km respecti-

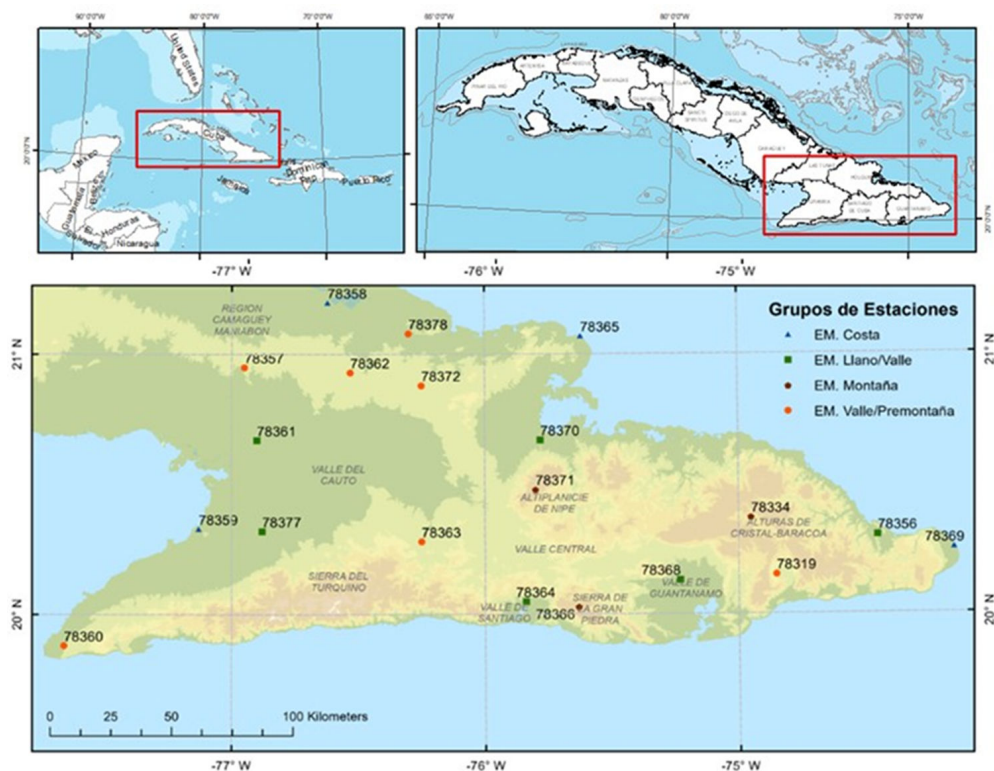


Figura 1. Área de estudio región oriental de Cuba; red de estaciones meteorológicas agrupadas por altitud.

Tabla 1. Categorías de asociación por ubicación, altitud y distancia al mar, de las estaciones meteorológicas en el estudio de sensibilidad.

Categorías	Altitud (msnm)	Distancia al mar (Km)
EM (Estación Meteorológica) Costa	< 50	≤ 2
EM Llano-Valle	< 50	> 2
EM Valle-Premontaña	51 a 200	> 2
EM Montaña	> 200	> 2

vamente. Los criterios asumidos en las escalas espaciales, además de ser adecuadas para el estudio de los topoclimas, tomaron en cuenta los resultados de Wootten y colaboradores en cuanto a resolver el pronunciado gradiente de precipitación que se observa sobre las islas de la cuenca del Caribe (op. cit.). La investigación empleó la técnica de anidamiento unidireccional sin feedback (figura 2, tabla 2). El modelo se inicializó a las 0000 UTC en todos los casos y se configuró con 30 niveles verticales. Se descartaron las primeras 6 y 12 horas de integración para la temperatura y precipitación respectivamente, con reinicio cada diez días, pertinente para estudios climáticos (Liu *et al.*, 2018; Varga & Breuer, 2020).

En el estudio se utilizó los datos de diagnóstico del modelo WRF de la temperatura y precipitación en superficie a la resolución espacial de 3.33km. Estos diagnósticos se obtuvieron de las ubicaciones oficiales de las estaciones meteorológicas (figura 1). En la configuración del WRF se utilizó funciones referentes a resúmenes climáticos. La verificación de la capacidad del modelo para reproducir el comportamiento de los elementos climáticos se realizó por el método del vecino más cercano, comparando el valor de los puntos diagnósticos con el valor observado en las estaciones

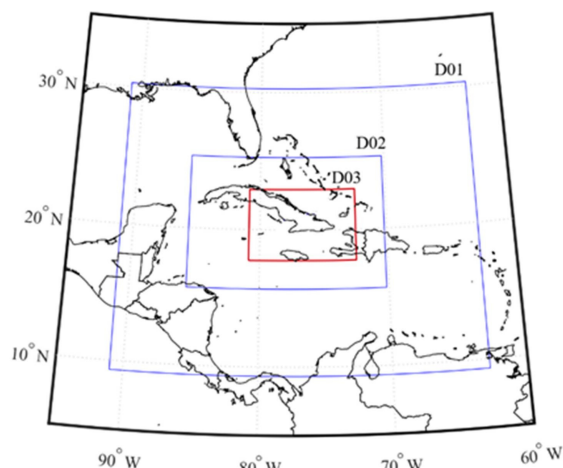


Figura 2. Dominios del estudio de sensibilidad de parametrizaciones del WRF en los topoclimas de la región oriental de Cuba.

meteorológicas. Como valores de los acumulados de precipitación del modelo se utilizó la suma de los resultados de cúmulo y microfísica de los experimentos en estudio. En los análisis se utilizaron los estadígrafos error cuadrático medio (MSE) y coeficiente de correlación de Pearson (R). El control de calidad de

los datos de las estaciones meteorológicas se realizó mediante estadísticas descriptivas. En los resultados de este estudio de sensibilidad se compararon los valores de los estadígrafos por ubicación y periodos para cada etapa y experimentos (tabla 3).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño experimental

Debido a los altos costos computacionales, se diseñó un esquema experimental en tres etapas. Los 16 experimentos fueron identificados por códigos (tabla 3).

