

# Distribución espacial de la temperatura del aire en la provincia de Cienfuegos

## Spatial distribution of air temperature at Cienfuegos province



<https://cu-id.com/2377/v29n3e09>

<sup>1</sup>Sinaí Barcia Sardiñas\*, <sup>2</sup>Endris Yoel Viera González, <sup>3</sup>Dianelly Gómez Díaz, <sup>4</sup>Lennis Beatriz Fuentes Roque, <sup>5</sup>Miguel Angel Porres García, <sup>6</sup>Leonardo Mejías Sebanes, Raquel Alejandra Angulo Romero

<sup>1</sup>Centro Meteorológico Provincial, Cienfuegos, Cuba. E.mail: [sinaibs@gmail.com](mailto:sinaibs@gmail.com), [endrisviera@gmail.com](mailto:endrisviera@gmail.com), [dianellygomez2310@gmail.com](mailto:dianellygomez2310@gmail.com), [lennis.0320@gmail.com](mailto:lennis.0320@gmail.com), [miguelangelporresgarcia@gmail.com](mailto:miguelangelporresgarcia@gmail.com), [Im640724@gmail.com](mailto:Im640724@gmail.com)

**RESUMEN:** El conocimiento de la distribución espacial de la temperatura del aire superficial, es de gran valor para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los países que dependen del clima, como un recurso natural fundamental en el contexto del cambio climático. El mapeo de la temperatura del aire en la provincia de Cienfuegos es de importancia práctica porque las estaciones meteorológicas son escasas y están distribuidas de manera desigual en la región. La presente investigación tiene como objetivo: determinar la distribución espacial de la temperatura del aire en la provincia de Cienfuegos. Para la cartografía de la temperatura (media, mínima y máxima) se utilizaron los valores medios mensuales del período climático normal 1991-2020, de 62 estaciones meteorológicas. Se aplicó una combinación de técnicas estadísticas de regresión lineal entre la variable meteorológica (temperatura del aire) y variables geográficas; y técnicas geoestadísticas para la interpolación de los resultados. Los resultados de esta investigación avalan que las variaciones más notables en el campo térmico en la provincia están asociadas a la zonalidad altitudinal y la distancia a la costa y a la variación de la distribución por meses en los periodos (poco lluvioso y lluvioso).

**Palabras claves:** temperatura del aire, distribución espacial, técnicas estadísticas y geoestadísticas, Cienfuegos.

**ABSTRACT:** Knowledge of the spatial distribution of surface air temperature is of great value for the development of socioeconomic activities in countries that depend on climate, as a fundamental natural resource in the context of climate change. The mapping of air temperature in the Cienfuegos province is of practical importance because meteorological stations are few and unevenly distributed in the region. The present investigation has as objective: to determine the spatial distribution of the air temperature in the province of Cienfuegos. For the mapping of the temperature (mean, minimum and maximum) the monthly mean values of the normal period 1991-2020, from 62 meteorological stations, were used. A combination of linear regression statistical techniques was applied between the meteorological variable (air temperature) and geographical variables; and geostatistical techniques for interpolation of the results. The results of this research support that the most notable variations in the thermal field in the province are associated with the altitudinal zonality and the distance to the coast and the variation of the distribution by months in the periods (dry rainy and rainy).

**Key words:** air temperature, spatial distribution, statistical and geostatistical techniques, Cienfuegos.

### 1. INTRODUCCIÓN

Junto con el agua, la calidad de suelo y la sanidad vegetal y animal, el clima es un aspecto fundamental a considerar para el desarrollo de la agricultura en una

zona geográfica delimitada. En la medida que se tiene mayor información sobre el clima, mayor certeza se tendrá para tomar decisiones de planificación agrícola y aptitud de cultivos en diferentes territorios.

\*Autor para correspondencia: Sinaí Barcia Sardiñas. E.mail: [sinaibs@gmail.com](mailto:sinaibs@gmail.com)

Recibido: 03/04/2023

Aceptado: 14/07/2023

**Conflicto de interés:** declaramos, no tener ningún conflicto de interés

**Contribución de autoría:** **Conceptualización:** Sinaí Barcia Sardiñas, Endris Yoel Viera González, Dianelly Gómez Pérez.

**Curación de datos:** Endris Yoel Viera González, Sinaí Barcia Sardiñas, Dianelly Gómez Pérez. **Investigación:** Endris Yoel Viera González, Dianelly Gómez Díaz, Sinaí Barcia Sardiñas, Leonardo Mejías Sebanes, Lennis B. Fuentes Roque, Miguel A. Porres García, Raquel Alejandra Angulo Romero. **Metodología:** Sinaí Barcia Sardiñas, Endris Yoel Viera González, Dianelly Gómez Pérez. **Supervisión:** Sinaí Barcia Sardiñas, Dianelly Gómez Díaz, Endris Yoel Viera González. **Visualización:** Endris Yoel Viera González, Dianelly Gómez Pérez, Sinaí Barcia Sardiñas

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/)

La temperatura del aire superficial es una variable climática muy importante en muchos estudios climáticos. En particular, juega un papel fundamental en disímiles actividades socioeconómicas para el desarrollo humano como es el caso de la agricultura, ganadería y la silvicultura. La misma resulta muy útil para las aplicaciones en el estudio de enfermedades biológicas (Mount and Haile, 1989; Focks et al., 1995; Bertrand and Wilson, 1996; Thomson et al., 1996 y Goetz et al., 2000), usos veterinarios (Flasse et al., 1995), predicciones meteorológicas (Smith et al., 1988), desarrollo de epidemias (Connor et al., 1998) o cambio climático (IPCC, 2001). Además, es utilizada para determinar la idoneidad de la localización de cultivos agrícolas y forestales (Hudson y Wackernagel, 1994), parametrizar el hábitat de las especies vegetales (Sánchez-Palomares et al., 2003) y determinar de patrones de zonificación de la vegetación (Richardson et al., 2004). Es un factor relacionado con la productividad de la planta, ya que está ligada a la duración del periodo vegetativo y la evapotranspiración. De igual manera, no solo está relacionada directamente con el desarrollo vegetativo de cada cultivo, sino también con el desarrollo biológico de plagas e insectos.

El estudio de la temperatura y su comportamiento en el territorio y en diferentes periodos del año permite plantear una actividad agrícola de cualquier tipo, adaptada a estas características climáticas específicas de cada zona. En los tiempos que corren, la base de una agricultura sostenible es hacerla resiliente a los nuevos escenarios climáticos, lo cual demande de estudios profundos y actualizados sobre el comportamiento de las variables climáticas, donde la temperatura resulta la variable más evidente del cambio climático.

Se han aplicado numerosos métodos de interpolación espacial para estimar la distribución espacial de la temperatura del aire en la superficie (Collins y Bolstad, 1996). Diversos autores han demostrado que los métodos de interpolación espacial como el inverso de la distancia ponderado, el kriging ordinario y cokriging de peso de distancia inversa, kriging ordinario, cokriging ordinario no producen resultados acertados para la temperatura del aire en zonas con orografía compleja y escasas estaciones meteorológicas (Li et al. 2018). Algunas de las tendencias recientes incluyen el uso de métodos geoestadísticos (Holdaway, 1996; Hudson y Wackernagel, 1994), red neuronal artificial (Snell et al., 2000), spline de suavizado espaciotemporal (Luo et al., 1998) y un método basado en patrones de circulación atmosférica (Courault y Monestiez, 1999).

Sin embargo, estimar la distribución espacial de la temperatura del aire a partir de muestras puntuales irregulares en una región montañosa con un terreno complejo, pero con muy pocas observaciones sigue siendo un desafío. Algunos estudios muestran que los errores de interpolación espacial son mayores en áreas

montañosas donde las observaciones suelen ser escasas y la variabilidad de la elevación es muy grande. Es por esto que una de las soluciones para estimar la distribución espacial de las variables climáticas, es emplear métodos que incluyan la corrección del efecto de la altitud, además de otras variables independientes como lo son la distancia a la costa y/o la latitud y longitud (Li et al. 2018).

En Cuba, según Delgado y Peña de la Cruz (2019), los métodos de mapeo de variables climáticas utilizados 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). Estos autores (Delgado y Peña de la Cruz, 2019) por su parte, generan mapas continuos de variables climáticas a partir de gradientes, valores de referencia y criterio de expertos en zonas de relieve complejo, en este caso, la zona montañosa del oriente cubano. 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.

El mapeo de la temperatura del aire en la provincia de Cienfuegos es de importancia práctica porque las estaciones meteorológicas son escasas y están distribuidas de manera desigual en la región. Además, se suma el hecho de que la provincia presenta una zona de complejo relieve al suroeste, representado por el macizo montañoso de Guamuhaia cuyo punto más alto es el Pico San Juan con 1140 m de altura sobre el nivel medio del mar.

Como antecedentes en la provincia se encuentra el trabajo realizado por Castillo y Barcia (2015) quienes determinan la distribución espacial de las sensaciones térmicas (expresadas a través de la temperatura efectiva y temperatura efectiva equivalente) en la provincia de Cienfuegos aplicando la metodología de interpolación basada en el análisis de regresión múltiple. Los resultados de este trabajo son novedosos desde el punto de vista local, aunque se le señala como dificultad la no realización de la validación cruzada para determinar el error de la interpolación.

El objetivo general trazado con este trabajo consiste en: Determinar la distribución espacial de la temperatura del aire en la provincia de Cienfuegos en el periodo 1991-2020.

La investigación realizada pretende elevar los niveles cognitivos sobre el comportamiento espacial de la temperatura en la provincia de Cienfuegos. Esta forma parte de los resultados del Proyecto Nacional: Fortalecimiento de las capacidades del sector agropecuario de la provincia de Cienfuegos en la mitigación y adaptación al Cambio Climático (AGROFORT\_100).

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Área de estudio

La provincia de Cienfuegos se ubica en el centro sur de Cuba, entre las coordenadas 21°50' y los 22°30' de latitud norte y los 80°06' y los 80° 55' de longitud oeste. Limita al norte y al oeste con la provincia de Matanzas, al este y al nordeste con la provincia de Villa Clara, al sur con el mar Caribe y al suroeste con la provincia de Sancti Spiritus (Figura 1). Está dividida en ocho municipios y cuenta con una extensión territorial de 4188.61km<sup>2</sup>, que representa aproximadamente el 4.0% de la superficie total del país (ONEI, 2020).

#### Relieve

En cuanto al relieve, se destacan 4 unidades físico-geográficas fundamentales: Llanura de Cienfuegos, Llanura de Manacas, Alturas de Santa Clara y el macizo perteneciente a las Alturas de Trinidad. La parte occidental de la provincia es llana, abarcando el 73.5% del territorio. La zona de colinas y premontañas se localiza al oriente y nordeste del territorio y representa el 9.8% del mismo. La porción este es montañosa debido a la presencia de las montañas de Trinidad, las cuales forman parte del grupo montañoso Guamuha-ya. El sur está contorneado por el mar, con costas abrasivas y acumulativas, en algunos casos formando playas.

Entre los accidentes geográficos más relevantes de la provincia se encuentra el Pico San Juan, ubicado en las montañas de Trinidad, con 1140 m sobre el nivel del mar; y la bahía de Cienfuegos, del tipo de bolsa, considerada dentro de las mayores y más estratégicas del país por su posición y características.

