

Variabilidad del comportamiento de las sensaciones térmicas en la provincia de Ciego de Ávila, Cuba.

Autores: Santana, M. Guevara, A.V. Campos, A. León, A. Paz, L.R.

Centro del Clima, Instituto de Meteorología. E-mail: mayra_met@yahoo.com

Resumen

El tema de las sensaciones térmicas reviste gran importancia dentro de la Climatología Aplicada, por su implicación en sectores como la salud pública, el turismo y las actividades al aire libre. En este trabajo se analiza la variabilidad climática de las sensaciones térmicas en la provincia de Ciego de Ávila (en la región central de Cuba) durante el período 1981-2000, a partir de los índices bioclimáticos temperatura efectiva (TE) y temperatura efectiva equivalente (TEE). Para ello se determinan las tendencias y variaciones en la estacionalidad de dichas sensaciones en las cuatro estaciones meteorológicas del territorio avileño. Los resultados indican una tendencia creciente de ambos índices a inicios del verano al sur de la provincia, sobre todo a las 07⁰⁰ horas; al norte se observan tendencias decrecientes en los amaneceres invernales. Se delimitan puntos de cambio en las series, que permiten la división del período inicial en dos subperíodos, con diferencias significativas entre sus valores medios. En los últimos años, la temporada de verano experimentó un adelanto en su aparición y se presentó más calurosa; la de invierno se caracterizó por un aumento de las sensaciones frías y muy frías en el mes de febrero. Se concluye que el clima de la provincia de Ciego de Ávila se ha tomado más extremo en el decenio 1991-2000, respecto a 1981 - 1990.

Palabras claves: Temperatura efectiva, temperatura efectiva equivalente, sensaciones térmicas, tendencia, estacionalidad, variabilidad climática.

Introducción.

Las condiciones atmosféricas ejercen influencia sobre el bienestar humano debido a la constante interacción del hombre con el medio que lo rodea. Dentro de esta problemática, el tema de las sensaciones térmicas es uno de los fundamentales, por su importancia desde el punto de vista bioclimático. Sus resultados intervienen en la búsqueda de soluciones a nuevas interrogantes que se presentan en la actualidad y son aplicados en diferentes sectores, como la salud pública, la construcción, el turismo y actividades que se realizan al aire libre.

Diversos autores en todo el mundo han estudiado las sensaciones térmicas de los seres humanos, evaluando su estado térmico a partir del uso de índices bioclimáticos. Ellos constituyen indicadores que integran el efecto de dos o más variables y que intentan describir cómo actúa el medio ambiente atmosférico sobre el organismo, a partir de observaciones experimentales. Dentro de los más utilizados se encuentran las llamadas *temperaturas efectivas*, ampliamente utilizadas desde su formulación inicial en Estados Unidos por Houghtem y Yaglou (1923) y que tienen en cuenta el efecto de la temperatura y humedad del aire y en algunos casos el viento y la radiación solar. En el ámbito internacional, entre otros, pueden citarse, además, los estudios de Thom (1959), Lansberg (1972), Sánchez de Carmona (1984), Hentschel (1987), Steadman (1994). León et. al. (2003) ha reconocido también la gran variedad de trabajos y enfoques presentes en Cuba dentro de esta línea.

Desde el siglo pasado el clima ha manifestado importantes fluctuaciones a escala global, de las cuales nuestra área geográfica no ha permanecido exenta. Investigaciones realizadas en la década de los 90 arrojan resultados que testifican variaciones tanto en diferentes variables del clima, como en algunos de los fenómenos meteorológicos o climáticos que afectan al país. El incremento en 0.6°C de la temperatura superficial del aire manifestado en la segunda mitad del siglo pasado (Centella et. al. 1997), las variaciones en la rapidez del viento observada en la década de los 90 (Álvarez et. al. 2000) y los cambios verificados en otras variables intervienen en el comportamiento de las sensaciones térmicas. No obstante, estas investigaciones son escasas en unidades político administrativas de orden inferior al país (provincia, municipio).

Tomando en cuenta los elementos anteriores, el objetivo del presente trabajo se centra en esclarecer si se han producido cambios significativos en las condiciones bioclimáticas de la provincia de Ciego de Ávila, en las décadas de los 80 y los 90 del siglo pasado, sobre la base del comportamiento de las temperaturas efectiva y efectiva equivalente.

La provincia avileña se ubica en la región central de Cuba; presenta un relieve mayormente llano, poco complicado, con una diferenciación climática latitudinal y posee información meteorológica de cuatro estaciones, algunas de ellas con series relativamente largas; además cuenta con el tercer polo turístico del país (Jardines del Rey). Su extensión territorial es de 6 910 km², de ellos 589.3 km² son de cayos e islotes y su población es de 400 720 habitantes.