En la primera etapa de la investigación se evaluó el rendimiento de tres parametrizaciones de microfísica y dos de cúmulos del modelo WRF. Estas parametrizaciones físicas fueron escogidas por ser las de mejores

resultados en estudios realizados en zonas montañosas de América del Sur y Central e islas del Caribe, con énfasis en Cuba (Mayor & Mesquita, 2015; Wooten *et al.*, 2016; Junquas *et al.*, 2017; Moya-Álvarez *et al.*, 2018, 2019; Varona-González *et al.*, 2018; Martínez-Castro *et al.*, 2019; Sierra-Lorenzo *et al.*, 2020). El resto de los parámetros y configuraciones fueron las predeterminadas en el modelo.

En la segunda etapa, se valoró el desempeño de dos parametrizaciones de capa límite planetaria (PBL, por sus siglas en idioma inglés), bajo el mismo principio de la etapa anterior de mejores resultados en montañas (op. cit.). En la parametrización de Yonsei University se evaluaron dos métodos de corrección topográfica del viento en superficie: Jiménez (Jiménez & Dudhia, 2012) y UV. Este último fue incluido al modelo a

Tabla 2. Características de los dominios utilizados en el estudio.

Característica	D01	D02	D03
Coordenadas del centro	19.79, -76.89	20.46, -77.90	20.34, -76.65
Paso de rejilla horizontal	30 km	10 km	3.33 km
Dimensiones x,y,z	100x80x30	163x109x30	265x175x30
Relación de paso	1	3	3
Paso de integración	120s	40s	13.3s

Tabla 3. Diseño experimental por etapas del estudio de sensibilidad del WRF para estudio de topoclimas.

Primera Etapa			
Microfísica	Cúmulo	Códigos de los experimentos (CE)	
Lin (Lin <i>et al.</i> , 1983)	Grell-Freitas (Grell & Freitas, 2014)	01	
Lin	Kain-Fritsch (Kain, 2004)	02	
Morrison de doble momento (Morrison <i>et al.</i> , 2009)	Grell-Freitas	03	
Morrison de doble momento	Kain-Fritsch	04	
Thompson (Thompson <i>et al.</i> , 2004)	Grell-Freitas	05	
Thompson	Kain-Fritsch	06	
Segunda Etapa			
Capa Límite Planetaria (PBL)	Microfísica	Cúmulo	CE
Mellor Yamada-Janjic (Mellor & Yamada, 1982; Janjić, 2001)	Morrison de doble momento	Grell-Freitas	07
Yonsei University/ Viento-Topo Método Jiménez	Morrison de doble momento	Grell-Freitas	08
Yonsei University/ Viento-Topo Método UV	Morrison de doble momento	Grell-Freitas	09
Mellor Yamada-Janjic	Thompson	Kain-Fritsch	10
Yonsei University/ Viento-Topo Método Jiménez	Thompson	Kain-Fritsch	11
Yonsei University/ Viento-Topo Método UV	Thompson	Kain-Fritsch	12
Tercera Etapa			
Condición estática	Capa Límite Planetaria (PBL)	Microfísica	Cúmulo
		Morrison de doble momento	Grell-Freitas
		Morrison de doble momento	Grell-Freitas
Bases de datos espaciales nacionales de alta resolución	Yonsei University/ Viento-Topo Método UV	Thompson	Kain-Fritsch
		Thompson	Kain-Fritsch

Tabla 4. Comportamiento de los valores mensuales de las variables climáticas de los casos de estudio con respecto a la norma climatológica 1981-2010.

PRECIPITACIÓN		
Periodo de estudio	Acumulado del mes (mm)	Por ciento (%)
Junio 2018	64.8	50
Diciembre 2018	47	87
TEMPERATURA		
Periodo de estudio	Valor medio del mes (° C)	Anomalía (° C)
Junio 2018	25.9	-1.1
Diciembre 2018	20.6	-0.2

partir de la versión 3.5 (NCAR, 2018). El método de Jiménez representa el arrastre adicional forzado por la topografía analizado por subcuadrícula, que mejora la modelación del flujo en las cimas de las colinas. El método UV, es una corrección más simple relacionada con la variación del terreno (geoformas). Ambos se activan sólo en el dominio de mayor resolución. En esta etapa las parametrizaciones de microfísica y cúmulo fueron las de mejores resultados de la anterior.

La tercera etapa del estudio se realizó con el objetivo de estimar el aporte al desempeño del WRF de la integración de bases de datos espaciales nacionales de alta resolución como condiciones de frontera estática. En el estudio se modificaron las variables relieve, máscara de tierra (interface océano-suelo), tipo de cobertura y tipo de suelo. En todos los casos se aseguró la compatibilidad con el modelo.