#### Hidrografía

Según la Delegación Provincial del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (2013), los recursos hídricos tienen una amplia utilización como fuentes de abasto, en el desarrollo de actividades pesqueras, acuícolas, en actividades turísticas, recreativas, etc. La provincia cuenta con 14 cuencas superficiales en el sistema hidrológico y un gran número de humedales. En el territorio se han construido 6 embalses (El Salto, Avilés, Paso Bonito, Abreus, Galindo y Voladora) y 67 microembalses que suman a nivel de aguas máximas una cantidad de 2020.25 hm<sup>3</sup>, mientras que a nivel de aguas normales 612.8 hm<sup>3</sup> de los cuales el 65% (400 hm<sup>3</sup>) constituye el volumen de utilización actual.

Entre las corrientes fluviales más importantes del territorio se encuentran: Damují, Caunao, Arimao, Hanabanilla, Hanábana, San Juan, Hondo y Cabagán; y entre las cuencas subterráneas, las del Hanábana y Juraguá. El sistema de abasto de agua del territorio se satisface a partir de 114 fuentes subterráneas y 46 superficiales.

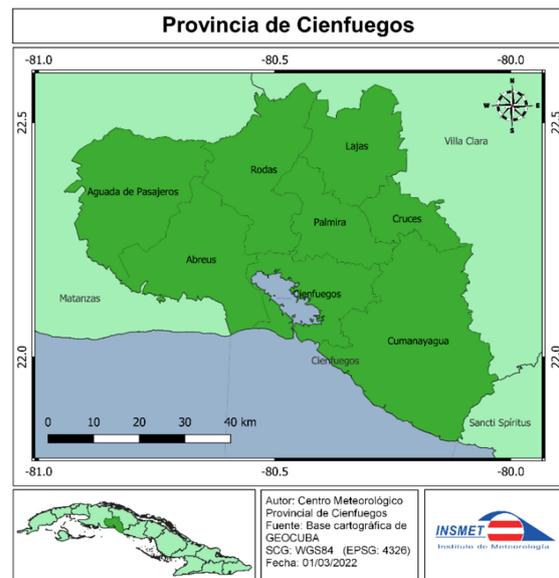


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

Cienfuegos cuenta con una bahía de bolsa de unos 88 km<sup>2</sup> que sirve de abrigo desarrollo portuario y turístico.

#### Geología

La provincia se encuentra ubicada hacia el límite suroccidental del núcleo central de Cuba, separada por un plano de fallas profundas de la Fosa Oceánica de Jagua. Se distinguen las zonas de Trinidad, Manicargua y Zaza, estas se encuentran rodeadas al noreste y suroeste por dos cuencas superpuestas una de ellas la de Cienfuegos, que se halla situada hacia el centro sur de la provincia, constituyendo un área de movimientos descendentes post-cretácico, y se distinguen: conglomerados areniscos, aleuritas, margas, arcillas, calizas de diferentes tipos y composición correspondiente a las formaciones de San Pedro, Cantabria, Soledad, Ranchuelo, Jicotea, Caunao y Cienfuegos. El espesor medio de estas secuencias es de 1900 a 2600m aproximadamente.

#### Suelos

Se presentan varias clases de suelos los que se agrupan en:

**Arenosos:** Tienen textura ligera con menos de un 50% de arcilla, son de baja fertilidad y se ubican hacia el sureste del territorio.

**Latosolizados:** Son abundantes en esta zona representados por arcillas rojas que cubren las áreas cársticas.

**Calcáreos:** Son suelos con arcillas pardas negruzcas, con carbonatos de alto contenido de materia orgánica, representan aproximadamente el 50% del área total del municipio.

## 2.2. Datos utilizados

Debido a que la provincia de Cienfuegos solo cuenta con dos estaciones meteorológicas dificultaba el análisis espacial de algunas variables meteorológicas por lo que para el presente estudio se emplearon 62 estaciones meteorológicas pertenecientes a la red de estaciones del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET) (Figura 2).

Se emplearon los siguientes datos climáticos:

- temperatura seca trihoraria (°C)
- temperatura mínima diaria (°C)
- temperatura máxima diaria (°C)

Estos datos fueron extraídos del Centro del Clima del INSMET, para el período 1991-2020.

El control de la calidad de los datos se realizó a través de la comparación inicial con los valores extremos absolutos de las variables involucradas, cálculos de estadígrafos de posición y dispersión, muestreos gráficos para la determinación de valores dudosos o anómalos. Asimismo, se consideraron aquellas series que cumplieran con las directrices de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en cuanto al total de datos faltantes (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2018).

Para el análisis de homogeneidad de las series se calculó el estadígrafo de Wald-Wolfowitz para determinar la correlación interna, se calculó el estadígrafo de Spearman y el de Mann-Kendall para determinar su tendencia global y si era necesario por presentar contradicción entre las dos pruebas anteriores se realizó la prueba global de Fisher. El cálculo de los estadígrafos se hizo según Sneyers (1990).

## 2.3. Metodología empleada

La cartografía de la temperatura (media, mínima y máxima) se realizó con los valores medios mensua-

les del período climático normal 1991-2020, por cada estación meteorológica. Se aplicó una combinación de técnicas estadísticas de regresión lineal entre la variable meteorológica (temperatura del aire) y variables geográficas; y técnicas geoestadísticas para la interpolación de los resultados. Con esta metodología se pretendió calcular el valor de la temperatura en cada punto de rejilla basándose en las principales variables geográficas susceptibles de influir en su comportamiento y de los cuales se contaba con información en formato de SIG. Para esto, se empleó la rejilla de 4 x 4 km (Figura 3) elaborada por Solano et al., (2006) y empleada en el Sistema Nacional de Vigilancia Agrometeorológica y de la Sequía Meteorológica.

La metodología de modelización espacial aplicada en esta investigación ha sido utilizada por Ninyerola et al. (2005), Fernández (2008), Castillo y Barcia (2015), Millán y Lallana (2017), Barcia et al. (2022) y constó de los siguientes pasos:

- 1) Cálculo de las ecuaciones de regresión lineal múltiple entre la variable (temperatura) y las variables geográficas donde: las variables independientes o predictoras son la longitud, latitud, altitud y distancia a la costa y la variable dependiente es la temperatura media, mínima y máxima cuyas distribuciones espaciales dependen de las anteriores. Este proceso se realizó solo para el 80% de las estaciones meteorológicas conservando el otro 20% para realizar la validación (Figura 3). Se obtuvieron los coeficientes de regresión múltiple, para cada punto de rejilla mediante la siguiente ecuación:

$$T = b_0 + b_1 \cdot \text{LON} + b_2 \cdot \text{LAT} + b_3 \cdot h + b_4 \cdot d \quad (1)$$

Donde:

LON: longitud (°)

LAT: latitud (°)

h: altitud (m)

d: distancia a la costa (km)

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$ : coeficientes de regresión

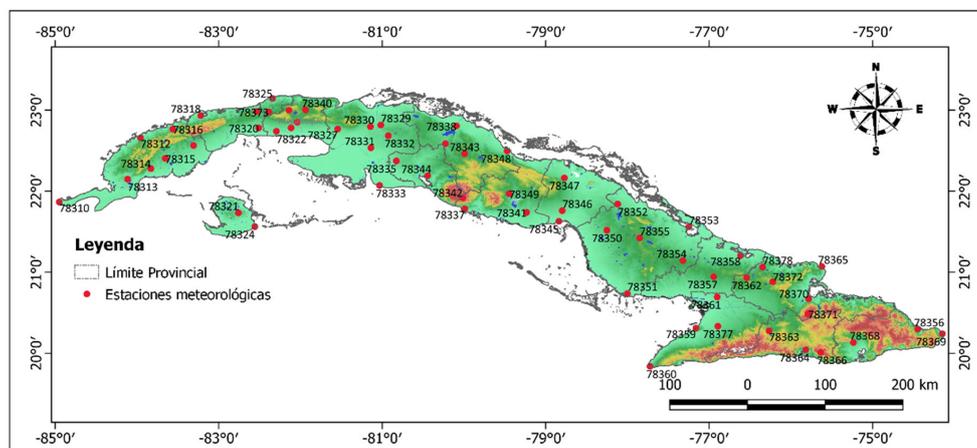
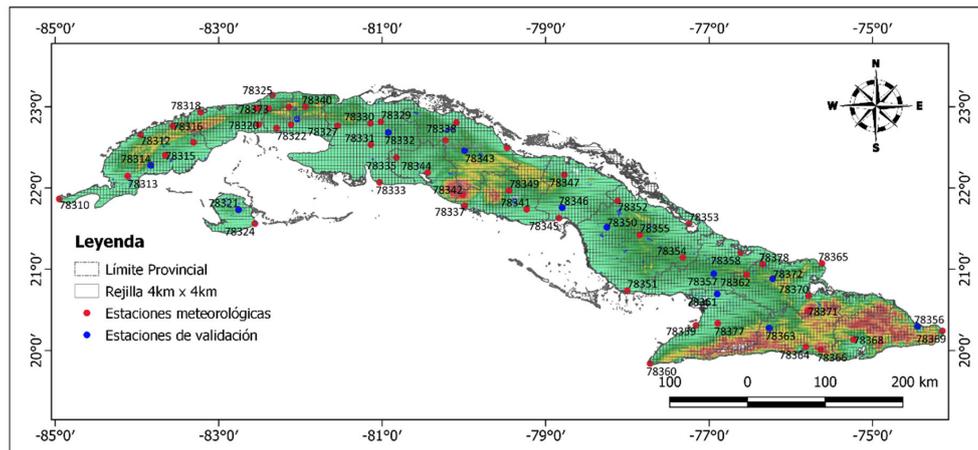


Figura 2. Mapa de localización de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio. Elaboración propia. Fuente de los datos: IPF, INSMET y ASTER Global DEM (ASTER GDEM) versión 3 de 2019.



**Figura 3.** Rejilla empleada para la interpolación de la temperatura y estaciones meteorológicas utilizadas en la modelación espacial y validación. Fuente de los datos: IPF, INSMET, Solano et al., 2006 y ASTER Global DEM (ASTER GDEM) versión 3 de 2019.

Como resultado se obtuvieron mapas “potenciales” de distribución de la temperatura.

### 2) Obtención de residuos y corrección de errores

Para obtener los residuos se restaron los valores observados de temperatura y los estimados por cada modelo de regresión para cada una de las estaciones meteorológicas. Estos valores residuales (errores) se interpolaron espacialmente usando el inverso de la distancia al cuadrado (IDW, por sus siglas en inglés). Finalmente, estos mapas de anomalías se agregaron a los mapas potenciales mediante álgebra de mapas consiguiendo mejoras en el proceso de distribución espacial.

### 3) Validación cruzada y estimación del error de interpolación

El proceso de validación cruzada consistió en la comparación de los valores predichos obtenidos mediante técnicas de interpolación con los valores de las estaciones meteorológicas que no intervinieron en la calibración del modelo de regresión ni en el proceso de corrección de residuos (20 % de las estaciones). Los resultados fueron expresados a través Error Medio Cuadrado (SME, por sus siglas en inglés) que permite conocer el error asociado en términos de las unidades del mapa.

