

Validez de la clasificación Köppen-Geiger para el estudio del cambio climático local del oriente de Cuba



<https://cu-id.com/2377/v31n4e06>

Validity of the Köppen-Geiger classification for the study of local climate change in eastern Cuba

✉Arisleidys Peña-de la Cruz^{1*}, ✉Ricardo Delgado-Téllez², ✉Loexis Rodríguez-Montoya¹, ✉Yusmira Savón-Vaciano¹

¹Centro Meteorológico Provincial (CMP) Guantánamo, Cuba.

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

RESUMEN: La caracterización precisa del cambio climático a escala local es fundamental para la adaptación en sectores clave como la agricultura y la conservación. Este trabajo tuvo como objetivo identificar una clasificación climática adecuada para caracterizar la dinámica presente y futura del clima local en el oriente de Cuba. Se evaluó y comparó la utilidad de la clasificación de Köppen-Geiger y la de Tipo de Régimen Bioclimático (TRB) para representar la complejidad climática de la región. Se clasificaron 23 topoclimas con datos de WorldClim v2.1 (período de referencia 1970-2000) y proyecciones de cinco Modelos Climáticos Globales del CMIP6 para 2050 y 2100 bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Los resultados mostraron que, mientras la clasificación de Köppen-Geiger indicaba estabilidad para el 70% de los topoclimas, la clasificación TRB detectó una transición bioclimática generalizada hacia condiciones más secas en el 100% de ellos, lo que evidencia un incremento progresivo del déficit hídrico. Se concluyó que la clasificación TRB es más robusta y apropiada para estudios de cambio climático local, ya que captura con mayor sensibilidad la heterogeneidad espacial y las tendencias incipientes hacia la aridificación. Lo que proporciona una línea base esencial para la evaluación de impactos y la planificación adaptativa. Los resultados proporcionan una línea base esencial para la evaluación de impactos y la planificación adaptativa local.

Palabras clave: Aridificación, déficit hídrico, topoclimas, modelos CMIP6, adaptación.

ABSTRACT: Accurate characterization of climate change at the local scale is fundamental for adaptation in key sectors such as agriculture and conservation. This study aimed to identify a suitable climate classification to characterize the present and future dynamics of the local climate in eastern Cuba. The usefulness of the Köppen-Geiger classification and the Bioclimatic Regime Type (BRT) classification for representing the climatic complexity of the region was evaluated and compared. Using data from WorldClim v2.1 (reference period 1970-2000) and projections from five CMIP6 Global Climate Models for 2050 and 2100 under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios, 23 topoclimates were classified. The results showed that, while the Köppen-Geiger classification indicated stability for 70% of the topoclimates, the TRB classification detected a widespread bioclimatic transition toward drier conditions in 100% of them, demonstrating a progressive increase in water deficit. It was concluded that the TRB classification is more robust and appropriate for local climate change studies because it more sensitively captures spatial heterogeneity and emerging trends toward aridification. The results provide an essential baseline for impact assessment and local adaptive planning.

Keywords: Aridification, water deficit, topoclimates, CMIP6 models, adaptation.

INTRODUCCIÓN

Las clasificaciones climáticas son sistemas cuantitativos que permiten agrupar climas similares con diversos fines, como los ecológicos, climatológicos, agrícolas o hidráulicos (Centella et al., 1996;

Bailey, 2014). Una de las clasificaciones más usadas es la propuesta por Köppen y sus actualizaciones (Köppen, 1918; Beck et al., 2018). Este método emplea el régimen de precipitación y la cantidad de calor para identificar tipologías vegetales a escala global (Cui et al., 2021).

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

Recibido: 20/05/2025

Aceptado: 30/06/2025

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de autoría: **Conceptualización:** A. Peña de la Cruz. **Curación de datos:** Todos los autores participaron en la obtención de los datos. **Redacción - borrador original:** A. Peña de la Cruz, R. Delgado Téllez, L. Rodríguez-Montoya, Y. Savón-Vaciano. **Redacción - revisión y edición:** A. Peña de la Cruz y R. Delgado Téllez.

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/)

A escala local, es común el uso de la clasificación de Köppen y Geiger, así como otras variaciones (Köppen & Geiger, 1936; Pérez & Hidalgo, 2016). Entre las propuestas más recientes se encuentran las clasificaciones bioclimáticas, que se basan en las características biológicas y en los elementos del clima (López & López, 2008; Rivas et al., 2011; Caballero & Salvà, 2024).