Para generar los datos de relieve se utilizó el modelo global de superficie ALOS WORLD 3D con resolución horizontal de 30 metros por pixel derivado de la misión japonesa PRISM. La base de datos de máscara de tierra se integró al modelo a partir del catastro rural nacional, escala 1:10 000, complementada con los datos ALOS WORLD 3D. Esta máscara de tierra se aplicó a todos los datos generados: relieve, tipo de cobertura y tipo de suelo, para garantizar homogeneidad en la modelación. Los datos del tipo de suelo fueron derivados del mapa de suelos nacional escala 1:250 000. Para el tipo de cobertura se utilizó la clasificación de formaciones vegetales de Capote y Berazaín (Capote & Berazaín, 1984) en el mapa digital forestal nacional 1:100 000, complementado con datos del catastro rural nacional. Tanto los datos de suelo como de cobertura se ajustaron a las categorías internacionales del WRF.

En esta etapa se mantuvo las parametrizaciones de microfísica y cúmulo de la segunda. Se utilizó la parametrización de PBL Yonsei University con corrección topográfica del viento en superficie por el método de UV por demostrar el mejor desempeño en la anterior etapa.

En la investigación se mantuvo activa la parametrización de cúmulos para la precipitación en la resolución de 3.33 km, tomando en cuenta antecedentes en regiones montañosas (op. cit.).

Particularidades del estudio

El oriente de Cuba se caracteriza por su relieve complejo. De las 20 estaciones meteorológicas en el área de estudio, el 50 % se ubican en montañas Muy bajas, Bajas y Medias (Spiridonov, 1981) que durante el estudio se le denominaron ubicadas en Montañas y Valle-Premontañas (figura 1). Cabe destacar que, como lo hacen notar Montenegro y Viña Vallés, (Montenegro, 1993; Viña-Bayés, 2001), el comportamiento climático de la región oriental de Cuba tiene una estrecha relación con los macizos montañosos Sierra Maestra y Nipe-Sagua-Baracoa. El comportamiento de los valores mensuales de temperatura y precipitación en los meses de estudio, con respecto a la norma climatológica 1981-2010, se resumen en la tabla 4.

Parametrizaciones físicas del WRF

En la evaluación de desempeño del WRF para la temperatura trihoraria, en las ubicaciones Valle-Premontaña y Montaña estrechamente vinculadas con los topoclimas, los valores de R estuvieron en el rango de 0.72 a 0.91 para el periodo lluvioso; en el periodo poco lluvioso los valores estuvieron entre 0.66 a 0.91 (tabla 5). En cuanto al acumulado diario de precipitación, el rango de R estuvo entre -0.08 a 0.32 para el periodo lluvioso y en las mismas ubicaciones. En el periodo poco lluvioso, la R del WRF se comportó en un rango de -0.24 a 0.39 (tabla 6).

Análogamente, en estas ubicaciones, el estadígrafo de MSE resultante del estudio para la temperatura trihoraria, estuvo en el rango de 2.05 a 1.62 oC en el periodo lluvioso. En el periodo poco lluvioso el rango estuvo entre 2.91 a 1.10 oC (tabla 7). Sin embargo, a pesar de los relativos poco favorables valores de MSE, los valores demuestran fuertes R para esta variable en la generalidad de los experimentos. Por lo que, como error sistemático en los datos, pudiera ser corregido en los casos necesarios. Para esta variable, las modificaciones en las condiciones de fronteras estáticas implementadas en la etapa 3 de la investigación, no elevaron el desempeño del modelo. Estos resultados son coherentes con el tratamiento del WRF a la temperatura, como solución directa del núcleo dinámico, no como variable parametrizable (Wang et al., 2020).

Tabla 5. Valores de correlación, para la temperatura trihoraria, por ubicación y periodos para cada etapa y experimentos. En cursiva los valores referidos a ubicaciones relacionadas con los topoclimas.

Ubicación/Periodos	CE-01	CE-02	CE-03	CE-04	CE-05	CE-06	CE-07	CE-08	CE-09	CE-10	CE-11	CE-12	CE-13	CE-14	CE-15	CE-16
EM Costa/PLL	0.74	0.73	0.81	0.77	0.75	0.79	0.77	0.80	0.81	0.71	0.79	0.80	0.80	0.79	0.78	0.82
EM Llano/PLL	0.79	0.82	0.85	0.81	0.83	0.84	0.75	0.80	0.84	0.72	0.78	0.84	0.85	0.86	0.82	0.85
EM Valle-Premontaña/PLL	0.72	0.80	0.82	0.83	0.82	0.83	0.78	0.82	0.84	0.79	0.81	0.83	0.89	0.87	0.91	0.90
EM Montaña/PLL	0.77	0.75	0.80	0.78	0.78	0.82	0.77	0.81	0.82	0.78	0.81	0.82	0.84	0.84	0.86	0.89
EM Costa/PPLL	0.52	0.51	0.56	0.49	0.49	0.52	0.61	0.62	0.63	0.59	0.61	0.62	0.45	0.44	0.52	0.75
EM Llano/PPLL	0.74	0.72	0.76	0.70	0.73	0.73	0.72	0.73	0.79	0.71	0.74	0.77	0.81	0.82	0.79	0.84
EM Valle-Premontaña/PPLL	0.67	0.66	0.77	0.73	0.76	0.76	0.77	0.78	0.80	0.71	0.78	0.80	0.81	0.83	0.85	0.91
EM Montaña/PPLL	0.72	0.71	0.74	0.68	0.75	0.75	0.81	0.79	0.83	0.76	0.78	0.82	0.87	0.87	0.86	0.89
VALORES MEDIOS POR EXPERIMENTOS	0.71	0.71	0.76	0.72	0.74	0.76	0.75	0.77	0.80	0.72	0.76	0.79	0.79	0.79	0.80	0.86

Tabla 6. Valores de correlación, para precipitación diaria, por ubicación y periodos en cada etapa y experimentos. En cursiva los valores referidos a ubicaciones relacionadas con los topoclimas.

