

Cartografía de variables climáticas basada en gradientes, sistemas de expertos y SIG

Cartography of climate variables using gradients, expert systems and GIS



<http://opn.to/a/77Dp4>

Ricardo Delgado-Téllez ¹, Arisleidys Peña-de la Cruz ^{2*}

¹Órgano de Montaña Nipe-Sagua-Baracoa, Cuba

²Centro Meteorológico Provincial Guantánamo, Guantánamo, Cuba

RESUMEN : Se presenta un método para la generación de mapas continuos de variables climáticas a partir de gradientes, valores de referencia y criterio de expertos en zonas de relieve complejo. La metodología propuesta usa un sistema de información geográfica para describir los factores geográficos formadores de microclimas en la región de estudio y modelos de inferencia difusa tipo Mamdani para integrar conocimiento climatológico local en un sistema de experto. De esta forma es posible asignar un número arbitrario de gradientes y valores de referencia a una serie de patrones que describen locaciones dentro de la región de estudio. Se incluye un estudio de caso para la variable climática temperatura mínima. En el mismo fueron generados mapas a escalas 1:250000 y 1:100000 de la variable para la región oriental de Cuba. El proceso es totalmente automatizado, requiriendo la intervención humana solamente con propósitos de mejora cartográfica de los mapas finales.

Palabras clave: Clima de montaña, mapificación, sistema de experto.

ABSTRACT: A method is presented for the generation of continuous maps of climatic variables in complex relief zones by using gradients, reference weather stations and expert criteria. This proposal uses a geographic information system to describe the geographic factors forming that form microclimates in the study region and fuzzy Mamdani inference models to integrate knowledge of local climate into an expert system. In this way it is possible to assign an arbitrary number of gradients and reference values to patterns describing locations within the study region. A case study for the variable minimum temperature is included in the study. In it maps at scales 1:250000 and 1:100000 of the variable for the eastern region of Cuba were generated. The process is fully automated, requiring human intervention only for cartographic improvement purposes of the final maps.

Keywords: Mountain climate, mapping, expert system.

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

Recibido: 01/11/2018

Aceptado: 19/01/2019

INTRODUCCIÓN

En el Clima de Cuba, ([Lecha et al., 1994](#)) se enuncia que la interacción entre el régimen de radiación, la circulación atmosférica y los factores físicos geográficos de cada localidad, determina las condiciones físicas objetivas que definen los rasgos climáticos. Además señala que si bien la interacción del régimen de radiación y la circulación general de la atmósfera sobre Cuba, tienen una representación estacional dentro de los mecanismos climáticos de macroescala, la influencia de los factores físicos geográficos define el clima a nivel local. Otros autores hacen énfasis en los factores físicos geográficos como significativos en la presencias de los microclimas, principalmente en regiones montañosas ([Boytel, 1972](#); [Montenegro, 1989](#); [Fernando et al., 2017](#)).

Es un problema de interés para la climatología obtener mapas de variables climáticas a escalas aptas para la toma de decisiones a nivel local, ([Planos et al., 2013](#)). Estas escalas están definidas como iguales o mayores de 1:100000 en el caso cubano ([Morales, 2002](#)). Las referencias estudiadas indican que los métodos de mapificación para variables climáticas utilizados en Cuba son: El método manual, tomando como base gradientes y criterio de expertos meteorólogos ([Montenegro, 1993](#); [Lecha et al., 1994](#)) y modelos estadísticos complementados con herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) ([Planos et al., 2012](#); [Vázquez & Solano, 2013](#); [Hernández, 2016](#))

Estas soluciones requieren, en el primer caso extensos trabajos de campo, amplios conocimientos del comportamiento de las variables sobre la zona de estudio y un laborioso trabajo cartográfico. Los modelos estadísticos por otra parte requieren densas redes de monitoreo climático para ser efectivo a nivel local.

Las modelaciones climáticas usando modelos de clima a mesoescala han obtenido resultados satisfactorios en las condiciones en que se han utilizado ([Bukovsky & Karoly, 2009](#); [Heikkilä et al., 2011](#); [Wang et al., 2012](#); [Li et al., 2016](#); [Kryza et al., 2017](#)). No obstante estos métodos están limitados por la disponibilidad de recursos computacionales de alto rendimiento y elevados costos de infraestructura.