Los métodos anteriores establecen unidades de clasificación que reflejan las relaciones entre la atmósfera y la biosfera como componentes del sistema climático. Sin embargo, otros componentes como la litosfera pueden influir de forma significativa en el clima local de regiones tropicales insulares, lo que genera impactos en la agricultura, la hidrología y otros sectores.

La clasificación por Tipo de Régimen Bioclimático (TRB) sintetiza el comportamiento de las variables termopluviométricas del clima y las características edáficas (Cámara et al., 2020). Esta síntesis presenta potencialidades para el estudio de los climas locales en regiones insulares (Caballero & Salvà, 2024).

En la región oriental de Cuba se ubican dos de los principales macizos montañosos del país. Esta región también destaca por su posición relevante dentro de la biodiversidad global, ya que en ella se localizan áreas naturales significativas, reconocidas como Reservas de la Biosfera por la UNESCO y como Sitios Naturales Patrimonio Mundial.

Desde el punto de vista socioeconómico, los agroecosistemas de la región realizan aportes macroeconómicos sustanciales y brindan servicios ambientales a una porción significativa de la población de Cuba. La comprensión de los cambios en el clima local, que implican las proyecciones del clima futuro, constituye una tarea que requiere el uso de herramientas apropiadas. El objetivo de esta investigación fue identificar una clasificación climática adecuada para la caracterización de la dinámica, tanto presente como proyectada, del clima local en el oriente de Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la región oriental de Cuba. El clima local de esta área está influenciado por factores geográficos asociados a los macizos montañosos Nipe Sagua Baracoa y Sierra Maestra (Peña et al., 2021; 2025) (Figura 1). Esta región comparte características paleogeográficas y de la paleobiota con el resto del arco de las Antillas Mayores en el Caribe (Iturralde et al., 2016; Reyes et al., 2023).

Se consideraron dos clasificaciones climáticas para representar de forma adecuada la complejidad del clima a escala local. La primera es la clasificación de Köppen y Geiger, la cual evalúa el comportamiento estacional de la temperatura y la precipitación.