Como antecedente importante, desde el punto de vista bioclimático, Santana et. al. (2004) realizaron un estudio descriptivo de las condiciones bioclimáticas predominantes en esta provincia.

Materiales y métodos

Se tomaron los datos de las tres estaciones meteorológicas de la provincia pertenecientes a la red de estaciones del Instituto de Meteorología de Cuba

(Venezuela, Júcaro y Camilo Cienfuegos), durante el período 1981-2000. Además, se pudo contar con la información proveniente de la estación Cayo Coco, situada en el islote del mismo nombre, facilitada por especialistas del proyecto Área Litoral del Archipiélago Sabana-Camagüey. Los mismos abarcan sólo los años 1991- 2000, ya que la estación fue fundada en 1990 (Fig. 1).

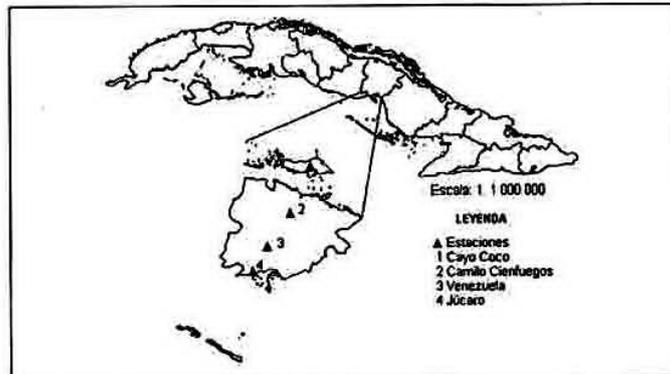


Fig. 1. Ubicación geográfica de la provincia de Ciego de Ávila y sus estaciones meteorológicas.

Como variables meteorológicas se seleccionaron la temperatura y la humedad relativa del aire, así como la rapidez del viento, en los horarios de las 07:00 y las 13:00 horas referido al meridiano 75°W.

Los datos fueron recopilados y validados según lo recomendado por la OMM (1990). Se presupone su buena calidad, dada la no reubicación de los emplazamientos durante el período estudiado y la uniformidad en los instrumentos y métodos de observación y medición utilizados. No obstante, se aplicaron criterios de validación y control de la calidad, basados en el análisis gráfico de la información y en el cálculo de los parámetros y estadígrafos más conocidos.

Se calcularon los valores de la temperatura efectiva (TE) y temperatura efectiva equivalente (TEE) aplicando la expresión de Brooks, referida por Bútieva et. al. (1984) y considerada como la más idónea para las regiones tropicales:

$$TE = t - G/80 (0.00439 T + 0.456 T + 9.5)$$

Donde:

t: temperatura del aire en °C.

T = t - 37 : diferencia entre la temperatura del aire y la del cuerpo del hombre en °C.

G = 100 - r, donde r es la humedad relativa del aire en %.

Para el cálculo de la temperatura efectiva equivalente:

$$TEE = TE + W (0.11T - 0.13) - 0.002 TG$$

Donde:

TE: temperatura efectiva.

W: velocidad del viento en m/seg a dos metros de altura, producto de la corrección 0.67 v.

v: velocidad del viento en m/seg.

Se conformaron series anuales y por temporadas (lluviosa o de verano - mayo a octubre - y poco lluviosa o de invierno - noviembre a abril) de TE y TEE. A las mismas se les calculó la tendencia y puntos de cambio, utilizando el estadígrafo de Kendall - Mann (Sneyers, 1975) en sentido directo e inverso, mediante el programa *Winstat* (Mellado y Borrajo, 1997). La consistencia de los puntos de cambio fue reafirmada más tarde a través de la Prueba de Pettitt (Vannitsen y Damarés, 1991).

Para confirmar la presencia de diferencias significativas entre los valores medios mensuales de TE y TEE en las temporadas mencionadas anteriormente, se aplicó una prueba de hipótesis de diferencias de medias con varianzas desconocidas y probablemente diferentes, según Ostle (1974), para niveles de significación del 0.05 y 0.10 %.