Este trabajo presenta un método para automatizar la representación cartográfica de variables climáticas en regiones de montaña utilizando sistemas expertos y funciones estándar de sistemas de información geográfica. Es una extensión del método manual que se enfoca en reducir esfuerzos y garantizar la reproducibilidad de los resultados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El método propuesto estuvo basado en la aplicación de funciones SIG para modelar la distribución espacial de los factores formadores del clima a nivel local y cartografía de las variables climáticas; técnicas de interpolación espacial para la creación de mapas continuos de variables y un sistema experto basado en un motor de inferencia difusa (fuzzy inference system) del tipo [Mamdani \(Mamdani, 1974\)](#) para asignar gradientes y referencias. Se utilizó el software ArcGis v. 10.2.2 para la gestión y manipulación de datos espaciales y el software matlab 13b para el sistema de inferencias.

Método de mapificación

En lo fundamental, el proceso de mapificación utilizado puede dividirse en tres etapas interrelacionadas. En la primera etapa se expresaron los factores formadores del clima en función de variables geográficas representativas del área de estudio. La segunda etapa se enfocó en la creación de una máquina de inferencia difusa que contó como entradas las variables geográficas previamente identificadas y como salidas tres variables: dos gradientes, vertical y horizontal, y la estación meteorológica de referencia correspondiente. El motor de inferencia incluyó un conjunto de reglas sintácticas definidas por expertos. Finalmente, en la tercera etapa se utilizó una red irregular que cubre toda el área de estudio para elaborar patrones característicos que se introdujeron secuencialmente en el motor de inferencia. Para cada punto la variable es calculada a partir de su patrón característico y los gradientes y estaciones de referencia asignados por el motor de inferencia. Los mapas de las variables climáticas son derivados de la rejilla utilizando métodos de suavizado.Región de estudio.

El área de estudio es la zona montañosa de la región oriental de Cuba ([figura 1](#)), integrada por las subregiones: Grupo Orográfico de Sagua Baracoa y Sierra Maestra, además del área Sierra de la Gran Piedra, ([Nuñez & Viña, 1989](#)). Estos conjuntos constituyen la región más montañosa del país. En esta zona se pueden encontrar cordilleras (perfiles A-a, B-b y C-c de [figura 1](#)); Valles intramontanos como el de Palenque (perfil E-e de [figura 1](#)); y cuchillas (perfiles D-d y F-f de [figura 1](#)). En el área de estudio se encuentran algunos de los núcleos de biodiversidad más importantes del Caribe ([TNC, 2018](#)) muchos de los cuales están muy localizados y presentan alto grado de endemismo ([Fong G. et al., 2005](#); [Maceira et al., 2005](#)), lo que es indicador de alta variabilidad microclimática.

En el periodo 1987-1989 se realizó un estudio climático que incluyó 4 expediciones de campo en la región, donde se realizaron mediciones en 39 puntos que aparecen localizados en la [figura 1](#) y mapas climáticos escala 1:300000 de diferentes áreas con objetivos específicos ([Montenegro, 1989](#)). Para el estudio de caso aquí presentado, se utilizó el conocimiento adquirido durante estos estudios sobre los factores formadores y variables del clima en el desarrollo del motor de inferencia y los gradientes obtenidos como insumo en la elaboración de los mapas. Se utilizó además las

bases de datos de las estaciones meteorológicas del oriente de Cuba serie climática de 30 años (1986-2015).

Aspectos geográficos formadores de microclima en el oriente de Cuba

Para el estudio se utilizó los factores geográficos formadores del clima: altura sobre el nivel del mar, la influencia marina, ubicación geográfica, forma del relieve, y orientación del relieve con respecto al sol y los vientos dominantes.

La altura sobre el nivel del mar se tomó del modelo digital del relieve (DEM) escala 1:25000 elaborado por GEOCUBA, proyectado al sistema de coordenadas EPSG:3796. Este DEM se utilizó como base de las restantes variables geográficas. La unidad de medida es metros sobre el nivel del mar (msnm). Un mapa hipsométrico derivado del DEM se muestra en la [figura 1](#).

La influencia marina se consideró como la distancia euclidiana desde cada punto del DEM a la línea de costa más cercana. ([figura 2a](#)).

Las zonas geográficas se derivaron del mapa de regiones naturales y antrópicas escala 1:3000000 publicado en el Nuevo Atlas Nacional de Cuba ([Nuñez & Viña, 1989](#)). Se utilizó el nivel de agrupamiento de subregión, uniendo las relacionadas desde el punto de vista climático. La escala se adecuó a la de trabajo, 1:100000,