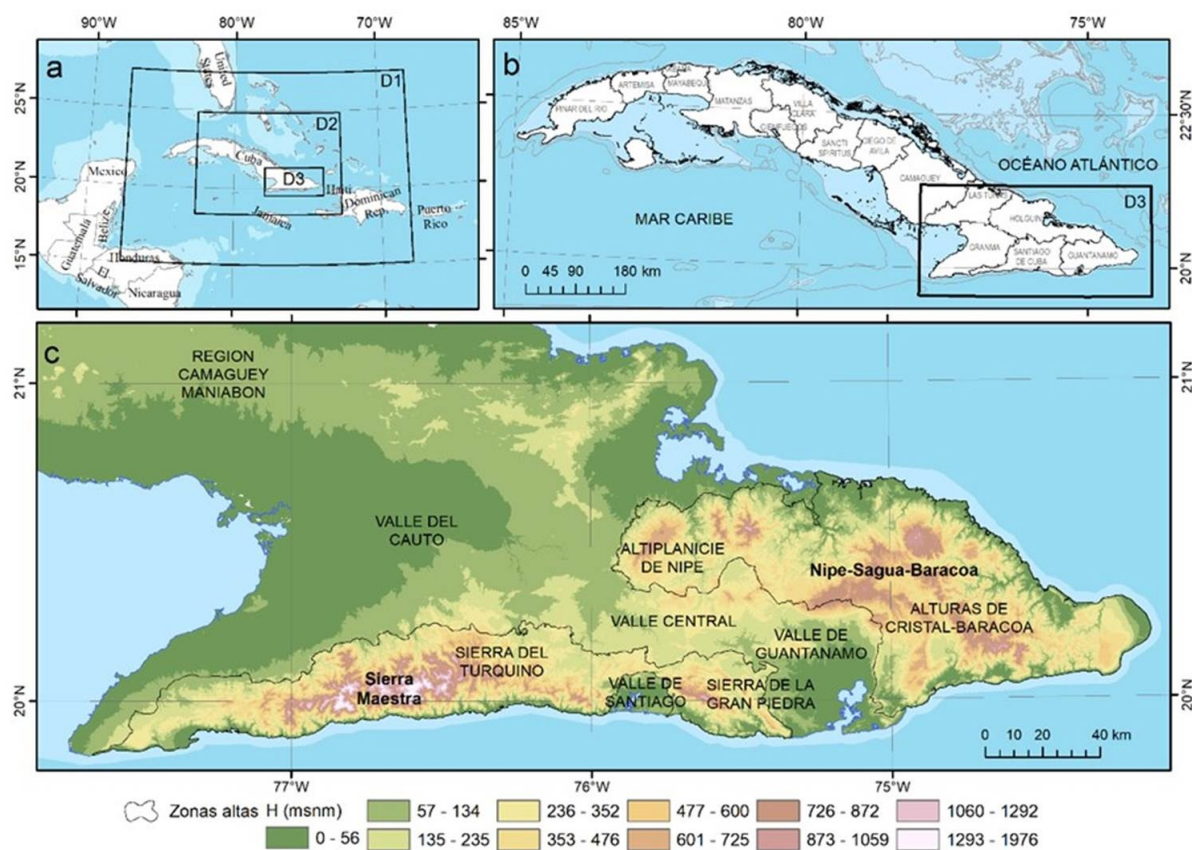


Figura 1. Área de estudio: Región oriental de Cuba

Este sistema es uno de los más utilizados (Beck *et al.*, 2018; Cui *et al.*, 2021). De forma análoga, se consideró la clasificación por TRB, propuesta por Cámara Artigas *et al.* (2020). Esta clasificación combina el comportamiento de la temperatura y la precipitación con variables edáficas a través de un balance hídrico edáfico-atmosférico (Serrano *et al.*, 2022).

Los datos climáticos utilizados provinieron del WorldClim v2.1 con una resolución de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km). Se usaron datos para tres momentos: el clima de referencia, que se consideró como clima actual, y dos periodos de la proyección de clima futuro. Este producto emplea como periodo de referencia la serie 1970-2000. Para la proyección a mediano plazo (2050) se utilizó la serie 2040-2060. Para la proyección a largo plazo (2100) se empleó la serie 2080-2100.

En las proyecciones de clima se empleó un conjunto de cinco modelos climáticos globales (MCG) incluidos en el Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos en su versión 6 (CMIP6). Los modelos fueron HadGEM3, MIROC6, MPI-ESM1-2-HR, FIO-ESM-2-0 y BCC-CSM2-MR. Todos estos modelos presentan un desempeño adecuado en el área de Centroamérica y el Caribe (CEPAL/CAC-SICA, 2020). Para cada MCG se consideraron dos escenarios de trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP): SSP2-4.5 y SSP5-8.5. La selección de estas trayectorias se basó en el criterio de que la SSP2-4.5 representa una tendencia mayor, mientras que la SSP5-8.5 constituye el extremo negativo (Riahi *et al.*, 2017; Hausfather & Peters, 2020).

Para el cálculo de los indicadores bioclimáticos se usó el paquete Bioclim, implementado en lenguaje R v3.0 (Serrano *et al.*, 2022). Como parámetro de capacidad de campo (CC) se tomó un valor de 432 mm, el cual representa el valor medio ponderado de los suelos del área de estudio (Greco *et al.*, 2011; Hernández, 2021). La delimitación de los topoclimas se tomó de Peña *et al.* (2025) que definió 23 topoclimas en la región oriental de Cuba.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

La figura 2 presenta la evolución de la clasificación climática de los topoclimas desde el clima actual hacia los plazos de 2050 y 2100. Este análisis se realizó para los dos SSP evaluados. Las escalas de colores y las abreviaturas corresponden a las establecidas por Cui *et al.* (2021) y Cámara *et al.* (2020).

Según la clasificación de Köppen y Geiger, los topoclimas en estudio se ubican en el grupo Tropical para el clima actual. Este grupo se caracteriza por temperaturas cálidas durante todo el año, con valores medios mensuales superiores a 18 °C. Los tipos climáticos identificados son tres: Tropical de Sabana (Aw), Tropical Monzónico (Am) y Tropical Ecuatorial (Af), como se observa en la figura 2.

De acuerdo con esta clasificación, 16 topoclimas mantienen sus características en las proyecciones a mediano y largo plazo. Cuatro topoclimas evolucionan hacia condiciones con mayores acumulados de precipitación y tres modifican su comportamiento hacia una u otra condición, con acumulados mayores o menores de forma indistinta.