Tomando en consideración los años en que se enmarcaron los puntos de cambio en el análisis precedente, se dividió la serie inicial en dos períodos: 1981-1990 (de referencia o de línea base) y 1991-2000 (período de estudio). A continuación, se compararon las marchas anuales de los valores

medios de TE y TEE en ambos períodos y para los dos horarios seleccionados, junto con el análisis de la frecuencia de las sensaciones térmicas en los mismos. Se emplearon los intervalos propuestos por León (1988):

Muy Frío	_____	≤ 12.0°C
Frío	_____	12.1°C – 17.0°C
Fresco	_____	17.1°C – 22.0°C
Confortable	_____	22.1°C – 25.0°C
Caluroso	_____	25.1°C – 28.0°C
Muy Caluroso	_____	> 28.0°C

Por último, aplicando un modelo multiplicativo disponible en *Statistic for Windows*, se calculó la estacionalidad de los índices bioclimáticos estudiados y se construyeron gráficos que muestran sus patrones estacionales, en los dos subperíodos para todas las estaciones.

Análisis de los resultados

Tendencia y puntos de cambio.

En la tabla 1 (Anexo) se observa que la tendencia de los índices bioclimáticos no se manifiesta de igual forma en todo el territorio avileño. De modo general, la TE muestra una tendencia creciente en todas las estaciones. Júcaro sobresale por una tendencia altamente significativa al crecimiento en los dos horarios escogidos, en la temporada de verano y el período anual; aún cuando en la temporada invernal a las 07:00 horas no existe tendencia, y al mediodía la tendencia al crecimiento es no significativa. Para este índice, las tendencias revelan una mayor significación en la

temporada de verano y su efecto alcanza incluso el plazo anual. Sin embargo, la temporada invernal se caracteriza por un predominio de no tendencia.

Por su parte, la TEE se comporta irregularmente, destacándose otra vez Júcaro, por la tendencia al incremento; y Cayo Coco, por la disminución de la misma, en todas las temporadas. Se observa un decrecimiento en las mañanas de invierno, cuya causa probable, pudiera estar asociada a un aumento en la rapidez del viento en algún período de la serie estudiada, si se tiene en cuenta el papel que dicha variable desempeña en la temperatura efectiva equivalente. En cuanto a Cayo Coco, la corta longitud de las series analizadas es un criterio que pudiera incidir en la estabilidad de los resultados obtenidos. Este aspecto debe corroborarse cuando se disponga de datos de mayor cantidad.

Como resultado de los análisis realizados, se encontraron puntos de cambio altamente significativos en la series de TE y TEE del territorio, si bien fueron escasos. Los mismos se corresponden con el comportamiento de las tendencias y oscilan en un subperíodo que va desde 1986 hasta 1995. Se distingue Júcaro, por la presencia de puntos de cambio altamente significativos de la TE y TEE a las 13:00 horas en todas las temporadas, y de la TE a las 7 horas, en el verano.

En la Fig. 2 se puede observar el comportamiento del estadígrafo de Mann-Kendall en sentido directo e inverso para la estación Júcaro, considerada como la más representativa en cuanto a puntos de cambios altamente significativos. La intersección de ambas curvas muestra el punto en cuya vecindad debe producirse el cambio en la tendencia de la TE. Este punto coincide con el año 1986, a partir del cual la tendencia es al crecimiento de dicho índice.

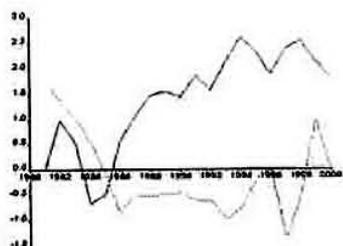


Fig. 2 Estadígrafo de Mann-Kendall
Para la TE anual, a las 13:00 horas. Período 1981-2000.
Estación Júcaro.

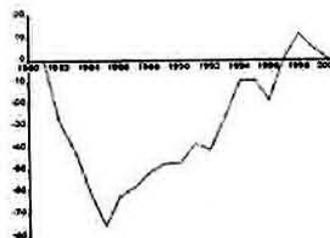


Fig. 3 Estadígrafo de Pettitt
Para la TE anual, a las 13:00 horas. Período 1981-2000.
Estación Júcaro.

La Fig. 3 representa el comportamiento del estadígrafo de Pettitt para la misma serie. La misma presenta una inflexión en la curva, que se corresponde con el punto de cambio indicado por el estadígrafo de Mann-Kendall (inverso y directo). Dicha correspondencia confirma la hipótesis de que este cambio es significativo al 5 y al 10 %, y que desde el año 1986 la TE adoptó una tendencia creciente.

Estudio de las medias mensuales de TE y TEE (1981-1990 y 1991-2000)

En el horario de la mañana, se observa un incremento en los valores medios de la TE a inicios del verano durante el período de estudio, sobre todo en el mes de junio, respecto a la línea base. Sólo en los meses de febrero y marzo se denota un decrecimiento de los

valores en todas las estaciones del territorio (Fig. 4 (a)). Esta misma característica fue encontrada para la TEE,

incluyendo los meses de noviembre, diciembre y enero, con una disminución del índice (Fig. 4 (b)).