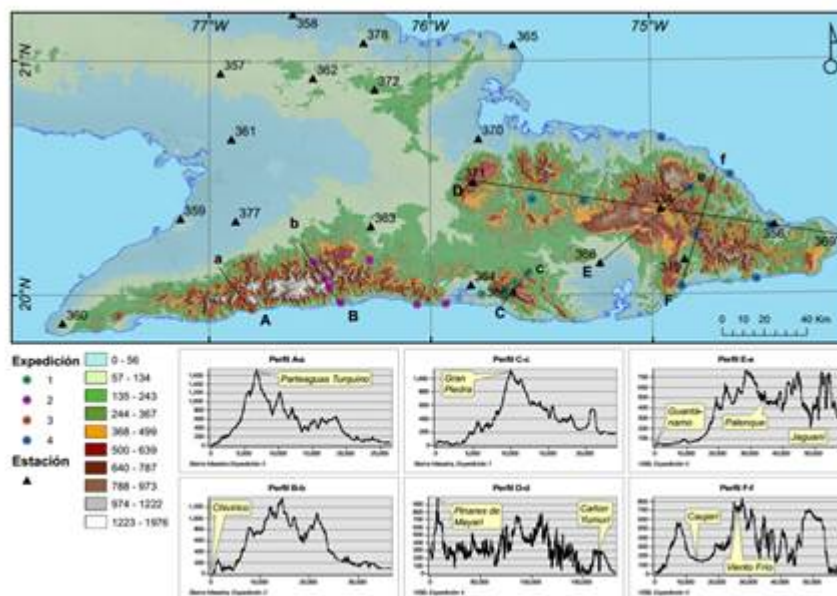


Figura 1. Mapa del área de estudio. Incluye altura hipsométrica en metros sobre el nivel del mar (msnm) y perfiles significativos de relieve. Aparecen además las expediciones de campo utilizadas en el estudio ([Montenegro, 1989](#)) y estaciones meteorológicas activas en la región

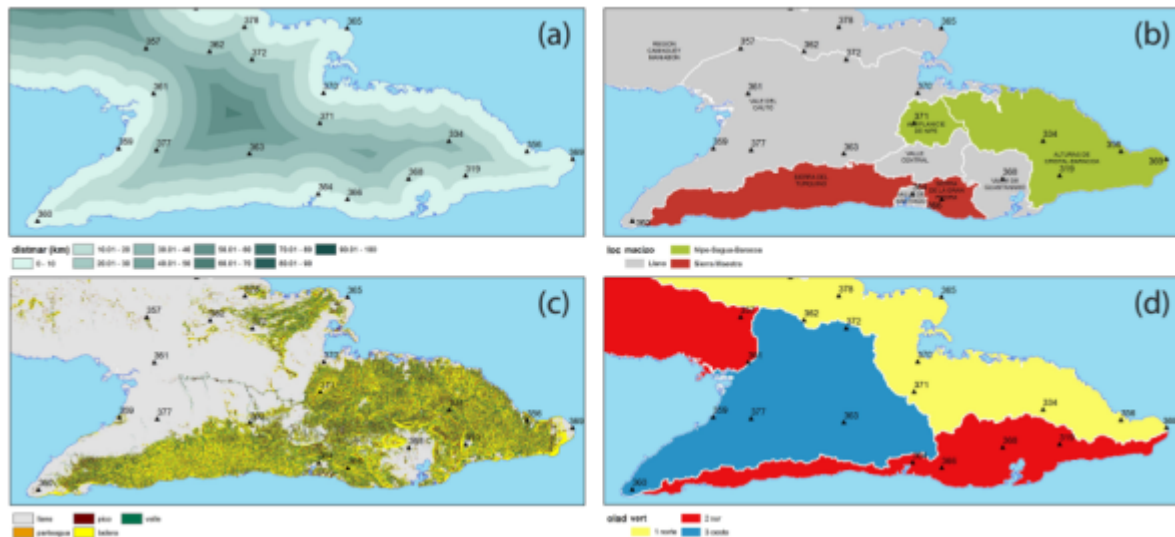


Figura 2. Variables principales utilizadas en el análisis dentro del área de estudio. a) Influencia marina; b) Zonas geográficas adaptado de (Nuñez & Viña, 1989); c) Formas de relieve; d) Parteaguas.

utilizando como base los derroteros oficiales de las regiones especiales de desarrollo sostenible Sierra Maestra y Nipe-Sagua-Baracoa, y el DEM (figura 2b).
 La forma del relieve fue obtenida a partir de geofomas utilizando el método propuesto por (Stepinski & Jasiewicz, 2011; Jasiewicz & Stepinski, 2013). El mapa de elevación se subdividió en 10 clases de geofomas con un índice asignado a cada clase. Posteriormente se eliminaron las áreas muy pequeñas y se reordenan las clases de geofomas a cinco, quedando las clases Hombro y Pie de Talud agregadas a la clase de continuidad Llano, y Depresión a la clase Valle. Las tres clases de laderas: Cóncava, Llana y Convexa se unificaron en una forma genérica Ladera (figura 2c).