En los resultados de la evaluación por Tipo de Régimen Bioclimático, los topoclimas son tropicales a escala zonal con temperatura en el rango de Termofilia. Este rango no impone restricciones térmicas para el desarrollo de la vegetación. Para el clima actual a escala regional, la mayoría de los topoclimas se encuentra en el Tipo Mesófilo, el cual se caracteriza por un déficit de agua moderado que no implica una parálisis de la actividad vegetal. El Tipo Tropófilo se identifica por la escasez de agua, la cual provoca un estancamiento de la actividad vegetativa de uno a cuatro meses. Adicionalmente, los topoclimas se clasifican en cinco Subtipos: Húmedo moderado (MhM), Húmedo Bajo (LhM), Húmedo subhúmedo (MshM), Seco subhúmedo (DshM) y Semiárido (SaM).

En los plazos de la proyección, ya sea 2050 o 2100, todos los topoclimas de la región oriental de Cuba evolucionan dentro de los Tipos Mesófilo y Tropófilo. Esta evolución comprende nueve Subtipos y se dirige siempre hacia climas más secos. Este resultado coincide con estudios previos que refieren el incremento del déficit hídrico en los ecosistemas. Dicho incremento se vincula al aumento de la temperatura y a la aceleración del ciclo del agua por evapotranspiración (Zaitchik *et al.*, 2023; Gu *et al.*, 2025).

La figura 2 muestra que la clasificación por TRB, en sus subtipos locales, diversifica las singularidades y resalta la complejidad del clima de la región de estudio. Esta complejidad hace distintivos los paisajes y ecosistemas (Lecha *et al.*, 1994; Viña, 2001; Jaisankar *et al.*, 2018). Por ejemplo, el tipo Aw de Köppen y Geiger equivale a los tipos y subtipos TRB que van desde Mesófilo Húmedo bajo hasta Tropófilo Árido. Así, el clima Am corresponde a los subtipos desde el Mesófilo de más alta humedad (MhM) hasta los Mesófilos más secos (DshM y SaM). De forma similar, el clima Af es análogo a cinco subtipos, desde MhM hasta SaM.

Los resultados de la clasificación por TRB son consistentes con el consenso sobre el incremento de las perturbaciones en el comportamiento de los elementos del clima. Este consenso es consecuencia de la variabilidad y el cambio climático (IPCC, 2022). El método enfatiza además la disponibilidad de agua en los ecosistemas (Serrano *et al.*, 2022), lo que aporta información esencial para la gestión de adaptación en sectores como la agricultura, los recursos hídricos y la biodiversidad.



Figura 2. Evolución de la clasificación climática de los topoclímas: (a) clasificación de Köppen-Geiger; (b) clasificación por TRB

La [figura 3](#) muestra la proyección hacia condiciones más secas de los topoclímas del oriente de Cuba según los TRB. Se destacan como ejemplos las delimitaciones de topoclímas relevantes para la biodiversidad, como el t8-a y t8-b, clasificados como Mesófilo Húmedo Moderado (MhM) para el clima actual. Este topoclíma caracteriza la Reserva de la Biosfera “Cuchillas del Toa”, Patrimonio Mundial de la Humanidad, y las zonas altas de la Sierra Maestra, ubicación de los bosques nublados de la Región Natural de Sierra del Turquino ([Peña et al., 2025](#)). Dicho topoclíma proyecta una evolución hacia Mesófilo Seco Subhúmedo (DshM) bajo el escenario SSP5-8.5 a largo plazo.

Otro ejemplo corresponde al topoclíma t3-b, Mesófilo Seco Subhúmedo (DshM), de montañas bajas al norte del Nipe-Sagua-Baracoa. Este es notable por las especies de sus formaciones xerófilas y evoluciona hacia Tropófilo Árido (AT) ([Figura 3](#)).

Una limitación inherente de este estudio radica en el uso de datos de WorldClim v2.1. Las incertidumbres de esta base, particularmente en la representación de valores extremos, han sido documentadas ([Fick & Hijmans, 2017](#); [Fernández & Milla, 2018](#); [Cerasoli et al., 2022](#)). Esta limitación se reconoce en el contexto cubano, donde se han identificado dificultades para capturar los extremos pluviométricos que señalaron [Rodríguez et al. \(2005\)](#) y [Centella et al \(2023\)](#) ([Peña et al., 2025](#)).