El análisis se realizó a través de varios scripts programados en Rstudio y los mapas se confeccionaron utilizando el software libre Quantum GIS 3.6.3.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Análisis de regresión y validación cruzada

En las tablas 1, 2 y 3 se muestran las ecuaciones de regresión empleadas en el análisis espacial de la temperatura media, mínima y máxima respectivamente. Los mejores modelos de regresión obtenidos fueron con los valores medios mensuales de la temperatura

media del aire que en todos los casos  $R^2$  superó el 84%. Los coeficientes de determinación más bajos se obtuvieron para la temperatura mínima.

Al analizar la tabla 1 se aprecia que para la estimación de la temperatura media la altitud (h) y la distancia a la costa (d) fueron significativas ( $\alpha=0.05$ ) en todos los meses y siempre tuvieron coeficientes de regresión múltiple negativos. Esto significa que la temperatura media del aire se reduce al aumentar altura sobre el nivel del mar y la distancia a la costa. La longitud (LON) fue menos importante en los meses de marzo hasta junio y la latitud (LAT) no fue significativa en la mayor parte del período lluvioso.

En el caso de las temperaturas extremas la longitud (LON) no fue significativa para ningún período (Tablas 2 y 3). En cambio, la latitud (LAT) estuvo presente en todas las estimaciones de la temperatura mínima y en el caso de la máxima solo en los meses del período poco lluvioso del año.

El gradiente térmico altitudinal en la estimación de la temperatura mínima fue de aproximadamente  $-0.5\text{ }^\circ\text{C}$  por cada 100 m (Tabla 2). La disminución de la temperatura máxima con la altura, en cambio, es mayor sobre todo en los meses de octubre hasta abril donde superó los  $0.7\text{ }^\circ\text{C}$  por cada 100 m. Por su parte, en los meses de mayo a septiembre osciló entre  $0.66$  y  $0.7\text{ }^\circ\text{C}$  por cada 100 m.

La influencia de la distancia a la costa también fue visible en todas las estimaciones y puede apreciarse que en el caso de la temperatura media y la mínima la relación es inversa, disminuyendo los valores de temperatura hacia zonas del interior del territorio nacional. En el caso de la temperatura máxima la relación es directa y los valores de temperatura aumentan con la distancia a la costa.

Los errores de interpolación obtenidos en el 20 % de las estaciones que no se emplearon en el análisis de regresión oscilaron entre  $0.31$  y  $1.11\text{ }^\circ\text{C}$  (Tabla 4). Los mayores valores se obtuvieron para la temperatura mínima que en todos los meses y períodos sobrepasó

**Tabla 1.** Ecuaciones de regresión obtenidas para el análisis espacial de la temperatura media por meses.

| Mes                   | Ecuación de Regresión   | R <sup>2</sup> |
|-----------------------|---|----------------|
| enero                 | $T = 49.6889 + 0.1605 * LON - 0.6351 * LAT - 0.0066 * h - 0.0302 * d$ | 0.853          |
| febrero               | $T = 44.9689 + 0.1045 * LON - 0.6009 * LAT - 0.0068 * h - 0.0249 * d$ | 0.850          |
| marzo                 | $T = 39.6743 - 0.7085 * LAT - 0.0069 * h - 0.0174 * d$                | 0.877          |
| abril                 | $T = 35.9535 - 0.44731 * LAT - 0.0070 * h - 0.0113 * d$               | 0.914          |
| mayo                  | $T = 32.2058 - 0.2562 * LAT - 0.0067 * h - 0.0158 * d$                | 0.910          |
| junio                 | $T = 27.6032 - 0.0060 * h - 0.0225 * d$                               | 0.854          |
| julio                 | $T = 37.7515 + 0.1216 * LON - 0.0065 * h - 0.0242 * d$                | 0.866          |
| agosto                | $T = 38.3140 + 0.1283 * LON - 0.0065 * h - 0.0274 * d$                | 0.857          |
| septiembre            | $T = 37.4429 + 0.1237 * LON - 0.0063 * h - 0.0287 * d$                | 0.852          |
| octubre               | $T = 39.1799 + 0.1563 * LON - 0.0063 * h - 0.0292 * d$                | 0.861          |
| noviembre             | $T = 46.0013 + 0.1551 * LON - 0.3928 * LAT - 0.0065 * h - 0.0333 * d$ | 0.843          |
| diciembre             | $T = 47.9163 + 0.1574 * LON - 0.5280 * LAT - 0.0066 * h - 0.0325 * d$ | 0.847          |
| año                   | $T = 40.3717 + 0.0917 * LON - 0.3314 * LAT - 0.0066 * h - 0.0248 * d$ | 0.870          |
| período poco lluvioso | $T = 44.2640 + 0.1014 * LON - 0.5477 * LAT - 0.0068 * h - 0.0252 * d$ | 0.868          |
| período lluvioso      | $T = 34.4276 - 0.3212 * LAT - 0.0065 * h - 0.0223 * d$                | 0.872          |

**Tabla 2.** Ecuaciones de regresión obtenidas para el análisis espacial de la temperatura mínima media por meses.

| Mes                   | Ecuación de Regresión                                  | R <sup>2</sup> |
|-----------------------|--|----------------|
| enero                 | $T = 42.9751 - 1.1106 * LAT - 0.0048 * h - 0.0546 * d$ | 0.497          |
| febrero               | $T = 39.9736 - 0.9612 * LAT - 0.0050 * h - 0.0596 * d$ | 0.467          |
| marzo                 | $T = 39.2468 - 0.8977 * LAT - 0.0053 * h - 0.0566 * d$ | 0.510          |
| abril                 | $T = 35.9220 - 0.6736 * LAT - 0.0057 * h - 0.0485 * d$ | 0.570          |
| mayo                  | $T = 31.2659 - 0.3963 * LAT - 0.0056 * h - 0.0415 * d$ | 0.617          |
| junio                 | $T = 28.7288 - 0.2220 * LAT - 0.0055 * h - 0.0366 * d$ | 0.655          |
| julio                 | $T = 30.6491 - 0.3010 * LAT - 0.0055 * h - 0.0392 * d$ | 0.582          |
| agosto                | $T = 30.2227 - 0.2782 * LAT - 0.0054 * h - 0.0397 * d$ | 0.577          |
| septiembre            | $T = 28.1917 - 0.2006 * LAT - 0.0051 * h - 0.0382 * d$ | 0.613          |
| octubre               | $T = 31.8850 - 0.4025 * LAT - 0.0050 * h - 0.0380 * d$ | 0.605          |
| noviembre             | $T = 40.5234 - 0.8817 * LAT - 0.0050 * h - 0.0486 * d$ | 0.500          |
| diciembre             | $T = 41.1656 - 0.9769 * LAT - 0.0049 * h - 0.0520 * d$ | 0.481          |
| año                   | $T = 35.0231 - 0.6069 * LAT - 0.0052 * h - 0.0462 * d$ | 0.540          |
| período poco lluvioso | $T = 39.9955 - 0.9185 * LAT - 0.0053 * h - 0.0531 * d$ | 0.502          |
| período lluvioso      | $T = 30.0609 - 0.2958 * LAT - 0.0050 * h - 0.0391 * d$ | 0.610          |

**Tabla 3.** Ecuaciones de regresión obtenidas para el análisis espacial de la temperatura máxima media por meses.

| Mes                   | Ecuación de Regresión                                  | R <sup>2</sup> |
|-----------------------|--|----------------|
| enero                 | $T = 48.1775 - 0.9457 * LAT - 0.0076 * h + 0.0377 * d$ | 0.819          |
| febrero               | $T = 44.0194 - 0.7229 * LAT - 0.0074 * h + 0.050 * d$  | 0.791          |
| marzo                 | $T = 41.3813 - 0.5673 * LAT - 0.0075 * h + 0.0575 * d$ | 0.795          |
| abril                 | $T = 36.2039 - 0.2682 * LAT - 0.0074 * h + 0.0635 * d$ | 0.784          |
| mayo                  | $T = 31.0795 - 0.0070 * h + 0.0481 * d$                | 0.820          |
| junio                 | $T = 31.9039 - 0.0066 * h + 0.0372 * d$                | 0.820          |
| julio                 | $T = 32.5773 - 0.0066 * h + 0.0392 * d$                | 0.802          |
| agosto                | $T = 32.6998 - 0.0067 * h + 0.0371 * d$                | 0.818          |
| septiembre            | $T = 32.1221 - 0.0067 * h + 0.0320 * d$                | 0.830          |
| octubre               | $T = 40.8412 - 0.4535 * LAT - 0.0074 * h + 0.0279 * d$ | 0.870          |
| noviembre             | $T = 45.0363 - 0.7240 * LAT - 0.0075 * h + 0.0223 * d$ | 0.836          |
| diciembre             | $T = 46.4449 - 0.8375 * LAT - 0.0076 * h + 0.0291 * d$ | 0.830          |
| año                   | $T = 40.6121 - 0.4707 * LAT - 0.0073 * h + 0.0407 * d$ | 0.833          |
| período poco lluvioso | $T = 43.4577 - 0.6730 * LAT - 0.0075 * h + 0.0419 * d$ | 0.813          |
| período lluvioso      | $T = 31.8804 - 0.0067 * h + 0.0364 * d$                | 0.825          |

los 0.6 °C. Igualmente, para la temperatura media y máxima los mayores errores coincidieron en gran parte con los meses del período poco lluvioso.

En el siguiente epígrafe se describe el comportamiento de la temperatura del aire en la provincia de Cienfuegos, ya que es el principal objetivo del presente trabajo, no obstante, la metodología aplicada permite el análisis para el país completo, lo que puede formar parte de futuras investigaciones.

### 3.2. Comportamiento de la temperatura del aire en la provincia de Cienfuegos en el período 1991-2020

#### Temperatura media

La figura 4 muestra el mapa digital de la temperatura media anual del aire en la provincia de Cienfuegos para el período norma 1991-2020 y la Tabla 5 las estadísticas descriptivas de este mapa. Los meses

extremos son enero (21.2 °C) y julio (26.7 °C). Vale aclarar que estos valores se calcularon a partir de todo el conjunto de celdas de 4 x 4 km de Cienfuegos (280), y no de las estaciones meteorológicas.

Las variaciones espaciales más notables en el campo térmico en la provincia están asociadas a la zonality altitudinal y la distancia a la costa. La temperatura media anual en el período 1991-2020 osciló entre 19-26 °C (Figura 4). Los mayores valores (25-26 °C) se observaron hacia el sur de la provincia, mientras que en las zonas premontañosas y montañosas la temperatura media se registró por debajo de los 22 °C.

Esta distribución varía en función de los meses del año y se puede observar como en el período lluvioso, en las zonas llanas de la provincia la temperatura media alcanzó valores entre 25-27°C, ligeramente superiores en toda la faja costera ubicada al sur del territorio; y en las zonas más altas osciló entre 21-25 °C (Figura 5- derecha).