La orientación del relieve con respecto al sol y los vientos dominantes fue obtenida a partir de la orientación de las cuencas hidrográficas. Se realizó un modelo hidrológico utilizando la metodología Arc hydro (von Asmuth et al., 2012). Adicionalmente se utilizaron como referencia las unidades de pendiente (Alvioli et al., 2016) definidas como la sección de una cuenca del parteaguas al valle (Bai et al., 2015) (figura 2d).

Sistema de expertos basado en motor de inferencia difusa

La decisión de qué gradientes y estaciones meteorológicas de referencia utilizar en cada punto del terreno fue modelada por un motor de inferencia difusa tipo Mamdani. Este tipo de

motor de inferencia se define a partir de conjuntos de entradas, salidas, reglas, términos de entrada y de salida (Mamdani, 1974). Para este resultado las variables y términos de entrada fueron definidos por criterios de expertos a partir de los factores formadores del clima local identificados. Como variables y términos de salida se definieron los gradientes vertical y horizontal a utilizar y la estación meteorológica de referencia. El número, rango y tipo de las categorías de todas las variables que toma en cuenta el motor de inferencia difusa, dependen de la variable climática estudiada.

El conjunto de reglas del modelo de inferencia estuvo definido por cómo los expertos interpretaron la relación entre las variables de entrada y de salida. Cada regla se definió como una construcción lógica IF-THEN-ELSE expresada de forma lingüística. A cada una de las reglas se le asoció un peso para definir reglas adicionales de prioridad. Las reglas fueron evaluadas por el motor de inferencia mediante operaciones difusas y los resultados convertidos en una función de pertenencia para cada conjunto de reglas de salida. El proceso final convirtió las funciones difusas en un conjunto de Gradiente vertical, Gradiente horizontal y Estación meteorológica de referencia para cada conjunto de valores de entrada.

Mapificación usando rejilla irregular

Para la mapificación se utilizó una rejilla irregular. Esta rejilla fue construida distribuyendo un número de puntos sobre el área de estudio de

forma tal que se cumpla la condición de máxima independencia de los valores geográficos entre las locaciones ([Theobald et al., 2007](#); [Hutchinson, 2011](#)). Este algoritmo se ejecuta en dos partes:

Primeramente se utilizó el algoritmo RRQRR (Reverse Randomized Quadrant-Recursive Raster) para mapear el espacio bidimensional del área de estudio a un espacio unidimensional. En este espacio cada locación quedó distribuida en forma balanceada. En segundo lugar un mapa raster de probabilidad de inclusión (valores entre 0 y 1 inclusivo) asignó diferentes probabilidades de selección a cada pixel del área de estudio sobre sus vecinos. En este caso el mapa de probabilidad se creó a partir de la desviación estándar de la altura en la vecindad circular de un punto con un radio de 1km. En la [figura 3](#) se puede apreciar que esta distribución irregular efectivamente presentó mayor densidad en zonas de laderas donde la aparición de microclimas es más probable.

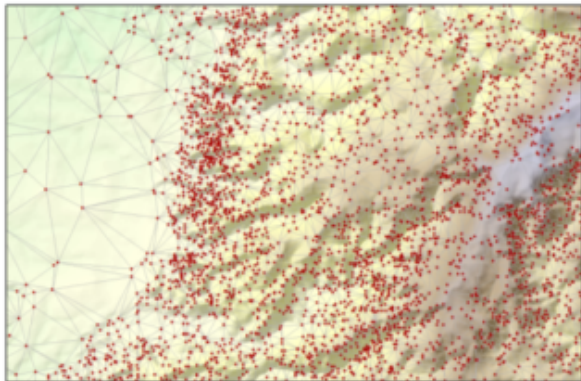


Figura 3. Detalle de la Red irregular de puntos en la zona de Pinares de Mayarí, provincia Holguín

Por medio de funciones SIG se obtuvo para cada punto de la rejilla irregular un patrón en forma de vector definido por los valores de las variables de entrada del motor de inferencia. El vector de salida fue utilizado para obtener el valor de la variable climática para el punto.

Finalmente se utilizó un algoritmo de suavizado para generar un mapa continuo de la variable. Durante el estudio se obtuvieron los mejores resultados con un algoritmo basado en thinplate splines desarrollado para realizar interpolaciones correctas del relieve. El algoritmo se denomina ANUDEM y puede consultarse en [Hutchinson \(2011\)](#).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variable temperatura mínima se utilizó como estudio de caso para evaluar el método de mapificación propuesto.