Ubicación/Periodos	CE-01	CE-02	CE-03	CE-04	CE-05	CE-06	CE-07	CE-08	CE-09	CE-10	CE-11	CE-12	CE-13	CE-14	CE-15	CE-16
EM Costa/PLL	0.06	-0.03	0.12	0.03	0.07	0.05	-0.03	0.09	0.11	-0.27	0.02	0.05	0.42	0.43	0.43	0.45
EM Llano/PLL	0.06	0.01	0.14	0.04	0.10	0.08	-0.06	0.06	0.09	-0.13	0.03	0.07	0.27	0.28	0.29	0.34
EM Valle-Premontaña/PLL	0.06	0.02	0.07	0.04	0.06	0.09	-0.08	0.07	0.10	-0.01	0.08	0.07	0.29	0.27	0.28	0.32
EM Montaña/PLL	0.03	-0.01	0.07	0.02	0.05	0.08	-0.06	0.07	0.09	0.01	0.08	0.10	0.26	0.25	0.26	0.26
EM Costa/PPLL	0.05	0.02	0.09	0.01	0.08	0.05	0.03	0.08	0.07	0.02	0.03	0.09	0.25	0.26	0.23	0.34
EM Llano/PPLL	0.07	0.04	0.10	-0.02	0.06	0.09	0.01	0.05	0.07	-0.06	0.03	0.08	0.42	0.44	0.42	0.47
EM Valle-Premontaña/PPLL	0.06	0.03	0.06	-0.01	-0.03	0.06	-0.24	0.06	0.10	-0.11	0.07	0.08	0.37	0.35	0.36	0.39
EM Montaña/PPLL	0.05	0.01	0.07	0.02	0.02	0.07	-0.08	0.06	0.11	0.02	0.07	0.08	0.35	0.35	0.37	0.33
VALORES MEDIOS POR EXPERIMENTOS	0.05	0.00	0.10	0.03	0.07	0.07	-0.04	0.07	0.09	-0.07	0.05	0.08	0.33	0.33	0.33	0.36

Tabla 7. Valores de error cuadrático medio para la temperatura trihoraria, en °C, por ubicación y periodos en cada etapa y experimentos.

Ubicación/Periodos	CE-01	CE-02	CE-03	CE-04	CE-05	CE-06	CE-07	CE-08	CE-09	CE-10	CE-11	CE-12	CE-13	CE-14	CE-15	CE-16
EM Costa/PLL	1.39	1.42	1.38	1.38	1.44	1.42	1.76	1.74	1.78	1.78	1.65	1.59	3.61	3.65	2.52	1.30
EM Llano/PLL	1.69	1.73	1.77	1.72	1.73	1.70	1.67	1.74	1.77	1.75	1.61	1.60	2.33	2.37	2.31	1.34
EM Valle-Premontaña/PLL	1.96	1.73	1.72	1.75	1.78	1.72	1.78	1.73	1.73	1.83	1.73	1.67	1.92	1.93	1.94	1.70
EM Montaña/PLL	1.80	1.85	1.62	1.77	1.80	1.72	1.87	1.87	1.97	1.78	1.90	1.89	2.04	2.05	2.02	2.01
EM Costa/PPLL	1.99	2.04	2.09	2.08	2.05	2.02	1.68	1.56	1.55	1.62	1.58	1.56	6.13	6.20	6.49	1.80
EM Llano/PPLL	2.53	2.65	2.74	2.72	2.59	2.60	2.02	1.99	1.92	1.87	1.86	1.83	3.30	3.39	3.29	1.59
EM Valle-Premontaña/PPLL	2.27	2.33	2.21	2.40	2.35	2.33	1.99	1.91	1.89	1.86	1.72	1.70	2.84	2.91	2.65	1.10
EM Montaña/PPLL	2.26	2.31	2.19	2.34	2.32	2.16	2.06	2.10	2.01	1.97	2.03	1.97	2.32	2.34	2.12	1.30
VALORES MEDIOS POR EXPERIMENTOS	1.89	2.01	1.97	2.02	2.01	1.96	1.85	1.83	1.83	1.81	1.76	1.73	3.06	3.11	2.92	1.52

Tabla 8. Valores de error cuadrático medio para la precipitación diaria, en mm, por ubicación y periodos en cada etapa y experimentos. En cursiva los valores referidos a ubicaciones relacionadas con los topoclimas.