Tabla 4. Validación de la cartografía mediante la obtención del error cuadrático medio (MSE).

| Mes                   | Temperatura media | Temperatura mínima | Temperatura máxima |
|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| enero                 | 0.44              | 1.02               | 0.51               |
| febrero               | 0.45              | 1.11               | 0.59               |
| marzo                 | 0.39              | 0.98               | 0.60               |
| abril                 | 0.31              | 0.84               | 0.61               |
| mayo                  | 0.31              | 0.71               | 0.52               |
| junio                 | 0.31              | 0.57               | 0.35               |
| julio                 | 0.34              | 0.65               | 0.38               |
| agosto                | 0.37              | 0.66               | 0.37               |
| septiembre            | 0.42              | 0.67               | 0.36               |
| octubre               | 0.42              | 0.68               | 0.35               |
| noviembre             | 0.44              | 0.87               | 0.40               |
| diciembre             | 0.47              | 1.00               | 0.47               |
| año                   | 0.39              | 0.80               | 0.43               |
| período poco lluvioso | 0.41              | 0.96               | 0.52               |
| período lluvioso      | 0.36              | 0.64               | 0.37               |

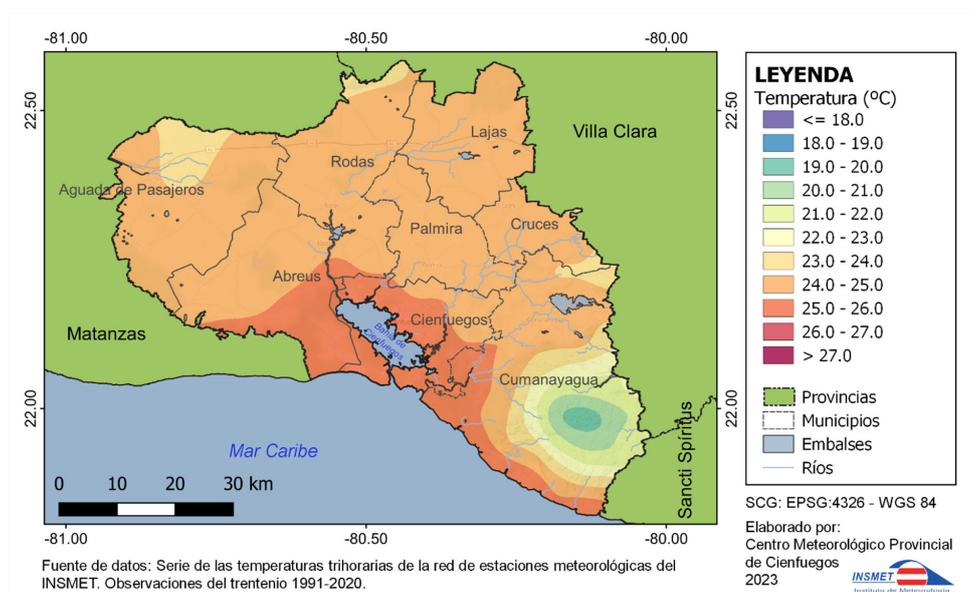
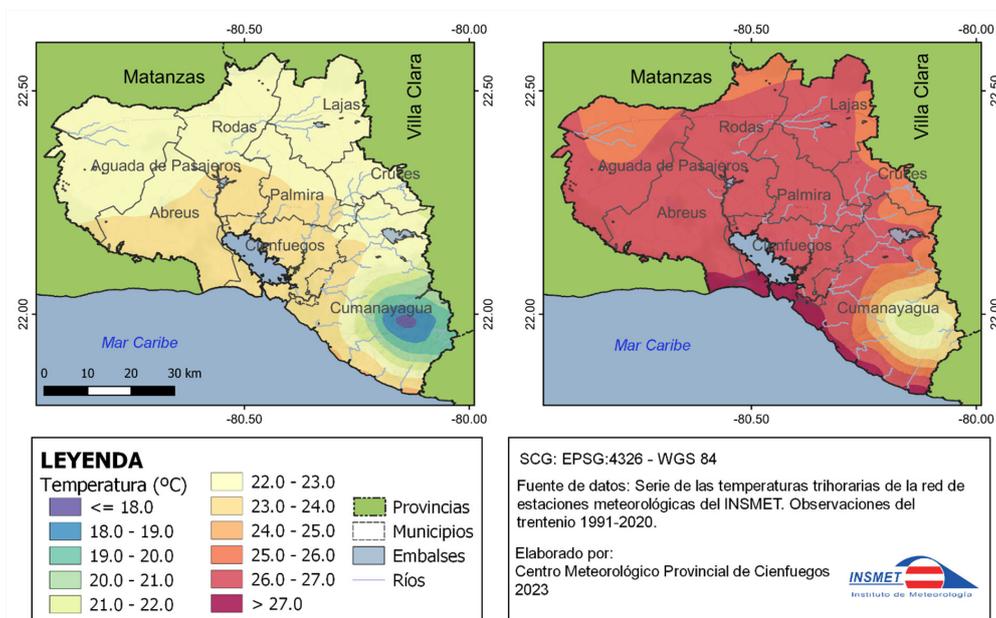


Figura 4. Distribución espacial de la temperatura media anual en la provincia de Cienfuegos. Período 1991-2020.

**Tabla 5.** Parámetros estadísticos de la temperatura media del aire (°C) para los 280 puntos de rejilla pertenecientes a la provincia de Cienfuegos. Período 1991-2020.

| Mes y/o Período       | Media | Desviación estándar | Valor Mínimo | Valor máximo |
|-----------------------|-------|---------------------|--------------|--------------|
| enero                 | 21.2  | 1.09                | 16.2         | 23.0         |
| febrero               | 21.9  | 1.10                | 16.7         | 23.6         |
| marzo                 | 22.8  | 1.11                | 17.4         | 24.3         |
| abril                 | 24.5  | 1.14                | 18.9         | 25.8         |
| mayo                  | 25.5  | 1.09                | 20.1         | 26.7         |
| junio                 | 26.3  | 1.01                | 21.5         | 27.5         |
| julio                 | 26.7  | 1.06                | 21.6         | 28.0         |
| agosto                | 26.6  | 1.06                | 21.5         | 28.1         |
| septiembre            | 26.1  | 1.04                | 21.2         | 27.6         |
| octubre               | 25.2  | 1.07                | 20.1         | 26.6         |
| noviembre             | 23.2  | 1.09                | 18.2         | 25.0         |
| diciembre             | 22.0  | 1.10                | 16.9         | 23.8         |
| año                   | 24.3  | 1.07                | 19.2         | 25.8         |
| período poco lluvioso | 22.6  | 1.10                | 17.4         | 24.3         |
| período lluvioso      | 26.1  | 1.07                | 21.0         | 27.4         |



**Figura 5.** Distribución espacial de la temperatura media en el período poco lluvioso (izquierda) y lluvioso (derecha) en la provincia de Cienfuegos. Período 1991-2020.

En este período, los meses de junio, julio y agosto presentaron los mayores valores de la temperatura media del aire (Anexo 1). En el caso de julio y agosto las áreas con valores térmicos por encima de los 27 °C como promedio se extendieron desde el sur hasta zonas del centro de la provincia cubriendo gran parte de los municipios de Cienfuegos, Abreus, Rodas y Palmira (Figura 5-derecha).

Los meses de enero, febrero y diciembre presentaron los menores valores como promedio con distribuciones espaciales muy similares (Anexo 2). En el caso de enero se observaron hacia el norte del territorio provincial valores de la temperatura media inferiores a los 21 °C, coincidiendo con las zonas donde las mínimas llegan a ser notables en estos meses.

De forma general, en el período poco lluvioso, la temperatura media del aire registró valores medios inferiores a los 19 °C en alturas superiores a los 700 m y aumentó gradualmente con la disminución de la altura hasta alcanzar valores entre 22-24 °C en las zonas llanas y premontañosas (Figura 5-izquierda).

#### Temperatura mínima media

La temperatura mínima media anual osciló en todo el territorio provincial entre los 16-23 °C (Figura 6 y Tabla 6). El comportamiento espacial de esta variable muestra una clara relación con la altitud y la distancia a la costa, disminuyendo con el aumento de cada una. Los menores valores anuales (<18°C) se registraron

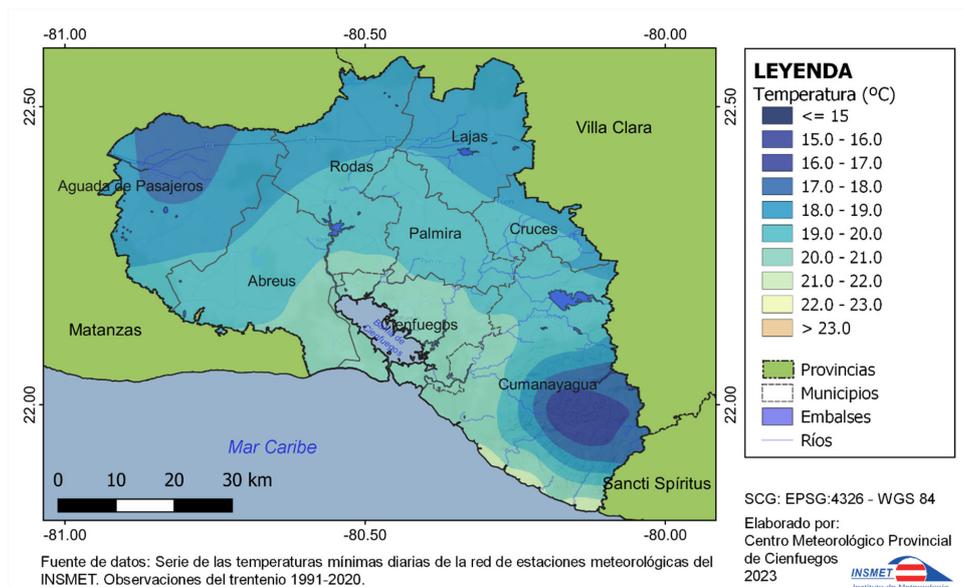


Figura 6. Distribución espacial de la temperatura mínima media anual en la provincia de Cienfuegos. Período 1991-2020.

Tabla 6. Parámetros estadísticos de la temperatura mínima media del aire (°C) para los 280 puntos de rejilla pertenecientes a la provincia de Cienfuegos. Período 1991-2020.

| Mes y/o Período       | Media | Desviación estándar | Valor Mínimo | Valor máximo |
|-----------------------|-------|---------------------|--------------|--------------|
| enero                 | 16.4  | 1.1                 | 13.5         | 19.0         |
| febrero               | 16.6  | 1.2                 | 13.5         | 19.3         |
| marzo                 | 17.4  | 1.1                 | 13.9         | 19.9         |
| abril                 | 19.2  | 1.1                 | 15.3         | 21.5         |
| mayo                  | 20.9  | 1.0                 | 16.9         | 22.8         |
| junio                 | 22.4  | 0.9                 | 18.3         | 24.0         |
| julio                 | 22.5  | 0.9                 | 18.5         | 24.2         |
| agosto                | 22.6  | 0.9                 | 18.7         | 24.3         |
| septiembre            | 22.4  | 0.9                 | 18.6         | 24.0         |
| octubre               | 21.5  | 0.9                 | 17.9         | 23.3         |
| noviembre             | 19.2  | 1.0                 | 16.1         | 21.6         |
| diciembre             | 17.7  | 1.1                 | 14.7         | 20.2         |
| año                   | 19.9  | 1.0                 | 16.3         | 22.0         |
| período poco lluvioso | 17.7  | 1.1                 | 14.5         | 20.2         |
| período lluvioso      | 22.1  | 0.9                 | 18.2         | 23.8         |

hacia la zona montañosa del macizo Guamuhaya y hacia el norte del municipio de Aguada de Pasajeros. Por su parte, los máximos se observaron hacia el sur de la provincia, fundamentalmente hacia todo el circuito sureste donde llegan a alcanzar valores entre 21-23 °C.