Sistema de expertos para la variable climática temperatura mínima

Se construyó un motor de inferencia difusa para la variable climática temperatura mínima media. Para cada variable de entrada del motor fueron identificados los rangos, tipo de variable y etiquetas asociadas, ([tabla 1](#)). Las variables de salida del motor fueron también definidas, ajustadas a los resultados del estudio utilizado como base. La [tabla 2](#) describe el resultado de la definición de las variables de salida del motor de inferencia. El número de etiquetas de los gradientes se corresponde con el número de gradientes identificados en el estudio base, los cuales se muestran en la [tabla 3](#). La [tabla 4](#) describe las estaciones de meteorológicas referencia y las temperaturas mínimas medias, serie 1986-2015, utilizada en el motor de inferencia.

El motor de inferencia quedó configurado con 45 reglas ([figura 4](#)). Cada una de las reglas fue analizada en un proceso iterativo donde se fueron refinando las mismas. Se utilizó como criterio de calidad la no ocurrencia de indefiniciones en la salida y la verificación por expertos de las salidas generadas por patrones conocidos.

Mapificación de la temperatura mínima.

De los mapas resultantes se observa en la [figura 5](#) que representan correctamente las inversiones de temperatura en los valles, especialmente en Sierra Maestra. El Valle de Caujerí (detalle en [figura 5 d](#)) y otros valles intramontanos de la vertiente sur del macizo Nipe Sagua Baracoa, son tratados correctamente. Se representa una gran variabilidad espacial de la temperatura a ambas escalas ([figura 5 a y b](#)), sobre todo en zonas de alturas medias de las cuencas, lo que es consecuente con los efectos esperados de los elementos formadores de clima.

Las isotermas aparecen más regulares y definidas en los mapas obtenidos a mayor escala como puede apreciarse en las [figuras 5 a y b](#), a pesar de usar exactamente la misma información base. Esto es indicador de la capacidad de generalización del método propuesto.

Tabla 1. Descripción de las variables y términos de entrada del motor de inferencia para la variable climática temperatura mínima media

Variable de entrada del motor de inferencia	Descripción	Rango	Tipo	Etiquetas
elev	Altura sobre el nivel del mar	0-2000 msnm	trapezoide	Baja, media, alta
sup	Tipo de superficie	1..9 categorías	Triangular y trapezoide	Llano, parteaguas, pico, ladera, valle
loc	Ubicación geográfica	0..9 categorías	triangular	Llcam, llcauto, vcentral, vgtmo, vstgo, anipe, scristal, albcoa, sturq, spiedra
olad	Orientación del relieve con respecto al sol y los vientos dominantes	1..3 categorías	triangular	Norte, sur, oeste
distmar	Influencia marina	1-900 km	trapezoidal	Costa, tierra

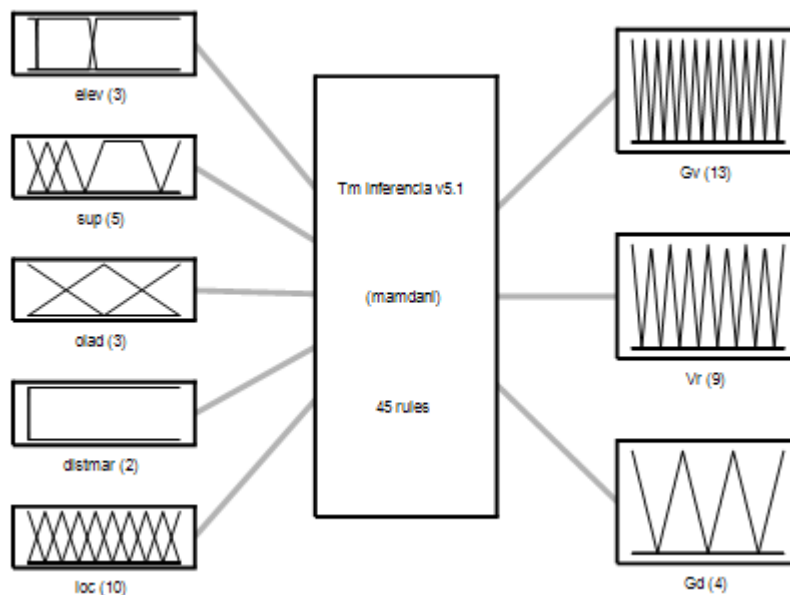


Figura 4. Representación esquemática del motor de inferencia para la variable climática temperatura mínima media

Tabla 2. Descripción de las variables de salida y términos de salida del motor de inferencia