Ubicación/Periodos	CE-01	CE-02	CE-03	CE-04	CE-05	CE-06	CE-07	CE-08	CE-09	CE-10	CE-11	CE-12	CE-13	CE-14	CE-15	CE-16
EM Costa/PLL	3.85	17.26	3.30	10.99	6.16	8.76	8.05	5.01	5.34	10.74	7.08	6.76	3.58	3.14	3.38	2.33
EM Llano/PLL	6.47	12.08	4.38	13.31	6.69	7.56	8.45	5.68	5.62	7.94	9.68	7.56	6.84	6.38	5.84	5.86
EM Valle-Premontaña/PLL	10.09	9.37	4.19	7.59	5.74	6.45	14.18	11.93	7.88	9.42	7.79	6.45	6.93	4.83	5.45	4.33
EM Montaña/PLL	7.37	8.40	8.76	10.94	10.15	6.74	10.51	16.83	10.48	10.04	9.81	8.74	5.07	6.08	9.02	5.27
EM Costa/PPLL	2.88	8.36	2.81	8.13	4.38	6.66	3.86	3.97	4.72	7.60	9.51	3.66	6.55	6.29	8.32	7.9
EM Llano/PPLL	4.60	11.67	6.78	14.43	6.92	5.63	9.30	6.63	4.98	4.18	5.10	2.63	7.19	8.09	8.68	8.35
EM Valle-Premontaña/PPLL	4.92	5.31	5.90	9.48	4.28	5.14	3.50	3.57	3.82	6.91	4.33	5.14	4.01	6.01	5.92	4.11
EM Montaña/PPLL	5.56	7.00	5.29	9.70	9.77	4.88	7.03	8.40	4.38	5.86	4.83	4.88	6.56	9.03	7.53	4.12
VALORES MEDIOS POR EXPERIMENTOS	5.72	9.93	5.18	10.57	6.76	6.48	8.11	7.75	5.90	7.84	7.27	5.73	5.84	6.23	6.77	5.28

En cuanto a los valores de MSE para el acumulado diario de precipitación del periodo lluvioso en los topoclimas, estuvo en el rango de 14.18 a 4.19 mm. En el periodo poco lluvioso en el rango de 9.77 a 3.50 mm (tabla 8).

El estudio indica que, para una isla tropical con una compleja orografía como la región oriental de Cuba, es arduo identificar una parametrización de la física del WRF que resuelva la pluralidad de factores involucrados en la dinámica de sus topoclimas. No obstante, los resultados mostraron un mejor desempeño del modelo en la tercera etapa de la investigación para la mayoría de los experimentos (tablas 5-8). Ciertamente, no muchos antecedentes validan los datos estáticos que se incluyen en el WRF para estudio del clima en regiones insulares tropicales. Por citar algunos ejemplos, las resoluciones espaciales adecuadas para la interacción tierra-océano teniendo en cuenta, en no pocos casos, el pequeño tamaño de la superficie sólida; el posible efecto de los datos procedentes de capas globales, derivadas de algoritmos optimizados para las grandes masas continentales, y tal vez, menos equivalentes en pequeños territorios tropicales insulares. En este estudio, la actualización de las bases de datos espaciales predeterminadas en el modelo por bases de datos nacionales de alta resolución, como condiciones de frontera estática, contribuyó a minimizar imprecisiones en el análisis. Una de las posibles causas pudo ser el aporte a la sensibilidad del modelo en el análisis de los factores locales formadores del clima (Lecha et al., 1994).

En el análisis de los resultados es preciso insistir que, para el estudio, se utilizaron los valores de temperatura y precipitación de las celdas del WRF más cercanas a las estaciones meteorológicas. Estos valores del modelo, con resolución espacial de 3.33 km, pudieran reflejar una diferencia de altitud con las estaciones debido a la compleja orográfica del área de estudio. Al mismo tiempo, solo se realizaron experimentos durante un mes del periodo lluvioso e igual tiempo del periodo poco lluvioso del 2018, debido a los altos costos computacionales. Por otra parte, se asumieron otras fuentes de errores probables en la investigación relacionados con el propio WRF y el conjunto de datos ERA5 (Wang et al., 2020).

En esta investigación el mejor desempeño del WRF para el estudio de los topoclimas en la región oriental de Cuba se alcanzó con las parametrizaciones de Kain-Fritsch como cúmulo, la microfísica de Thompson y Yonsei University como opción de capa límite planetaria, activo viento topográfico por el método de corrección por el método UV. La configuración de PBL de Yonsei University activo corrección topográfica del viento en superficie por un método basado en geoformas, es coherente con el tratamiento de jerarquía que, como factor geográfico formador del clima a escala local en las montañas de Cuba, han sido tratadas las formas del relieve (Delgado-Téllez & Peña-de la Cruz, 2019; Peña-de la Cruz et al., 2020)

CONCLUSIONES

La calidad de las bases de datos espaciales de alta resolución que se utiliza en el WRF como condiciones de frontera estática, incide en el desempeño del modelo para el estudio de los topoclimas en la región oriental de Cuba.

En esta investigación el mejor desempeño del WRF para el estudio de los topoclimas en la región oriental de Cuba se alcanza con las parametrizaciones de Kain-Fritsch como cúmulo, la microfísica de Thompson y Yonsei University como opción de capa límite planetaria, activo viento topográfico por el método de corrección por geoformas.

La investigación que da origen a los resultados presentados recibió fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales bajo el código PN211LH009-036 “Impactos del cambio climático a mediano plazo en los topoclimas asociados al café y cacao en Cuba”.