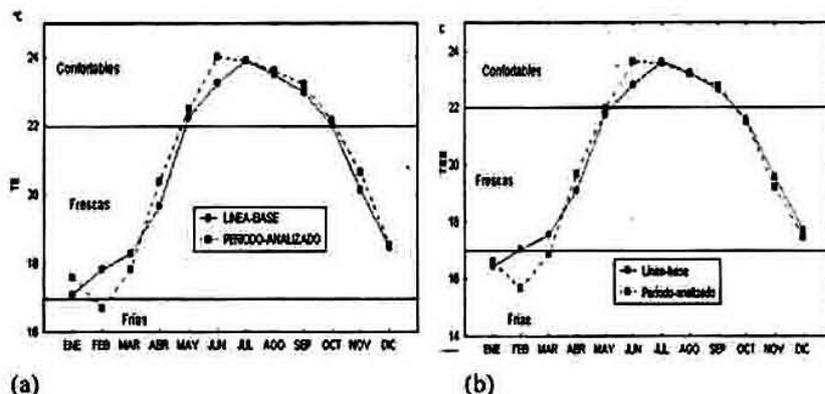


Fig. 4. Marcha anual de la TE (a) y TEE (b) a las 07:00 horas Estación Camilo Cienfuegos

A las 13:00 horas, el comportamiento de estas marchas muestra un discreto aumento de los dos índices en el período de estudio, al compararlo con la línea base. Se observa un marcado incremento en la TE y TEE en el mes de abril, para todos los emplazamientos del territorio. Febrero se destaca como ejemplo de una disminución de los valores medios de la TE, para las

estaciones Camilo Cienfuegos y Venezuela. En la Fig. 5 se muestra el comportamiento de los valores medios de la TEE en la estación Júcaro a las 13:00 horas, la más representativa en cuanto al aumento de sus valores durante el período 1991-2000. Este hecho se corresponde con los resultados encontrados en el análisis de tendencia y puntos de cambio.

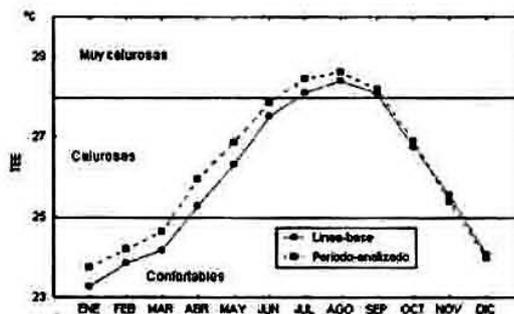


Fig. 5. Marcha anual de la TEE a las 13:00 horas. Estación Júcaro.

Al analizar los resultados obtenidos a través del método de las dúcimas de diferencias de medias, fueron pocos los cambios altamente significativos encontrados. A pesar de ello, de alta significación resultó el decrecimiento de los valores medios de TE y TEE en la estación Camilo Cienfuegos, en el mes de febrero a las 07:00 horas. Significativo también devino el incremento de los valores medios de TE en abril del período 1991-2000, en las estaciones Venezuela y Júcaro a las 07:00 horas. Al mediodía se destaca esta última por el significativo crecimiento de los valores de ambos índices, en abril.

Estos resultados concuerdan en general con los obtenidos en similar investigación para las provincias habaneras por León et. al. (2003). Con todo, cabe

destacar que en el territorio avileño se manifiestan tendencias al decrecimiento del índice TEE en las mañanas de invierno a consecuencia de un incremento en la rapidez del viento en el período de estudio.

Análisis de las frecuencias de sensaciones térmicas (1981-1990 y 1991-2000)

Se encontró que los valores en la temporada invernal para 1991-2000 tuvieron un comportamiento irregular, respecto a la línea base. Sin embargo, en el primero la disminución de TEE en febrero hace que las sensaciones predominantes sean extremas (frías y

muy frías), en contraposición al período 1981-1990, donde dominaban las sensaciones frescas (Fig.6). Incluso, en Camilo Cienfuegos al amanecer prevalecieron estas sensaciones para ambos índices. Por otra parte, las sensaciones calurosas extremas

experimentaron un adelanto en su aparición respecto al decenio anterior (Fig. 7.), y los índices estudiados mostraron un discreto incremento durante toda la temporada, destacándose aquí la estación Júcaro (Fig.8). Estos resultados reafirman los hallados en el epígrafe anterior.