Variable de salida del motor de inferencia	Descripción	Rango	Tipo	Etiquetas
Gv	Gradiente vertical	1..13 categorías	triangular	g1, g2, g3, g4, g5, g6, g7, g8, g9, g10, g11, g12
Vr	Estación de referencia	1..9 categorías	triangular	r1, r2, r3, r4, r5, r6, r7, r8, r9
Gd	Gradiente horizontal	1..3 categorías	triangular	gd0, gd1, gd2, gd3

Tabla 3. Gradientes utilizados (Montenegro, 1993)

Valor ordinal	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Gradiente vertical (g)	--	0	0.6	0.2	0.74	0.55	0.59	0.47	0.1	0.57	0.77	1.6	0.39	0.36
Gradiente horizontal (gd0)	0	0.14	0.07	0.28	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 4. Estaciones meteorológicas de referencia y temperaturas mínimas medias, serie 1986-2015

Valor ordinal de referencia (r)	id	z (m)	distmar (km a la costa más cercana)	Tm
1	78319	172	12.70	20.7
2	78377	28	24.28	20.5
3	78363	117	33.49	20.1
4	78369	6	0.17	25.2
5	78371	699	23.90	17.8
6	78366	1198	9.24	16.6
7	78368	47	13.18	21.4
8	78364	42	2.86	23.4
9	78359	61	1.50	22.1

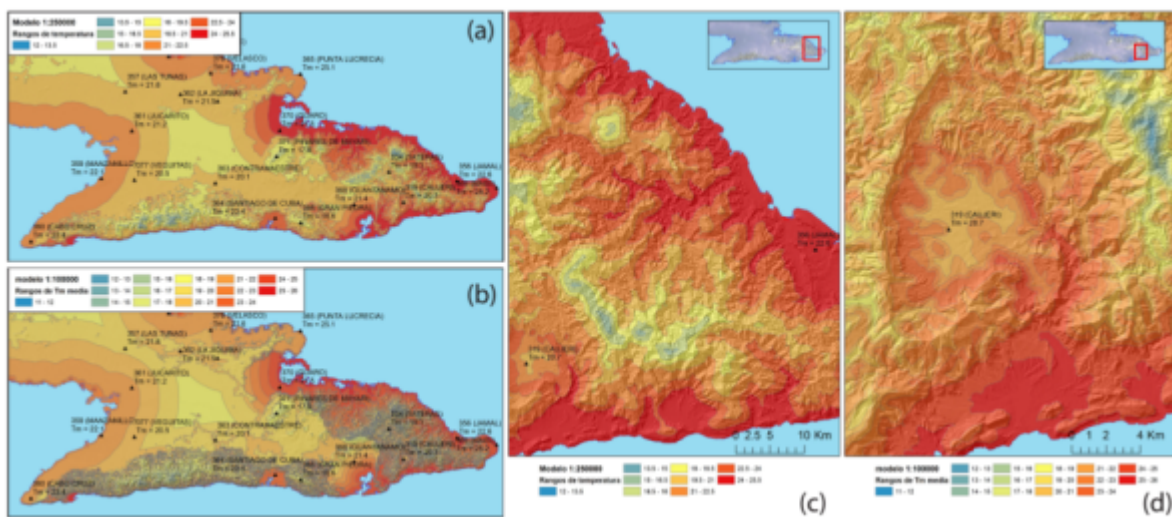


Figura 5. Mapas de la variable temperatura mínima media. a) Escala 1:250000, distancia entre clases 1 grados Celsius; b) Escala 1:100000, distancia entre clases 0.5 grados Celsius; c) Detalles de la Sierra del Purial y la cuenca del Toa en 1:250000; d) Detalle del Valle de Caujerí 1:100000

Se obtuvo un mapa continuo de la variable climática temperatura mínima media para toda el área de estudio en cada escala, lo que garantiza la continuidad de las zonas de temperatura entre montaña y llano. No obstante se pueden observar buscos cambios de temperatura en los límites de algunas regiones geográficas, consecuencia probablemente de los límites abruptos entre diferentes zonas geográficas que exige la representación de datos en los SIG actuales. Existen soluciones teóricas para este problema, como las regiones difusas (Kanjiyal *et al.*, 2010) que pueden ser implementadas en investigaciones futuras. Adicionalmente, es posible definir reglas más precisas para esas zonas dudosas en el motor

de inferencia. Los mapas resultantes pueden ser publicados utilizando como bordes de referencia las hojas cartográficas 1:250000 y 1:100000.