REFERENCIAS

- Afrizal, T. & Surussavadee, Ch. 2018. “High-Resolution Climate Simulations in the Tropics with Complex Terrain Employing the CESM/WRF Model”. *Advances in Meteorology*, 2018: 1-15, ISSN: 1687-9309, 1687-9317, DOI: [10.1155/2018/5707819](https://doi.org/10.1155/2018/5707819).
- Álvarez, A. F. & Mercadet, A. 2012. *El sector forestal cubano y el cambio climático*. La Habana, Cuba.: Instituto de Investigaciones Agro-Forestal. Ministerio de la Agricultura., 248 p.
- Annor, T.; Lamptey, B.; Wagner, S.; Oguntunde, P.; Arnault, J.; Heinzeller, D. & Kunstmann, H. 2018. “High-resolution long-term WRF climate simulations over Volta Basin. Part 1: validation analysis for temperature and precipitation”. *Theoretical and Applied Climatology*, 133(3-4): 829-849, ISSN: 0177-798X, 1434-4483, DOI: [10.1007/s00704-017-2223-5](https://doi.org/10.1007/s00704-017-2223-5).
- Barry, R. G. 2008. *Mountain Weather and Climate*. Boulder, USA: Cambridge University Press, 532 p., ISBN: 978-0-521-68158-2.
- Capote, R. P. & Berazaín, R. 1984. “Clasificación de las formaciones vegetales de Cuba”. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 5(2): 27-75, ISSN: 0253-5696.
- Centella-Artola, A. 2019. *Los modelos climáticos y la estimación del clima futuro*. (ser. Entendiendo el cambio climático), La Habana, Cuba: AMA, 48 p., ISBN: 978-959-300-157-1.
- CITMA 1999. *Decreto - Ley no. 201 Del Sistema Nacional de Áreas Protegidas*. Sección Ordinaria, cod. Gaceta Oficial de la República de Cuba., no. 84, p. 1355.

- Delgado-Téllez, R. & Peña-de la Cruz, A. 2019. "Artículo Original Cartografía de variables climáticas basada en gradientes, sistemas de expertos y SIG Cartography of climate variables using gradients, expert systems and GIS".
- Fernando, H. J. S.; H. P.; Katopodes, F.; Pardyjak, E.; Dunn, P.; Pratt, T.; Hoch, S.; Steenburgh, J.; Whiteman, D.; Pu, Z.; & F.J. de Wekker, S. 2017. *Mountain Terrain Atmospheric Modeling and Observations (MATERHORN) Program*. Reporte Final del Programa, no. N00014-11-1-0709, Notre Dame, Estados Unidos.: University of Notre Dame, 43 p.
- Fernando, H. J. S.; Mann, J.; Palma, J. M. L. M.; Lundquist, J. K.; Barthelmie, R. J.; Belo-Pereira, M.; Brown, 2019. "The Perdigão: Peering into Microscale Details of Mountain Winds". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(5): 799-819, ISSN: 0003-0007, 1520-0477, DOI: [10.1175/BAMS-D-17-0227.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0227.1).
- FIDA 2019. *Proyecto de Desarrollo Cooperativo Agroforestal*. (ser. División de América Latina y el Caribe. Departamento de Administración de Programas), no. 2000002243, República de Cuba: Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola.
- Geiger, R.; Aron, R. H. & Todhunter, P. 2003. *The Climate Near the Ground*. sixth edition ed., Lanham, MD, USA: Rowman and Littlefield Publishers, ISBN: 978-3-322-86582-3.
- Giorgi, F. 2019. "Thirty Years of Regional Climate Modeling: Where Are We and Where Are We Going next?". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, ISSN: 2169-897X, 2169-8996, DOI: [10.1029/2018JD030094](https://doi.org/10.1029/2018JD030094), Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2018JD030094>, [Consulted: May 22, 2021].
- Grell, G. A. & Freitas, S. R. 2014. "A scale and aerosol aware stochastic convective parameterization for weather and air quality modeling". *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(10): 5233-5250, ISSN: 1680-7324, DOI: [10.5194/acp-14-5233-2014](https://doi.org/10.5194/acp-14-5233-2014).
- Janjić, Z. I. 2001. *Nonsingular Implementation of the Mellor-Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso Model*. NCEP Office Note 437, Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.459.5434&rep=rep1&type=pdf>.
- Jiménez, P. A. & Dudhia, J. 2012. "Improving the Representation of Resolved and Unresolved Topographic Effects on Surface Wind in the WRF Model". *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(2): 300-316, ISSN: 1558-8424, 1558-8432, DOI: [10.1175/JAMC-D-11-084.1](https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-084.1).
- Junquas, C.; Takahashi, K. & Condom, T. 2017. "Understanding the influence of orography on the precipitation diurnal cycle and the associated atmospheric processes in the Central Andes". *Climate Dynamics*, 50(11-12): 3995-4017.
- Kain, J. S. 2004. "The Kain-Fritsch Convective Parameterization: An Update". *Journal of Applied Meteorology*, 43(1): 170-181, ISSN: 0894-8763, 1520-0450, DOI: [10.1175/1520-0450\(2004\)043<0170:TKCPAU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043<0170:TKCPAU>2.0.CO;2).
- Katragkou, E.; García-Díez, M.; Vautard, R.; Sobolowski, S.; Zanis, P.; Alexandri, G.; Cardoso, R. M.; Colette, A.; Fernandez, J.; Gobiet, A.; Goergen, K.; Karacostas, T.; Knist, S.; Mayer, S.; Soares, P. M. M.; Pytharoulis, I.; Tegoulis, I.; Tsikerdekis, A. & Jacob, D. 2015. "Regional climate hindcast simulations within EURO-CORDEX: evaluation of a WRF multi-physics ensemble". *Geoscientific Model Development*, 8(3): 603-618, ISSN: 1991-9603, DOI: [10.5194/gmd-8-603-2015](https://doi.org/10.5194/gmd-8-603-2015).
- Kryza, M. A.; Wałaszek, K.; Ojrzyńska, H.; Szymanowski, M.; Werner, M. & Dore, A. J. 2017. "High-Resolution Dynamical Downscaling of ERA-Interim Using the WRF Regional Climate Model for the Area of Poland. Part 1: Model Configuration and Statistical Evaluation for the 1981-2010 Period". *Pure and Applied Geophysics*, 174(2): 511-526, ISSN: 0033-4553, 1420-9136, DOI: [10.1007/s00024-016-1272-5](https://doi.org/10.1007/s00024-016-1272-5).
- Lin, Y.-L.; Farley, R. D. & Orville, H. D. 1983. "Bulk Parameterization of the Snow Field in a Cloud Model". *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22(6): 1065-1092, ISSN: 0733-3021, DOI: [10.1175/1520-0450\(1983\)022<1065:BPOTSF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1983)022<1065:BPOTSF>2.0.CO;2).
- Liniger, H. & Weingartner, R. 2018. "Montañas y recursos hídricos". *Revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, 49(195), ISSN: 0251-1584, Available: <https://www.fao.org/3/w9300s/w9300s08.htm>, [Consulted: April 9, 2022].
- Liu, P.; Qiu, X.; Yang, Y.; Ma, Y. & Jin, S. 2018. "Assessment of the Performance of Three Dynamical Climate Downscaling Methods Using Different Land Surface Information over China". *Atmosphere*, 9(3): 101, ISSN: 2073-4433, DOI: [10.3390/atmos9030101](https://doi.org/10.3390/atmos9030101).
- Marta-Almeida, M.; Teixeira, J. C.; Carvalho, M. J.; Melo-Gonçalves, P. & Rocha, A. M. 2016. "High resolution WRF climatic simulations for the Iberian Peninsula: Model validation". *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 94: 94-105, ISSN: 1474-7065, DOI: [10.1016/j.pce.2016.03.010](https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.03.010).
- Martínez-Castro, D.; Kumar, Sh.; Flores-Rojas, J. L.; Moya-Álvarez, A. S.; Valdivia-Prado, J. M.; Villalobos-Puma, E.; Del Castillo-Velarde, C. & Silva-Vidal, Y. 2019. "The Impact of Microphysics Parameterization in the Simulation of Two Convective Rainfall Events over the Central Andes of Peru Using WRF-ARW". *Atmosphere*, 10(8): 442, ISSN: 2073-4433, DOI: [10.3390/atmos10080442](https://doi.org/10.3390/atmos10080442).