El comportamiento de esta variable por períodos del año tuvo distribuciones espaciales similares, mostrando los menores valores hacia el interior y zona montañosa de la provincia. En el período lluvioso los máximos de esta variable superaron los 23.0 °C hacia toda la zona costera (Figura 7-derecha).

En el período poco lluvioso, como promedio, no se superan los 20 °C en la provincia (Tabla 6). Desde el punto de vista espacial, los mayores registros (18-19 °C) se observaron hacia las zonas costeras. Hacia el interior y norte de la provincia cubriendo am-

plias zonas de los municipios de Aguada de Pasajeros, Rodas y Lajas se registraron valores mínimos medios entre 15-16 °C similares a los reportados en alturas superiores a los 700 m snmm de la zona montañosa.

El análisis mensual (Anexo 3) mostró que la temperatura mínima en el periodo poco lluvioso alcanzó valores promedios inferiores a 16.0 °C en la mayor parte de la provincia en los meses más invernales (enero y febrero), aumentando gradualmente hacia el sur. En los meses de transición (noviembre y abril) el rango mínimo aumentó, oscilando entre 18.0-21.0 °C, exceptuando una extensa zona de Aguada de Pasajeros y el lomerío cumamayaguense donde se mantuvieron por debajo de los 18.0 °C.

En los meses del periodo lluvioso, los valores de esta variable no sufren grandes variaciones espaciales

(Anexo 4). De junio a septiembre la mayor parte llana del territorio presentó valores entre 21.0-23.0°C, sin embargo, hacia el sur de la provincia cubriendo todo el municipio de Cienfuegos y parte de Abreus y Cumanayagua la media de la temperatura mínima superó el umbral de los 23.0 °C. Hacia la zona montañosa permanecieron valores entre los 18.0-21.0 °C como promedio. En el caso de los meses de mayo y octubre, los valores en las zonas llanas y premontañosas presentaron una ligera disminución con respecto a los demás meses del periodo con valores entre 19.0-23.0 °C, mientras que hacia las zonas más altas del macizo Guamuhaya prevalecieron amplias zonas con mínimas medias inferiores a los 19.0 °C, incluso por debajo de 18.0 °C en mayo.

### Temperatura máxima media

La temperatura máxima media anual en el período 1991-2020 se comportó en el territorio provincial con valores entre los 26.5-32.5 °C en la llanura y zona premontañosa; y entre 22.0-26.5°C en las montañas (Figura 8). En el caso del valor medio anual, esta variable aumenta hacia el interior del territorio y es por eso que los mayores registros (>29.5°C) se localizaron al norte y noroeste de la provincia, cubriendo todo el municipio de Aguada de Pasajeros y amplias zonas de Rodas y Lajas.

En el período poco lluvioso, los valores de la temperatura máxima media en la llanura oscilaron entre 28.0-31.0 °C, estando los mayores hacia el interior de la provincia. Hacia la premontaña y montaña esta variable alcanzó valores medios inferiores a los 28.0 °C (Figura 9- izquierda).

La temperatura máxima aumenta notablemente en el período estacional lluvioso y los valores medios presentaron valores mayores a los 31.0 °C en toda la llanura, llegando a superar los 32.5°C hacia el norte y noroeste de la provincia. En el macizo montañoso, esta variable no baja de 25.0 °C como promedio y llegan hasta los 31.0 °C en la premontaña (Figura 9- derecha).

Como se puede observar en los Anexos 5 y 6, los mayores valores de la temperatura máxima media ocurren durante los meses estivales de julio y agosto, cuando las temperaturas se mantuvieron por encima de 32.5 °C, como promedio, en el territorio provincial y solo fueron inferiores en la montaña donde no bajaron de los 26.5 °C. Mientras tanto, esta variable alcanzó sus mínimos en el mes de enero donde se mantiene por debajo de 29.5 °C en toda la provincia, llegando a estar incluso por debajo de los 22.0 °C en la zona montañosa.

### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La distribución espacial de la temperatura del aire en la provincia de Cienfuegos se explica mediante las condiciones climáticas propias del territorio, que imponen una clara estacionalidad anual y por las características físico-geográficas, introduciendo diferencias significativas entre una zona u otra, ya sea por diferencias altitudinales o por desigual influencia marítima. Es por esto que se justifica el empleo de las variables independientes: latitud, longitud, altitud y distancia a la costa en la modelación espacial de esta variable meteorológica tal y como aplican Ninyerola et al., (2000); Guler et al. (2007); Szymanowski et

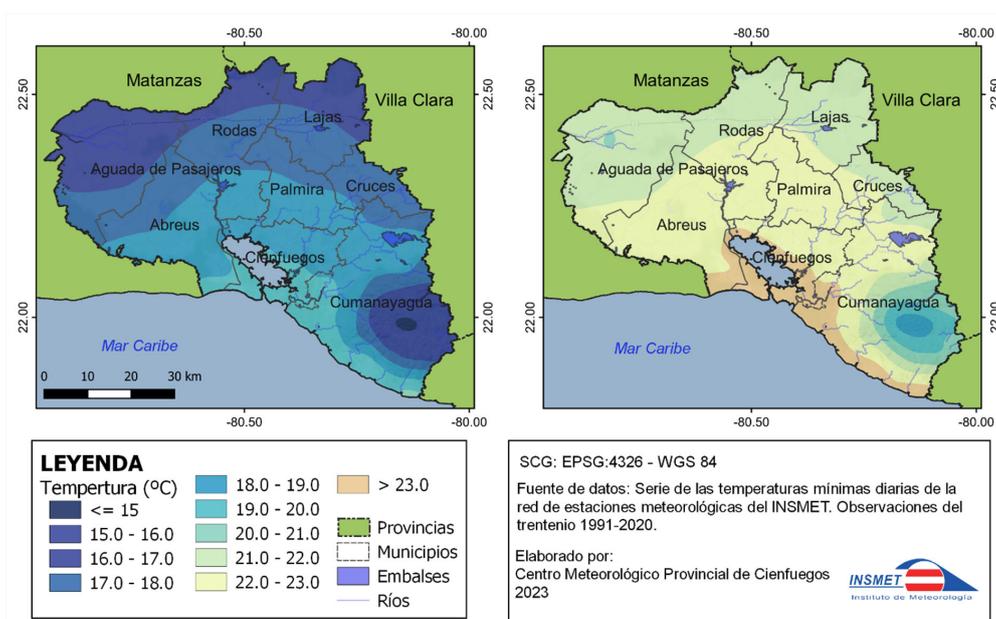


Figura 7. Distribución espacial de la temperatura mínima media en el período poco lluvioso (izquierda) y lluvioso (derecha) en la provincia de Cienfuegos. Período 1991-2020.

al. (2013); Qin et al., (2021) para determinar el comportamiento espacial de las temperaturas en España, Turquía, Polonia y China respectivamente.

La relación lineal entre la altura sobre el nivel del mar y la temperatura del aire fue más fuerte para la temperatura máxima y para los meses más cálidos del año, lo cual también fue identificado por Rolland (2003), Gardner et al. (2009) y Qin et al., (2021). Según estos últimos autores esto puede estar relacionado a que en invierno es frecuente la inversión de temperatura en las llanuras lo que perturba la relación normal entre esta y la altitud. Por su parte, en verano hay una mayor turbulencia y convección lo que favorece la estratificación normal del aire bajo la influencia de la radiación superficial neta.

De forma general, en los meses del período lluvioso el comportamiento espacial de la temperatura del aire

responde mejor a la variación de las variables independientes empleadas y los errores de interpolación disminuyen. Igualmente, los errores son menores en la estimación de la temperatura media y máxima. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Ninyerola et al. (2000, 2005, 2007) en la península ibérica, quienes obtienen los mayores errores en la modelación espacial de la temperatura mínima. Similar resultado consiguen Wang et al., (2017), que comparan dos modelos de regresión para estimar el comportamiento espacial de la temperatura del aire en China y obtienen los mayores errores en el caso de la temperatura mínima.

Los mapas obtenidos por meses, resumen bastante bien estos aspectos y permiten mostrar las características térmicas imperantes en la provincia. En el período poco lluvioso del año se registran temperaturas muy

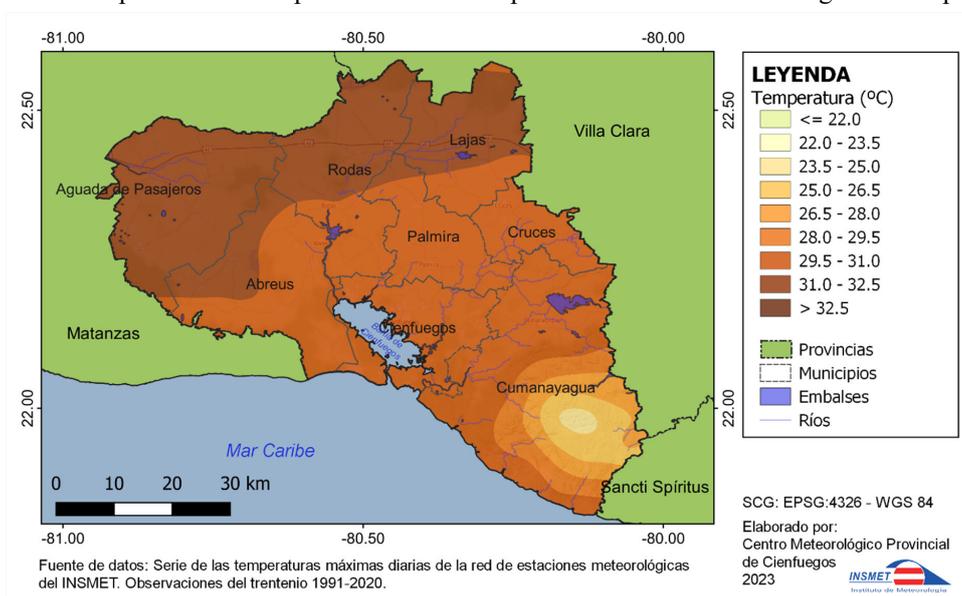
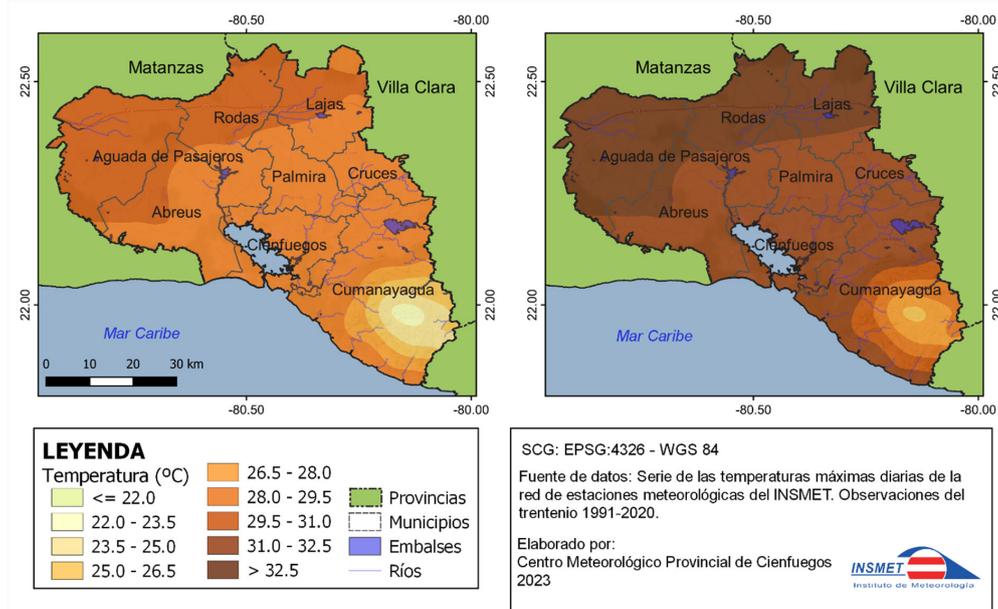


Figura 8. Distribución espacial de la temperatura máxima media anual en la provincia de Cienfuegos. Período 1991-2020.