El análisis estadístico de los errores está limitado debido a la falta de redundancia en los datos climáticos disponibles. Solamente fue factible utilizar las estaciones meteorológicas 78356, Jamal, Baracoa y 78334, Palenque de Yateras, para verificar los resultados del método. En la estación meteorológica ubicada en El Jamal, Baracoa, el motor de inferencia utilizado sobreestima la temperatura mínima media en 2.1°C. No así la estación de Palenque de Yateras donde la calculada se encuentra en a 0.4°C de la obtenida en la estación. Un cuidadoso estudio de

las reglas de inferencia y los gradientes de la zona pueden corregir ese tipo de problemas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se obtuvo un método de mapeación de variables climáticas usando gradientes, estaciones meteorológicas de referencia y criterio de expertos en zonas de relieve complejo. Los mapas generados a diferentes escalas son continuos y consistentes con el conocimiento adquirido sobre el área de estudio.

No obstante, la separación de gradientes verticales y horizontales, aunque práctica, puede introducir sobreestimación de temperaturas mínimas medias en zonas interiores de las vertientes norte del área de estudio. En general, los principales problemas encontrados en el mapa pueden asociarse a necesidad de mayor información sobre los microclimas, o limitaciones en la descripción de los formadores de climas locales.

El método de mapeación para las variables climáticas utilizando un motor de inferencias difusas tipo mamdani es efectivo para las variables asociables a gradientes como temperatura y humedad relativa.

Los resultados de este estudio indican que sería provechoso realizar campañas de campo adicionales o aplicar métodos de modelación dinámica del clima para obtener información adicional de los microclimas. Las reglas del modelo de inferencia pueden seguir afinándose para cubrir mejor las interfaces entre llanos y montañas. Adicionalmente puede considerarse para futuras investigaciones la introducción de la insolación y viento, como factores formadores de microclimas en las zonas montañosas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Proyecto P211LH007-016 “Línea Base Climática para los ecosistemas de montaña” del Programa Nacional: Meteorología y Desarrollo Sostenible. Los autores desean agradecer al Lic, Ursinio Montenegro Moracen por el apoyo brindado durante la investigación.

REFERENCIAS

- Alvioli, M.; Marchesini, I.; Reichenbach, P.; Rossi, M.; Ardizzone, F.; Fiorucci, F. & Guzzetti, F. 2016. “Automatic delineation of geomorphological slope units with r.slopeunits v1.0; and their optimization for landslide susceptibility modeling”. *Geoscientific Model Development*, 9(11): 3975-3991, ISSN: 1991-9603, DOI: 10.5194/gmd-9-3975-2016.
- Bai, R.; Li, T.; Huang, Y.; Li, J. & Wang, G. 2015. “An efficient and comprehensive method for drainage network extraction from DEM with billions of pixels using a size-balanced binary search tree”. *Geomorphology*, 238: 56-67, ISSN: 0169-555X, DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.02.028.
- Boytel, F. B. 1972. *Geografía Eólica de Oriente*. .
- Bukovsky, M. S. & Karoly, D. J. 2009. “Precipitation Simulations Using WRF as a Nested Regional Climate Model”. : 2152-2159.
- Fernando, H. J. S.; Hacker, J. P.; Katopodes Chow, F.; Pardyjak, E.; Dunn, P.; Pratt, T.; Hoch, S.; Steenburgh, J.; Whiteman, D.; Pu, Z. & de Wekker, S. F. J. 2017. *Mountain Terrain Atmospheric Modeling and Observations (MATERHORN) Program*. Reporte Final del Programa, no. N00014-11-1-0709, call no. OMB no. 0704-0188, Notre Dame, Estados Unidos.: University of Notre Dame, p. 43.
- Fong G., A.; Maceira, D.; William, F.; Alverson, S. & Wachter, T. (ed. ser.). 2005. *Cuba: Parque Nacional “Alejandro de Humboldt”*. (ser. Rapid Biological Inventories), Chicago: The Field Museum, p. 119.
- Heikkilä, U.; Sandvik, A. & Sorteberg, A. 2011. “Dynamical downscaling of ERA-40 in complex terrain using the WRF regional climate model”. *Climate Dynamics*, 37(7-8): 1551-1564, ISSN: 0930-7575, 1432-0894, DOI: 10.1007/s00382-010-0928-6.
- Hernández, M. 2016. *Influencia de los factores físico-geográficos en la configuración espacio-temporal de la lluvia en la Sierra Maestra y las provincias La Habana y*