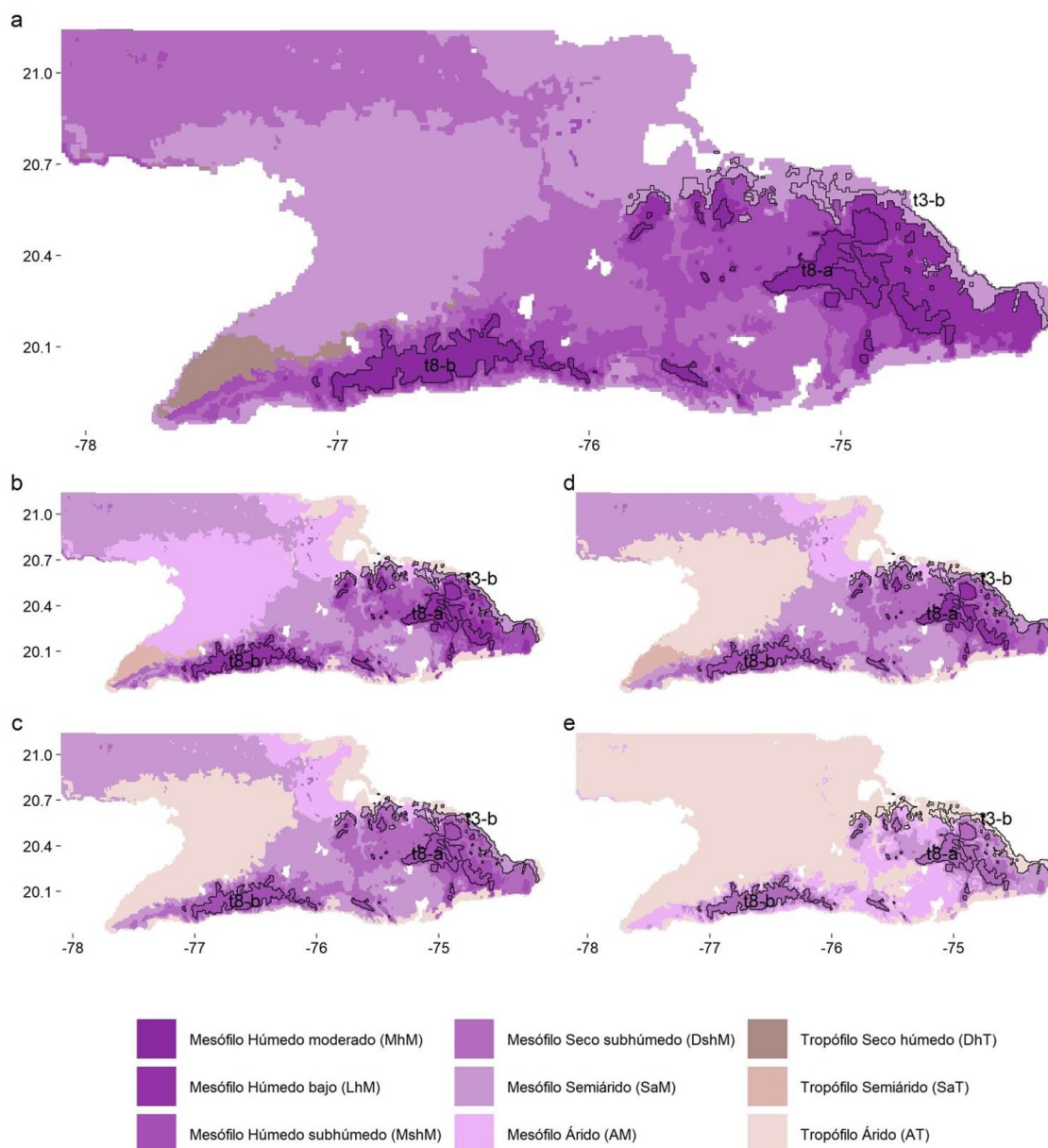


Figura 3. Dinámica de los topoclimas del oriente de Cuba según los TRB para WorldClim v2.1. Celda a, periodo de referencia; b, SSP2-4.5-2050; c, SSP5-8.5-2050; d, SSP2-4.5-2100 y e, SSP5-8.5-2100. Se señalan las delimitaciones de los topoclimas t8-a, t8-b y t3-b

Sin embargo, es importante destacar que los Modelos de Circulación General (MCG) del proyecto CMIP6, que sustentan esta versión de WorldClim, incorporan mejoras sustanciales en el procesamiento de datos. Estas mejoras son especialmente relevantes para la variable de precipitación (Xin *et al.*, 2020; Zamani *et al.*, 2020; Ayugi *et al.*, 2021). La consistencia en los patrones secos que proyecta el conjunto de cinco MCG utilizados respalda la robustez de la tendencia principal identificada.