Tabla 7. Parámetros estadísticos de la temperatura máxima media del aire (°C) para los 280 puntos de rejilla pertenecientes a la provincia de Cienfuegos. Período 1991-2020.

| Mes y/o Período       | Media | Desviación estándar | Valor Mínimo | Valor máximo |
|-----------------------|-------|---------------------|--------------|--------------|
| enero                 | 27.5  | 1.4                 | 21.1         | 29.1         |
| febrero               | 28.7  | 1.4                 | 22.4         | 30.7         |
| marzo                 | 29.6  | 1.5                 | 23.2         | 32.0         |
| abril                 | 31.2  | 1.5                 | 24.9         | 33.9         |
| mayo                  | 31.6  | 1.4                 | 25.6         | 33.8         |
| junio                 | 32.1  | 1.3                 | 26.4         | 33.7         |
| julio                 | 32.9  | 1.3                 | 27.1         | 34.5         |
| agosto                | 32.8  | 1.3                 | 27.0         | 34.4         |
| septiembre            | 32.1  | 1.3                 | 26.2         | 33.5         |
| octubre               | 30.8  | 1.4                 | 24.5         | 32.1         |
| noviembre             | 28.9  | 1.4                 | 22.5         | 30.1         |
| diciembre             | 28.0  | 1.4                 | 21.5         | 29.4         |
| año                   | 30.5  | 1.4                 | 24.3         | 32.3         |
| período poco lluvioso | 29.0  | 1.4                 | 22.6         | 30.8         |
| período lluvioso      | 32.0  | 1.3                 | 26.1         | 33.6         |



**Figura 9.** Distribución espacial de la temperatura máxima media en el período poco lluvioso (izquierda) y lluvioso (derecha) en la provincia de Cienfuegos. Período 1991-2020.

bajas tanto en las zonas más altas de las zonas montañosas, así como en zonas llanas del interior de la provincia. Las zonas montañosas de Cuba resultan las más frías, no tanto por la ocurrencia de temperaturas mínimas notables, sino porque las máximas no llegan a alcanzar valores elevados (Lecha et al., 1994). En el caso de las llanuras interiores, la ocurrencia de temperaturas mínimas notables es una particularidad de estas zonas, donde son más intensos los procesos de enfriamiento superficial por irradiación nocturna de calor en los días despejados y sin viento (Lecha et al., 1994).

Las distribuciones respectivas de la temperatura máxima media de los meses extremos del año, enero y julio, muestran diferencias esenciales que explican la clara variación estacional existente en el régimen térmico de la provincia y en general de Cuba. La estructura espacial es similar en ambos meses con máximos hacia las llanuras interiores de la provincia y los mínimos hacia la zona montañosa del municipio Cumanayagua. Los mapas de enero y julio de la temperatura mínima media cumplen las regularidades ya descritas del régimen térmico y son también muy diferentes en sus valores medios, indicando la bien establecida variación estacional que manifiesta el régimen térmico de la provincia. En particular, las llanuras interiores y la zona montañosa son las que presentan los menores valores de esta variable, en cambio hacia las zonas costeras se registran los mayores valores como resultado del efecto modulador que ejerce la cercanía del mar.

## 5. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista del comportamiento espacial de la temperatura media del aire se verifican las

características generales ya descritas en trabajos anteriores, que representan las condiciones del régimen térmico en zonas geográficas bien definidas de la provincia: la llanura costera e interior y la zona montañosa.

La distribución espacial de la temperatura máxima media anual en Cienfuegos tiene sus principales áreas de máximos hacia la llanura interior y costera, mientras que las áreas de mínimos valores de esta variable se ubican en las zonas más elevadas de la zona montañosa del territorio.

Por su parte, la distribución de la temperatura mínima media anual, muestra las áreas de valores mínimos más representativas asociadas a la zona montañosa y hacia el interior de la provincia, destacándose ésta, como la zona de la provincia con mayor oscilación térmica anual.

Se corrobora que la metodología aplicada en la modelización espacial de la temperatura introduciendo, junto a la interpolación por distancia entre estaciones meteorológicas, diferentes variables geográficas, dan resultados acertados permitiendo conocer con una mayor precisión la distribución espacial de la temperatura del aire en la provincia de Cienfuegos. Igualmente, los mapas obtenidos en el período norma 1991-2020 permiten aplicar la estrategia de la interpolación climáticamente asistida para construir una rejilla mensual de datos de temperatura para cada uno de los años que conforman este trentenio, así como para confeccionar mapas de temperatura mensual que enriquezcan los servicios de la vigilancia del clima en el territorio.

Los resultados de la distribución espacial de la temperatura del aire en la provincia de Cienfuegos son de gran importancia para el territorio debido a las escasas

de estaciones meteorológicas, por lo que los mapas constituyen fuentes de información para la toma de decisiones en las actividades socioeconómicas que se desarrollen y como guías referenciales para las disímiles investigaciones que necesiten de los datos de esta variable.