- Mayabeque. Habana, Cuba.: Universidad de la Habana.
- Hutchinson, M. F. 2011. "ANUDEM version 5.3, user guide". Canberra: Fenner School of Environment and Society, Australian National University, Available: Available: http://fennerschool.anu.edu.au/files/usedem53_pdf_16552.pdf , [Consulted: April 7, 2015].
- Jasiewicz, J. & Stepinski, T. F. 2013. "Geomorphons - a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms". *Geomorphology*, 182: 147-156, ISSN: 0169-555X, DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.11.005.
- Kanjilal, V.; Liu, H. & Schneider, M. 2010. "Plateau Regions: An Implementation Concept for Fuzzy Regions in Spatial Databases and GIS". In: Hüllermeier, E., Kruse, R. & Hoffmann, F. , (eds.)Hutchison, D., Kanade, T., Kittler, J., Kleinberg, J. M., Mattern, F., Mitchell, J. C., Naor, M., Nierstrasz, O., Pandu Rangan, C., Steffen, B., Sudan, M., Terzopoulos, D., Tygar, D., Vardi, M. Y. & Weikum, G. (ed. ser.), *Computational Intelligence for Knowledge-Based Systems Design*, vol. 6178, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 624-633, ISBN: 978-3-642-14048-8, DOI: 10.1007/978-3-642-14049-5_64, Available: Available: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-14049-5_64 , [Consulted: October 19, 2017].
- Kryza, M.; 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.
- Lecha, L. B.; Paz, L. R. & Lapinel, B. 1994. *El Clima de Cuba*. La Habana, Cuba.: Editorial Academia, 186 p.
- Li, D.; Storch, H. von & Geyer, B. 2016. "Testing Reanalyses in Constraining Dynamical Downscaling". *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 94A: 47-68, DOI: 10.2151/jmsj.2015-044.
- Maceira, D.; Fong G., A.; William, F.; Alverson, S. & Wachter, T. (ed. ser.). 2005. *Cuba: Parque Nacional La Bayamesa*. (ser. Rapid Biological Inventories), Chicago: The Field Museum , p. 81.
- Mamdani, E. H. 1974. "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant". *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 121(12): 1585, ISSN: 0020-3270, DOI: 10.1049/piee.1974.0328.
- 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*. .
- Morales, G. M. 2002. *Perfeccionamiento del manejo de la información en las regiones especiales de desarrollo sostenible de la república de cuba, mediante la aplicación de los sistemas de información geográfica*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas, Habana, Cuba.: Instituto Técnico Militar (ITM).
- Núñez, A. & Viña, N. 1989. *Regiones Naturales y Antrópicas*. (ser. Nuevo Atlas nacional de Cuba.), Habana, Cuba.: Academia de ciencias de Cuba.
- Planos, E.; Boudet, D.; Gonzalez, I.; Carrillo, E.; Hernández, M. & al; et. 2012. *Atlas Climático de Cuba*. digital, Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias.
- Planos, E.; Guevara, V. & Rivero, R. 2013. *Impacto del Cambio Climático en Cuba y medida de Adaptación*. La Habana, Cuba.: Editorial AMA., ISBN: 978-959-300-039-0.
- Stepinski, T. F. & Jasiewicz, J. 2011. "Geomorphons-A New Approach to Classification of Landforms". *Proceedings of Geomorphometry 2011*, : 109-112.

- Theobald, D. M.; Stevens, D. L.; White, D.; Urquhart, N. S.; Olsen, A. R. & Norman, J. B. 2007. "Using GIS to Generate Spatially Balanced Random Survey Designs for Natural Resource Applications". *Environmental Management*, 40(1): 134-146, ISSN: 0364-152X, 1432-1009, DOI: 10.1007/s00267-005-0199-x.
- TNC. 2018. *The Nature Conservancy*. The Nature Conservancy, Available: <https://www.nature.org/en-us/>, [Consulted: October 30, 2018].
- Vázquez, R. & Solano, O. 2013. "Modelación espacial de la lluvia y la evapotranspiración teniendo en cuenta parámetros geográficos.". *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio.*, 14(1), ISSN: 1729-3790.
- von Asmuth, J. R.; Maas, K.; Knotters, M.; Bierkens, M. F. P.; Bakker, M.; Olsthoorn, T. N.; Cirkel, D. G.; Leunk, I.; Schaars, F. & von Asmuth, D. C. 2012. "Software for hydrogeologic time series analysis, interfacing data with physical insight". *Environmental Modelling & Software*, 38(0): 178-190, ISSN: 1364-8152, DOI: 10.1016/j.envsoft.2012.06.003.
- Wang, T.; Hamann, A.; Spittlehouse, D. L. & Murdock, T. Q. 2012. "ClimateWNA-high-resolution spatial climate data for western North America". : 16-29.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

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/)