- Mateo-Rodríguez, J. M. 2016. *Regiones y paisajes geográficos de Cuba*.
- Mayor, Y. G. & Mesquita, M. D. 2015. "Numerical Simulations of the 1 May 2012 Deep Convection Event over Cuba: Sensitivity to Cumulus and Microphysical Schemes in a High-Resolution Model.". *Advances in Meteorology*, 2015: 16, ISSN: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/973151>.
- Mellor, G. L. & Yamada, T. 1982. "Development of a turbulent closure model for geophysical fluid problems". *Rev. Geoph. Space Phys*, 20: 851-875.
- Montenegro, U. 1989. *Procedimientos metodológicos para la investigación y caracterización del clima en las montañas de Cuba*.
- Montenegro, U. 1993. *Caracterización Climática de las montañas de la región oriental de Cuba*. Fondos de Archivo del Centro Meteorológico Provincial Guantánamo, Cuba.
- Morrison, H.; Thompson, G. & Tatarskii, V. 2009. "Impact of Cloud Microphysics on the Development of Trailing Stratiform Precipitation in a Simulated Squall Line: Comparison of One- and Two-Moment Schemes". *Monthly Weather Review*, 137(3): 991-1007, ISSN: 1520-0493, 0027-0644, DOI: [10.1175/2008MWR2556.1](https://doi.org/10.1175/2008MWR2556.1).
- Moya-Álvarez, A. S.; Martínez-Castro, D.; Flores, J. L. & Silva-Vidal, Y. 2018. "Sensitivity Study on the Influence of Parameterization Schemes in WRF_ARW Model on Short- and Medium-Range Precipitation Forecasts in the Central Andes of Peru". *Advances in Meteorology*, 2018: 1-16, ISSN: 1687-9309, 1687-9317, DOI: [10.1155/2018/1381092](https://doi.org/10.1155/2018/1381092).
- Moya-Álvarez, A. S.; Martínez-Castro, D.; Kumar, Sh.; Estevan, R. & Silva-Vidal, Y. 2019. "Response of the WRF model to different resolutions in the rainfall forecast over the complex Peruvian orography". *Theoretical and Applied Climatology*, ISSN: 0177-798X, 1434-4483, DOI: [10.1007/s00704-019-02782-3](https://doi.org/10.1007/s00704-019-02782-3), Available: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-019-02782-3>, [Consulted: June 25, 2019].
- NCAR. 2018. *Weather Research and Forecasting Model ARW. Version 4 Modeling System User's Guide*. Mesoscale and Microscale Meteorology Laboratory, National Center for Atmospheric Research.
- Núñez-Jiménez, A. & Viña-Bayés, N. 1989. *Regiones Naturales y Antrópicas*. (ser. Nuevo Atlas nacional de Cuba.), Habana, Cuba.: Academia de ciencias de Cuba.
- ONEI (ed. ser.). 2023. *Anuario Estadístico de Cuba 2022*. (ser. Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca.), Oficina Nacional de Estadística e Información, 27 p.
- Peña-de la Cruz, A.; Delgado-Téllez, R.; Guevara-Velasco, V.; Rodríguez-Montoya, L. & Savón-Vaciano, Y. 2021. "Estudios de clima de montaña en Cuba, topoclimas.". *Revista Cubana de Meteorología*, 27(3), ISSN: 2664-0880, Available: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/572/1127>.
- Planos-Gutiérrez, E. 2020. "Cambio climático y la gestión de adaptación.". *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial [Internet]*, 4(3): 322-333.
- Portela, A. H. 1989. "Geomorfología 1:1000000". In: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*., Instituto de Geografía de la Academia de Ciencia de Cuba y por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía ed., Habana, Cuba.: Academia de Ciencia de Cuba, p. 300.
- Qiu, Y.; Hu, Q. & Zhang, C. 2017. "WRF simulation and downscaling of local climate in Central Asia.". *International Journal of Climatology*, 37: 513-528, ISSN: 0899-8418, DOI: [10.1002/joc.5018](https://doi.org/10.1002/joc.5018).
- Raghavan, S. V.; Vu, M. T. & Liong, S. Y. 2016. "Regional climate simulations over Vietnam using the WRF model". *Theoretical and Applied Climatology*, 126(1-2): 161-182, ISSN: 0177-798X, 1434-4483, DOI: [10.1007/s00704-015-1557-0](https://doi.org/10.1007/s00704-015-1557-0).
- Rodríguez Rodríguez, F. F. R. 2005. *Mapa Isoyético de la República de Cuba, 1961-2000*. Resultado Técnico del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos., La Habana, Cuba.: INRH, 103 p.
- Sierra-Lorenzo, M.; Bezanilla-Morlot, A.; Centella-Artola, A. D.; León-Marcos, A.; Borrajero-Montejo, I.; Ferrer-Hernández, A. L.; Salazar-Gaitán, J. L.; Lau-Melo, A.; Picado-Traña, F. & Pérez-Fernández, J. 2020. "Assessment of Different WRF Configurations Performance for a Rain Event over Panama". *Atmospheric and Climate Sciences*, 10(03): 280-297, ISSN: 2160-0414, 2160-0422, DOI: [10.4236/acs.2020.103016](https://doi.org/10.4236/acs.2020.103016).
- Skamarock, W. C.; Klemp, J.; Dudhia, J.; Gill, D. O.; Barker, D.; Wang, W. & Powers, J. G. 2008. "A Description of the Advanced Research WRF Version 3". 27: 3-27.
- Spiridonov, A. 1981. "Principios de la metodología de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico". In: Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana ed., Ciudad de La Habana, Cuba.: Editorial MES.
- Thompson, G.; Rasmussen, R. M. & Manning, K. 2004. "Explicit Forecasts of Winter Precipitation Using an Improved Bulk Microphysics Scheme. Part I: Description and Sensitivity Analysis". *Monthly Weather Review*, 132(2): 519-542, ISSN: 0027-0644, 1520-0493, DOI: [10.1175/1520-0493\(2004\)132<0519:EFOWPU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2004)132<0519:EFOWPU>2.0.CO;2).
- Trusov, I. I. 1967. *Mapas isoyéticos lámina de lluvia media máxima y del 1, 5 y 10% de probabilidades*. Habana, Cuba.: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