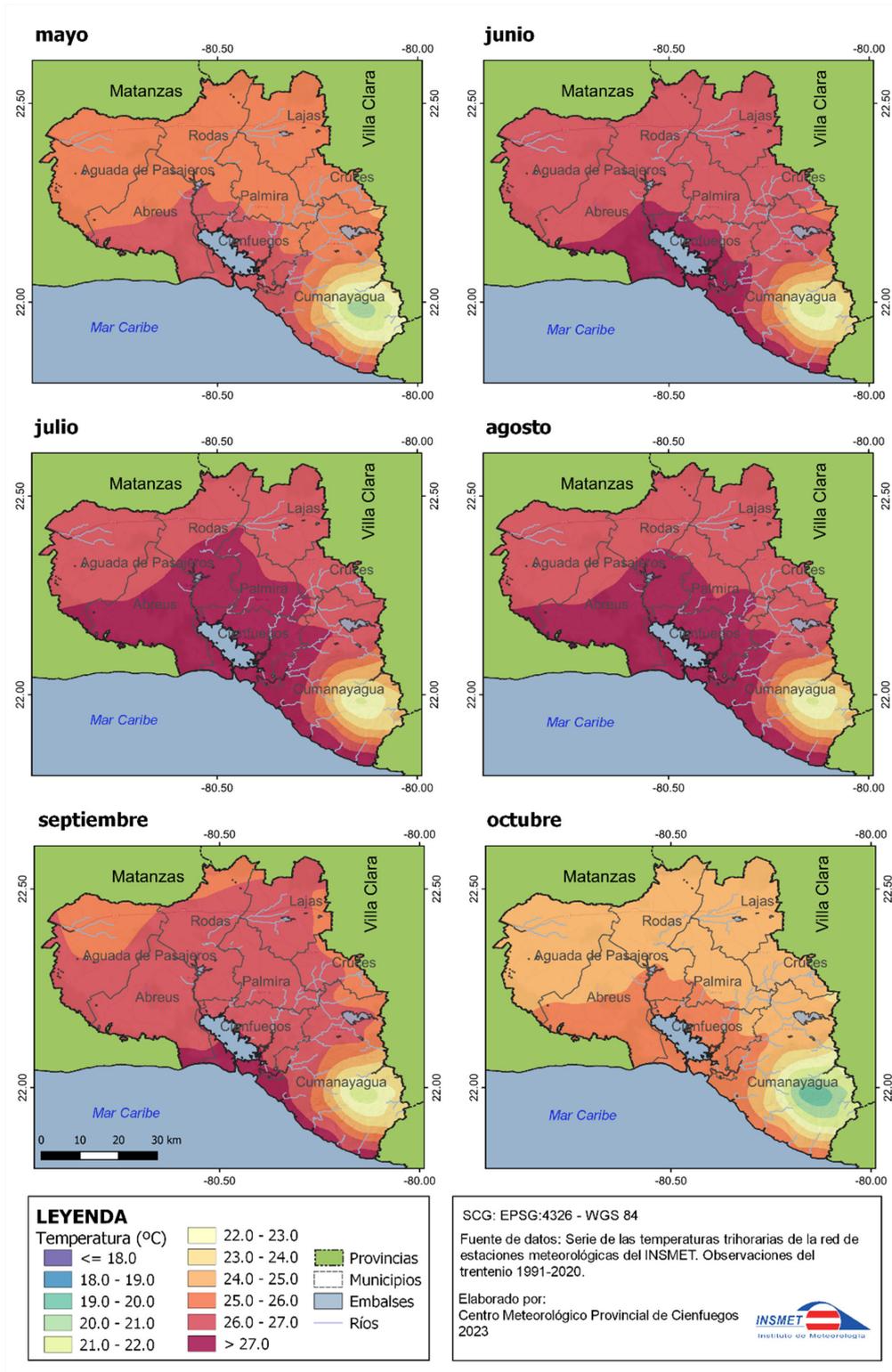
## 6. REFERENCIAS

- Bertrand, M. R., & Wilson, M. L. (1996). Microclimate-dependent survival of unfed adult *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) in nature: life cycle and study design implications. *Journal of Medical Entomology*, 33(4), 619-627.
- Castillo, C. S., & Barcia, S. (2015). Sensaciones térmicas en la provincia Cienfuegos (Cuba). *Investigaciones Geográficas*, (64), 25-35. <https://doi.org/10.14198/INGEO2015.64.02>
- Collins, F. C., & Bolstad, P. V. B., (1996) A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation. In: Proceedings of the Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, January 21-26, 1996, Santa Barbara. ([http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA\\_FE\\_CD-OM/sf\\_papers/collins\\_fred/collins.html](http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-OM/sf_papers/collins_fred/collins.html))
- Connor, S. J., Thomson, M. C., Flasse, S. P., & Perryman, A. H. (1998). Environmental information systems in malaria risk mapping and epidemic forecasting. *Disasters*, 22(1), 39-56.
- Courault, D., & Monestiez, P., (1999) Spatial interpolation of air temperature according to atmospheric circulation patterns in southeast France. *International Journal of Climatology*, 19: 365-378.
- Delgado, R. & Peña, A. (2019). Cartografía de variables climáticas basada en gradientes, sistemas de expertos y SIG. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(2). <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/464/685>
- Fernández, F. (2008). Creación de nuevos mapas a partir del MDE. Aplicación de las funciones de análisis de superficies. In A. Moreno Jiménez (Coord.), *Sistemas y Análisis de la Información Geográfica: Manual de autoaprendizaje con ArcGIS* (2nd. Ed. pp. 329-648). RA-MA.
- Focks, D. A., Daniels, E., Haile, D. G., & Keesling, J. E. (1995). A simulation model of the epidemiology of urban dengue fever: literature analysis, model development, preliminary validation, and samples of simulation results. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 53(5), 489-506.
- Flasse, S., Stephenson, P., Hutchinson, P., & Walker, C. (1995, September). Direct use of Meteosat in veterinary applications. In Proceedings of the EUMETSAT Meteorological Satellite Data Users Conference: Polar Orbiting Systems (pp. 453-459).
- Gardner, A. S., Sharp, M. J., Koerner, R. M. et al., 2009. Near-surface temperature lapse rates over Arctic glaciers and their implications for temperature downscaling. *Journal of Climate* 22(16): 4281-4298.
- Goetz, S. J., Prince, S. D., & Small, J. (2000). Advances in satellite remote sensing of environmental variables for epidemiological applications. *Advances in Parasitology*, 47, 289-307.
- Guler, M., Cemek, B. & Gunal, H. (2007). Assessment of some spatial climatic layers through GIS and statistical analysis techniques in Samsun Turkey. *Meteorological Applications* (14), 163-169. <https://doi.org/10.1002/met.18>
- Holdaway, M. R., (1996) Spatial modeling and interpolation of monthly temperature using kriging. *Climate Research*, 6: 215-225.
- Hudson, G., & Wackernagel, H. (1994). Mapping temperature using kriging with external drift: theory and an example from Scotland. *International journal of Climatology*, 14(1), 77-91.
- IPCC (2001). Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 881). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press Retrieved from the World Wide Web: [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/?src=/CLIMATE/IPCC\\_TAR/wg1/052.htm](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/CLIMATE/IPCC_TAR/wg1/052.htm)
- Lecha, L. B., Paz, L. R., & Lapinel, B. (1994). *El clima de Cuba*. Sello Editorial Academia.
- Li, X., Cheng, G. & Lu, L. (2005) Spatial Analysis of Air Temperature in the Qinghai-Tibet Plateau. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 37(2), 246-252. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2005\)037\[0246:SAOATI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2005)037[0246:SAOATI]2.0.CO;2).
- Luo, Z., Wahba, G., and Johnson, D. R., (1998) Spatial-temporal analysis of temperature using smoothing spline ANOVA. *Journal of Climate*, 11: 18-28.
- Millán, A., & Lallana, V. (2017). Modelización espacial del régimen bioclimático medio en la Comunidad Autónoma de Madrid mediante la aplicación de la temperatura fisiológica equivalente (PET). *Revista Mapping*, 26(183), 20-29. [http://revistamapping.com/wp-content/uploads/2017/09/Revista-MAPPING-183\\_A2.pdf](http://revistamapping.com/wp-content/uploads/2017/09/Revista-MAPPING-183_A2.pdf)
- Mount, G. A., & Haile, D. G. (1989). Computer simulation of population dynamics of the American dog tick (Acari: Ixodidae). *Journal of medical entomology*, 26(1), 60-76.
- Ninyerola, M., Pons, X., & Roure, J. M. (2000). A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *International Journal of Climatology*, 20(14). [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(20001130\)20:14<1823::AID-JOC566>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/1097-0088(20001130)20:14<1823::AID-JOC566>3.0.CO;2-B)

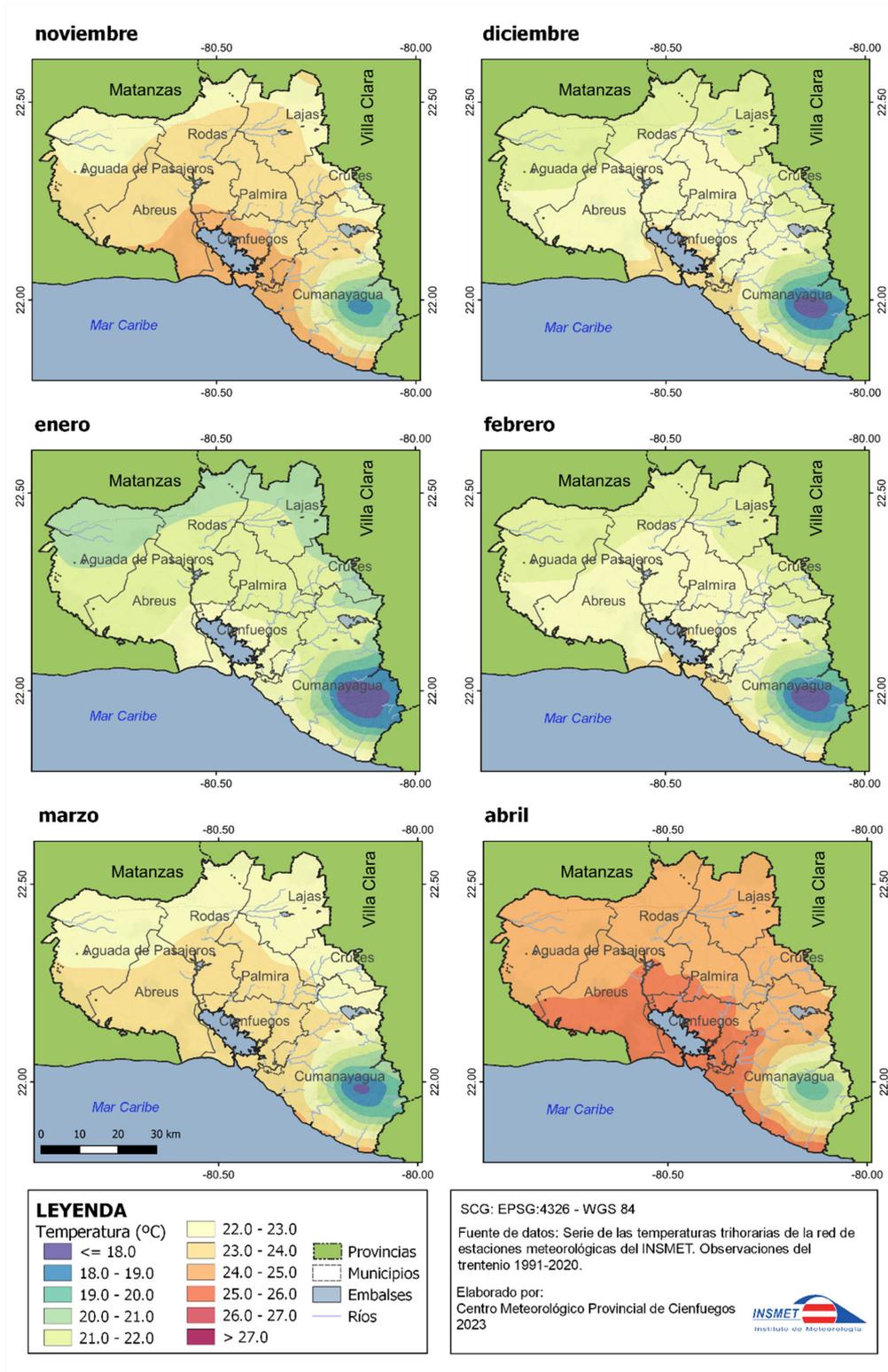
- Ninyerola, M., Pons, X., & Roure, J. M. (2005). *Atlas climático digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica*. Universitat Autònoma de Barcelona. <http://opengis.uab.es/wms/iberia/pdf/acdpi.pdf>
- Ninyerola, M., Pons, X., & Roure, J. M. (2007). Objective air temperature mapping for the Iberian Peninsula using spatial interpolation and GIS. *International Journal of Climatology*, 27(9), 1231-1242. <https://doi.org/10.1002/joc.1462>
- OMM. (2018). *Guía de prácticas climatológicas*. (Edición de 2018). [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10027](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10027)
- Planos, E., Rivero, R., & Guevara, V. (2013). *Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba*. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente, CITMA. <http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/2820/1/Impacto%20del%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20y%20Medidas%20de%20Adaptaci%C3%B3n%20en%20Cuba%20Introducci%C3%B3n.pdf>
- Qin, Y., Ren, G., Huang, Y., Zhang, P. & Wen, K. (2021). Application of geographically weighted regression model in the estimation of surface air temperature lapse rate. *J. Geogr. Sci.* 31(3), 389-402. <https://doi.org/10.1007/s11442-021-1849-5>
- Richardson, A. D., Lee, X., & Friedland, A. J. (2004). Microclimatology of treeline spruce-fir forests in mountains of the northeastern United States. *Agricultural and Forest Meteorology*, 125(1), 53-66.
- Rolland, C. (2003). Spatial and seasonal variations of air temperature lapse rates in Alpine regions. *Journal of Climate*, 16(7): 1032-1046.
- Smith, W. L., Leslie, L. M., Diak, G. R., Goodman, B. M., Velden, C. S., Callan, G. M., & Wade, G. S. (1988). The integration of meteorological satellite imagery and numerical dynamical forecast models. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 324(1579), 317-323.
- Snell, S. E., Gopal, S., & Kaufmann, R. K., (2000) Spatial interpolation of surface air temperature using artificial neural networks: evaluating their use for downscaling GCMs. *Journal of Climate*, 13: 886-895.
- Sneyers, R. (1990). *On the Statistical Analysis of Series of Observations*. WMO. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=1065](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=1065)
- Solano, O., R. Vázquez y M. E. Martín (2006): Estudio de la extensión superficial anual de la sequía agrícola en Cuba durante el periodo 1951-1990. *Revista Cubana de Meteorología*, 13(2), 41-52.
- Szymanowski, M., Kryza, M. & Spallek, W. (2013). Regression-based air temperature spatial prediction models: an example from Poland. *Meteorologische Zeitschrift*, 2(5), 577-585. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0440>
- Thomson, M. C., Connor, S. J., Milligan, P. J., & Flasse, S. P. (1996). The ecology of malaras seen from Earth-observation satellites. *Annals of tropical medicine and parasitology*, 90(3), 243-264.
- Wang, M., He, G., Zhang, Z., Wang, G., Zhang, Z., Cao, X., Wu, Z. & Liu, X. (2017). Comparison of Spatial Interpolation and Regression Analysis Models for an Estimation of Monthly Near Surface Air Temperature in China. *Remote Sensing*, 9(12)1278; <https://doi.org/10.3390/rs9121278>