Si bien el análisis no considera eventos extremos debido a la generalización propia de las clasificaciones climáticas, esta limitación no invalida los hallazgos centrales de la investigación.

Los resultados proveen una nueva perspectiva metodológica para la clasificación climática local. Esta metodología aporta contribuciones significativas en resolución espacial y sensibilidad para capturar tendencias incipientes, como las condiciones más secas.

Estas condiciones constituyen un fundamento inequívoco de los cambios proyectados, los cuales permanecen enmascarados en la clasificación de Köppen-Geiger. La transición hacia condiciones más secas, capturada de manera eficiente por el TRB, tiene implicaciones críticas para la gestión de recursos hídricos, la conservación de servicios ecosistémicos y la planificación ante riesgos hidrometeorológicos en el oriente de Cuba.

En consecuencia, esta investigación contribuye a los estudios futuros orientados a la gestión adaptativa de los recursos climáticos. Además, sirve como base para el enfrentamiento de la variabilidad climática local en la región.

CONCLUSIONES

La clasificación de Tipo de Régimen Bioclimático (TRB) resulta más robusta y apropiada que el sistema de Köppen-Geiger para el estudio del cambio climático a escala local. Esta superioridad se evidencia en su capacidad para detectar la heterogeneidad climática espacial y de manera crucial para capturar tendencias incipientes hacia condiciones más secas, las cuales constituyen un fundamento inequívoco de los cambios proyectados y que permanecen enmascaradas en la clasificación de Köppen-Geiger.

La proyección, respaldada por un conjunto de modelos, indica una transición bioclimática generalizada en el oriente de Cuba. Esta se refleja en la tendencia identificada para el 100% de los topoclimas según el TRB, frente a la aparente estabilidad del 70% en la clasificación de Köppen-Geiger. Este resultado no solo caracteriza el cambio, sino que lo cuantifica espacialmente, proporcionando una línea base para la evaluación de impactos de la variabilidad y cambio climático local en la región.

Este estudio contribuye con un nuevo enfoque metodológico a la climatología local, donde la aplicación del TRB, junto con el uso de conjuntos de modelos CMIP6, se postulan como un protocolo más eficaz para diagnosticar las perturbaciones que introduce el cambio climático en los regímenes climáticos locales.

La investigación identifica la evaluación de los valores extremos climáticos como la principal limitación y, por tanto, la línea prioritaria para trabajos futuros. La verificación o falsación de las proyecciones resultantes requerirá de estudios que integren datos de alta resolución, con una mejor representación de eventos extremos, perfeccionando con ello las herramientas de diagnóstico y planificación.

AGRADECIMIENTOS

A la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales, que propició los fondos, a través de los programas: PN211LH009 “Adaptación y mitigación del Cambio Climático”, PS211LH004 “Meteorología y Desarrollo Sostenible del país” y PS211LH005 “Reducción Integrada del Riesgo de Desastres en Cuba”, para llevar a cabo la investigación que dio origen a los resultados presentados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayugi, B.; Zhihong, J.; Zhu, H.; Ngoma, H.; Babausmail, H.; Rizwan, K. & Dike, V. 2021. “Comparison of CMIP6 and CMIP5 models

in simulating mean and extreme precipitation over East Africa”. *International Journal of Climatology*, 41(15): 6474-6496, ISSN: 0899-8418, 1097-0088, DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.7207>.

Bailey, R. G. 2014. “Applications of Ecoregional Patterns”. *Ecoregions*, Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-0524-9_12.

Beck, H. E.; Zimmermann, N. E.; McVicar, T. R.; Vergopolan, N.; Berg, A. & Wood, E. F. 2018. “Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution”. *Scientific Data*, 5(1): 180214, ISSN: 2052-4463, DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>.

Caballero, D. & Salvà, M. 2024. “Adaptación del método de Tipos de Regímenes Bioclimáticos (TRB) a la isla de El Hierro (Canarias)”. *Geosp*, 28(3), DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2024.230590es>.

Cámara-Artigas, R.; Díaz Del Olmo, F. & Martínez Batlle, J. R. 2020. “TBRs, a methodology for the multi-scalar cartographic analysis of the distribution of plant formations”. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (85), ISSN: 2605-3322, 0212-9426, DOI: <https://doi.org/10.21138/bage.2915>, Available: <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/2915>, ‘Consulted: October 14, 2023“.