- Trusov, I. I. & Davitaya, F. 1965. *Los recursos climáticos de Cuba*. La Habana, Cuba.: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
- Varga, Á. J. & Breuer, H. 2020. "Sensitivity of simulated temperature, precipitation, and global radiation to different WRF configurations over the Carpathian Basin for regional climate applications". *Climate Dynamics*, ISSN: 0930-7575, 1432-0894, DOI: [10.1007/s00382-020-05416-x](https://doi.org/10.1007/s00382-020-05416-x), Available: <http://link.springer.com/10.1007/s00382-020-05416-x>, [Consulted: September 14, 2020].
- Varona-González, H. L.; Martínez-Serrano, L.; Pavón-López, J. & Hodelin-Shombert, H. 2018. "Estudio del oleaje generado por un huracán de categoría 5 en la costa sur de las provincias orientales de Cuba".
- Viña-Bayés, N. 2001. *Diversidad Biológica de los Macizos Montañosos Sierra Maestra Y Nipe-Sagua-Baracoa*. Santiago de Cuba, Cuba: BIOECO, 89 p.
- Wang, X.; Tolksdorf, V.; Otto, M. & Scherer, D. 2020. "WRF-based dynamical downscaling of ERA5 reanalysis data for High Mountain Asia: Towards a new version of the High Asia Refined analysis". *International Journal of Climatology*, ISSN: 0899-8418, 1097-0088, DOI: [10.1002/joc.6686](https://doi.org/10.1002/joc.6686), Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.6686>, [Consulted: October 17, 2020].
- Wooten, A.; Bowden, J. H.; Boyles, R. & Terando, A. 2016. "The Sensitivity of WRF Downscaled Precipitation in Puerto Rico to Cumulus Parameterization and Interior Grid Nudging". *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 55(10): 2263-2281, ISSN: 1558-8424, 1558-8432, DOI: [10.1175/JAMC-D-16-0121.1](https://doi.org/10.1175/JAMC-D-16-0121.1).
- Yoshino, M. M. 1975. *Climate in a Small Area. An Introduction to Local Meteorology*. Tokyo, Japan.: University of Tokyo Press., 549 p.