ANEXOS

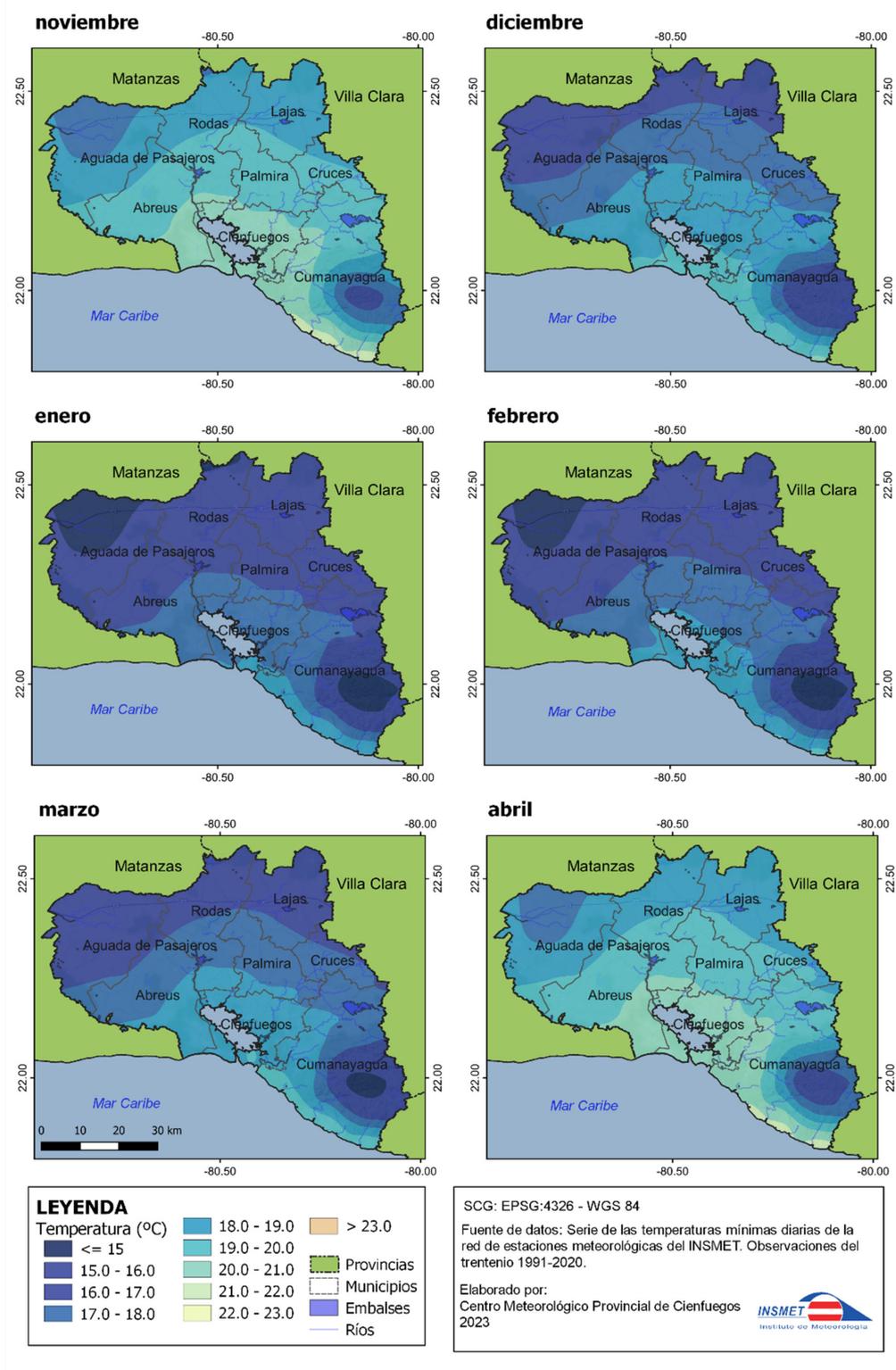
Anexo I. Temperatura media del aire en meses del período lluvioso del año en la provincia de Cienfuegos.



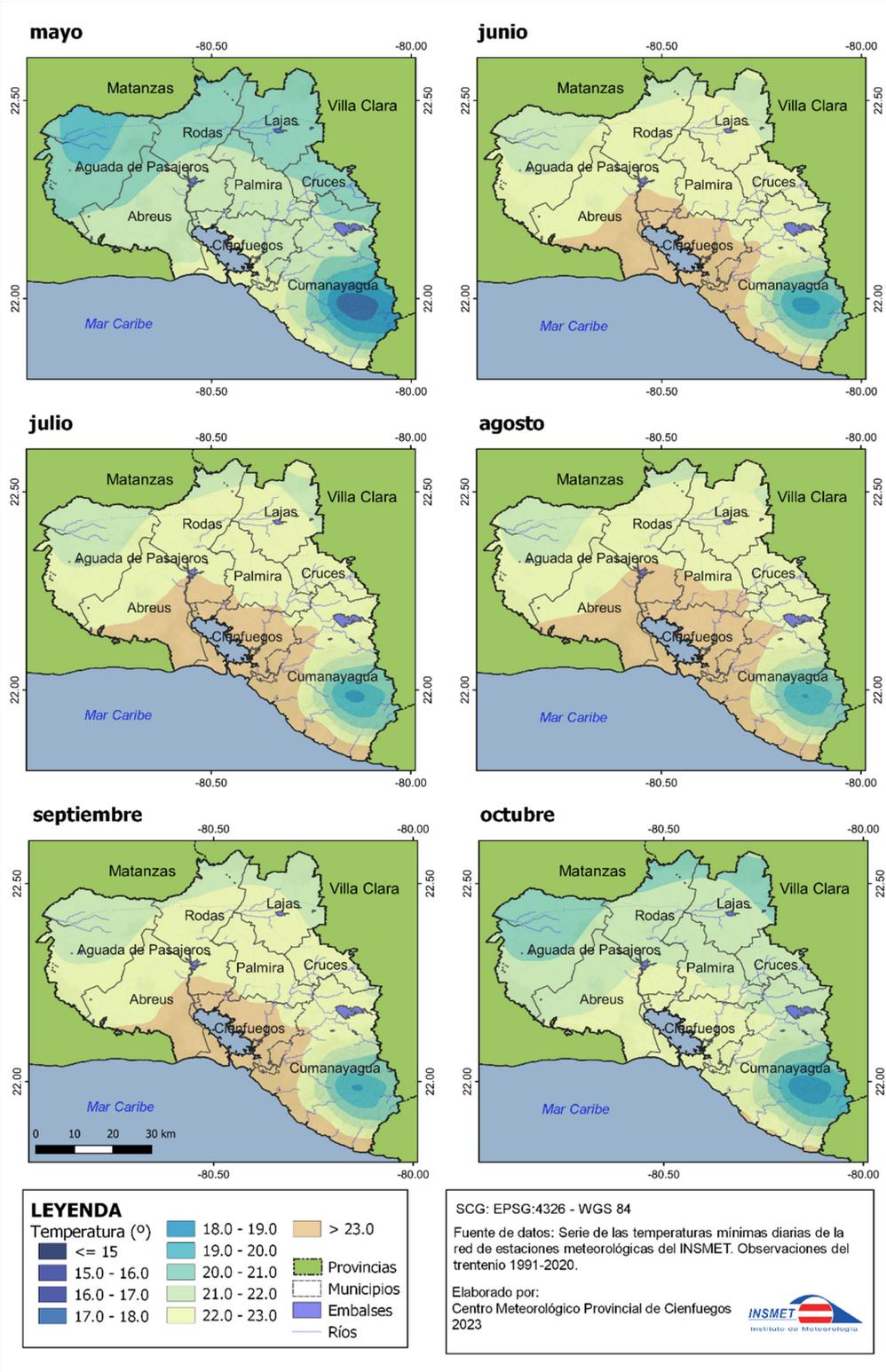
Anexo 2. Temperatura media del aire en meses del período poco lluvioso del año en la provincia de Cienfuegos.



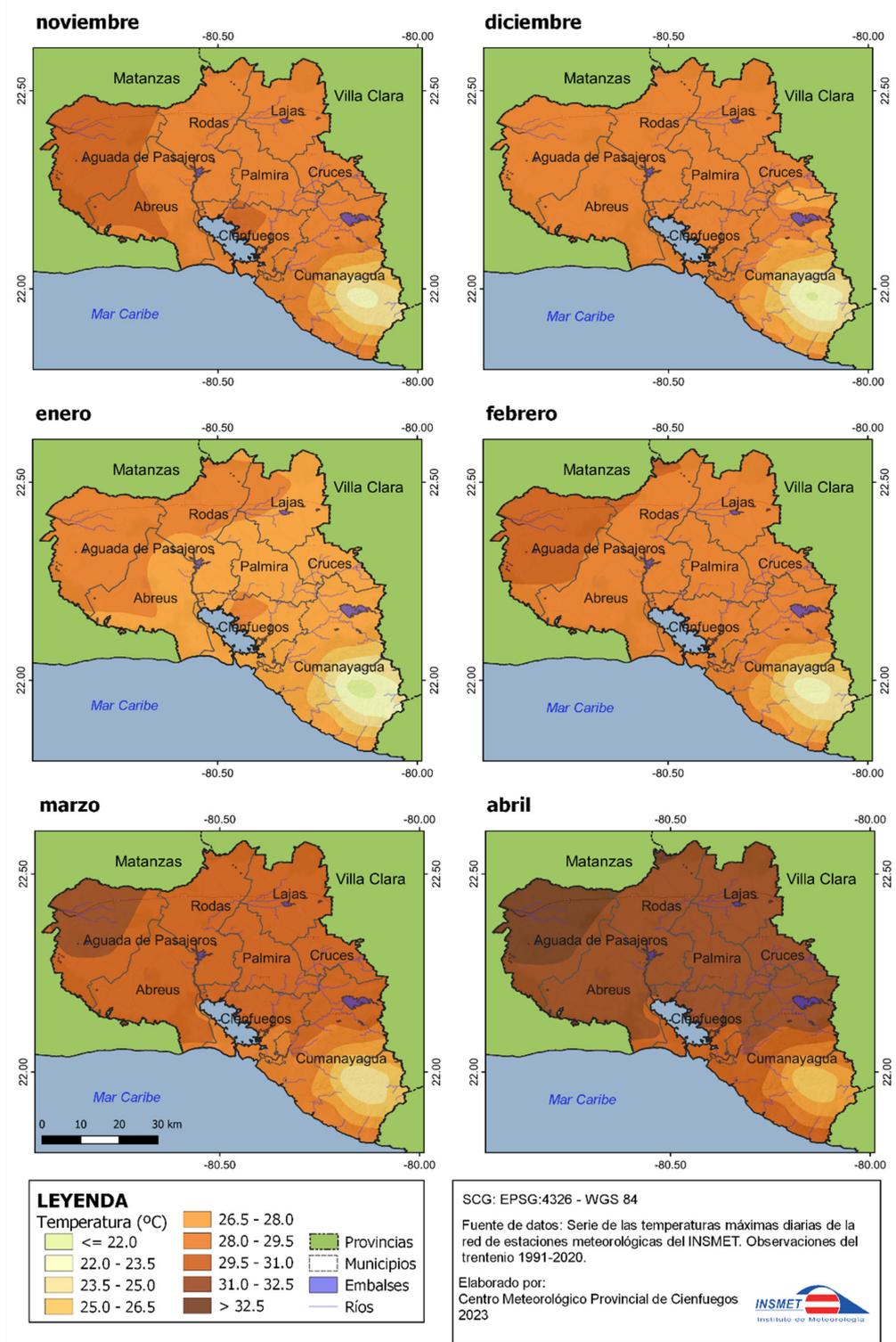
Anexo 3. Temperatura mínima media del aire en meses del período poco lluvioso del año en la provincia de Cienfuegos.



Anexo 4. Temperatura mínima media del aire en meses del período lluvioso del año en la provincia de Cienfuegos.



Anexo 5. Temperatura máxima media del aire en meses del período poco lluvioso del año en la provincia de Cienfuegos.



Anexo 6. Temperatura máxima media del aire en meses del período lluvioso del año en la provincia de Cienfuegos.