Centella-Artola, A.; Bezanilla-Morlot, A.; Serrano-Notivoli, R.; Vázquez-Montenegro, R.; Sierra-Lorenzo, M. & Chang-Dominguez, D. 2023. “A new long term gridded daily precipitation dataset at high-resolution for Cuba (CubaPrec1)”. *Data in Brief*, 48: 109294, ISSN: 23523409, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109294>.

Centella-Artola, A. D.; Rubiera Torres, J. & Pérez Suárez, R. (eds). 1996. *Elementos de Meteorología y Climatología*. Editorial Academia.

CEPAL /CAC-SICA. 2020. *Análisis espacial de datos históricos y escenarios de cambio climático en México, Centroamérica, Cuba, Haití y la República Dominicana*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) Y Consejo Agropecuario Centroamericano del Sistema de la Integración Centroamericana (CAC-SICA), Available: <https://bvearmb.do/handle/123456789/772>.

Cerasoli, F.; D’Alessandro, P. & Biondi, M. 2022. “Worldclim 2.1 versus Worldclim 1.4: Climatic niche and grid resolution affect between-version mismatches in Habitat Suitability Models predictions across Europe”. *Ecology and Evolution*, 12(2), ISSN: 2045-7758, 2045-7758, DOI: 10.1002/ece3.8430, Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.8430>, ‘Consulted: March 15, 2022“.

- Cui, D.; Liang, S.; Wang, D. & Liu, Z. 2021. *A 1 km global dataset of historical (1979-2013) and future (2020-2100) Köppen-Geiger climate classification and bioclimatic variables*. Earth System Science Data, essd.copernicus.org, Available: <https://essd.copernicus.org/articles/13/5087/2021/>.
- Fernández, G. & Milla, D. 2018. "Validez de los datos de precipitación media mensual (1970-2000) generados por el modelo WorldClim V2.0 para Venezuela". *Terra. Nueva Etapa*, XXXIV(56), ISSN: 1012-7089, Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72157132004>.
- Fick, S. E. & Hijmans, R. J. 2017. "WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas". *International Journal of Climatology*, 37(12): 4302-4315, ISSN: 1097-0088, DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.
- Greco, C.; López, T.; González, F.; Herrera, J. & Ruiz, M. E. 2011. "Propiedades físicas de algunos suelos de Cuba y su uso en modelos de simulación". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2): 42-46, ISSN: 2071-0054. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v20n2/rcta08211.pdf>
- Gu, B.; Zhou, S.; Yu, B.; Findell, K. L. & Lintner, B. R. 2025. "Multifaceted changes in water availability with a warmer climate". *npj Climate and Atmospheric Science*, 8(1): 31, ISSN: 2397-3722, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41612-025-00913-4>.
- Hausfather, Z. & Peters, G. P. 2020. "Emissions - the 'business as usual' story is misleading". *Nature*, 577(7792): 618-620, ISSN: 0028-0836, 1476-4687, DOI: <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00177-3>.
- Hernández-Jiménez, A. 2021. "Área que ocupan los agrupamientos y tipos genéticos de los suelos en Cuba". *Cultivos Tropicales*, 42(3), ISSN: 0258-5936, Available: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1607>, 'Consulted: November 22, 2023'.
- IPCC 2022. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, & J. Malley (eds), (ser. IPCC, no. ser. 6), IPCC.
- Iturralde-Vinent, M. A.; García-Casco, A.; Rojas-Agramonte, Y.; Proenza, J. A.; Murphy, J. B. & Stern, R. J. 2016. "The geology of Cuba: A brief overview and synthesis". *GSA Today*, : 4-10, ISSN: 10525173, DOI: <https://diposit.ub.edu/items/0d64c21c-cc61-4d85-856d-4a301fd2f27e>.
- Jaisankar, I.; Velmurugan, A. & Sivaperuman, C. 2018. "Biodiversity Conservation: Issues and Strategies for the Tropical Islands". In: *Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Islands*, Elsevier, pp. 525-552, ISBN: 978-0-12-813064-3, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813064-3.00019-3>, Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128130643000193>, 'Consulted: September 14, 2023'.
- Köppen, W. 1918. "Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf". *Petermanns Geogr. Mitt.*, 64: 193-203, 243-248. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571417124413957120>
- Köppen, W. & Geiger, R. 1936. *Das geographische System der Klimate*.
- Lecha, L. B.; Paz, L. R. & Lapinel, B. 1994. *El Clima de Cuba*. La Habana, Cuba.: Editorial Academia, 186 p.
- López-Fernández, M. L. & López-Fernández, M. S. 2008. "Ideas Básicas del 'Global Bioclimatics'. Guía para reconocer y clasificar las unidades bioclimáticas". *Publicaciones de Biología, Universidad de Navarra, Serie Botánica*, 17: 3-188, ISSN: 1130-9113. https://www.lareferencia.info/vufind/Record/ES_69bcf364c4dea6ef4693f20163328b20
- 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>.
- Peña-De La Cruz, A.; Delgado-Téllez, R.; Savón-Vaciano, Y. & Ding, M. 2025. "Delineation of the Topoclimates of Eastern Cuba by Local Weather Patterns and Unsupervised Machine Learning". *Revista Brasileira de Meteorologia*, 40: e40230023, ISSN: 1982-4351, 0102-7786, DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778640230023>.
- Pérez-Rivas, G. & Hidalgo-Mayo, A. 2016. "Regionalización climática de la provincia de Holguín". *Revista Cubana de Meteorología*, 22(1): 39-48. <https://www.redalyc.org/pdf/7019/701978402003.pdf>
- Reyes, O. J. 2021. *Phuvisilvas de Sagua Baracoa, sus comunidades, ecología y conservación*. Aporte al proyecto 'Conectado Paisaje', no. Inédito, Santiago de Cuba, Cuba: Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO), CITMA, 281 p.
- Reyes, O. J.; Samek, V. & Del Risco-Rodríguez, E. 2023. "Fitocenosis en los Pinares de Monte Cristo, Cuba oriental". *Revista Politécnica*, 19(38): 78-95, ISSN: 2256-5353, 1900-2351, DOI: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v19n38a5>.
- Riahi, K.; van Vuuren, D. P.; Kriegler, E.; Edmonds, J.; O'Neill, B. C.; Fujimori, S.; Bauer, N.; Calvin, K.; Dellink, R.; Fricko, O.; Lutz, W.; Popp, A.; Cuaresma, J. C.; Ke, S.; Leimbach, M.; Jiang, L.; Kram, T.; Rao, S.; Emmerling, J.; Ebi, K.; Hasegawa, T.; Havlik, P.; Humpenöder, F.;

- Da Silva, L. A.; Smith, S.; Stehfest, E.; Bosetti, V.; Eom, J.; Gernaat, D.; Masui, T.; Rogelj, J.; Strefler, J.; Drouet, L.; Krey, V.; Luderer, G.; Harmsen, M.; Takahashi, K.; Baumstark, L.; Doelman, J. C.; Kainuma, M.; Klimont, Z.; Marangoni, G.; Lotze-Campen, H.; Obersteiner, M.; Tabeau, A. & Tavoni, M. 2017. "The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview". *Global Environmental Change*, 42: 153-168, ISSN: 09593780, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>.
- Rivas-Martínez, S.; Rivas-Sáenz, S. & Penas-Merino, A. 2011. "Worldwide bioclimatic classification system". *Global Geobotany*, 1: 1-634.
- 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.
- Serrano-Notivol, R.; Longares, L. A. & Cámara, R. 2022. "bioclim: An R package for bioclimatic classifications via adaptive water balance". *Ecological Informatics*, 71: 101810, ISSN: 15749541, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101810>.
- Viña-Bayés, N. 2001. *Diversidad Biológica de los Macizos Montañosos Sierra Maestra Y Nipe-Sagua-Baracoa*. Santiago de Cuba, Cuba: BIOECO, 89 p.
- Xin, X.; Wu, T.; Zhang, J.; Yao, J. & Fang, Y. 2020. "Comparison of CMIP6 and CMIP5 simulations of precipitation in China and the East Asian summer monsoon". *International Journal of Climatology*, 40(15): 6423-6440, ISSN: 0899-8418, 1097-0088, DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6590>.
- Zaitchik, B. F.; Rodell, M.; Biasutti, M. & Seneviratne, S. I. 2023. "Wetting and drying trends under climate change". *Nature Water*, 1(6): 502-513, ISSN: 2731-6084, DOI: <https://doi.org/10.1038/s44221-023-00073-w>.
- Zamani, Y.; Hashemi Monfared, S. A.; Azhdari Moghaddam, M. & Hamidianpour, M. 2020. "A comparison of CMIP6 and CMIP5 projections for precipitation to observational data: the case of Northeastern Iran". *Theoretical and Applied Climatology*, 142(3-4): 1613-1623, ISSN: 0177-798X, 1434-4483, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03406-x>.