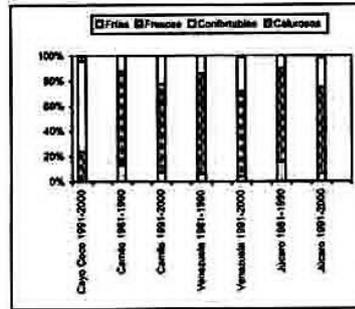
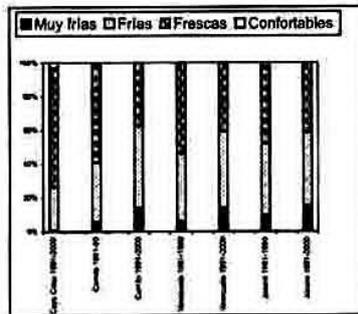


Fig. 6. Frecuencia de la TEE en febrero.

Fig. 7. Frecuencia de la TE en abril a las 07:00 horas.

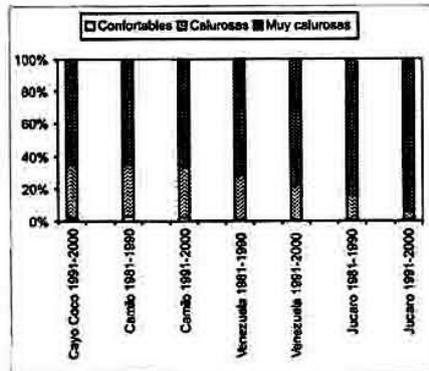


Fig. 8. Frecuencia de la TE en julio a las 13:00 horas.

Estacionalidad de la TE y TEE (1981-1990 y 1991-2000)

En general, se observó una pequeña variación entre los patrones estacionales en ambos plazos, en todas las estaciones meteorológicas. Esta variación se hizo más notable en el horario de la mañana.

Analizando la TE, se halló una disminución de los índices estacionales en las mañanas de invierno, específicamente de diciembre a marzo en el período 1991-2000. Se destaca el mes de febrero por presentar los valores más bajos respecto a la línea base. En todos los emplazamientos es posible advertir un comportamiento similar, destacándose la estación de Camilo Cienfuegos por su comportamiento (Fig.9).

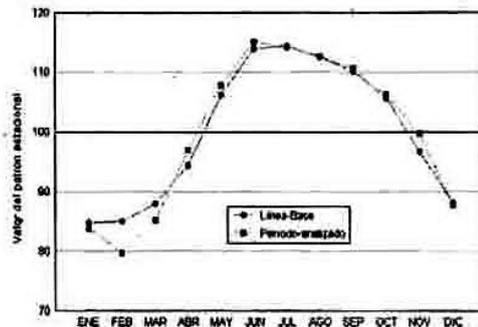


Fig. 9. Estacionalidad de la TE a las 07:00 horas. Estación Camilo Cienfuegos.

Sin embargo, estos valores se mostraron ligeramente por encima de los correspondientes a la línea base desde abril hasta junio, siendo muy similares de julio a septiembre y volviendo a incrementarse en

noviembre. Incluso, en este último mes los valores se encuentran en el límite entre altos y bajos índices estacionales, resaltando Venezuela, donde estos valores pasan de una categoría a otra (Fig. 10).

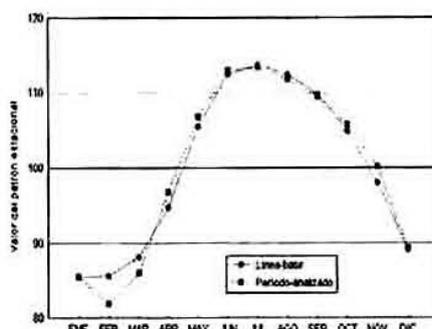


Fig. 10. Estacionalidad de la TE a las 07:00 horas. Estación Venezuela

En el horario de la tarde, los valores de TE son muy similares para ambos períodos; sólo se denota un pequeño incremento a inicios del verano, en abril y mayo (Fig. 11 (a)). En el mes de febrero del período de estudio se observa un pequeño decrecimiento del índice para todos los emplazamientos, en este horario.

La TEE, por su parte, mantuvo un comportamiento bastante similar al de la TE, en ambos horarios, distinguiéndose el mes de abril por acercarse al límite entre las temporadas caracterizadas por bajos y altos índices estacionales en las localidades. Incluso, en la estación Venezuela los límites se trasgreden, quedando finalmente abril en la época de altos índices estacionales (Fig. 11 (b)).

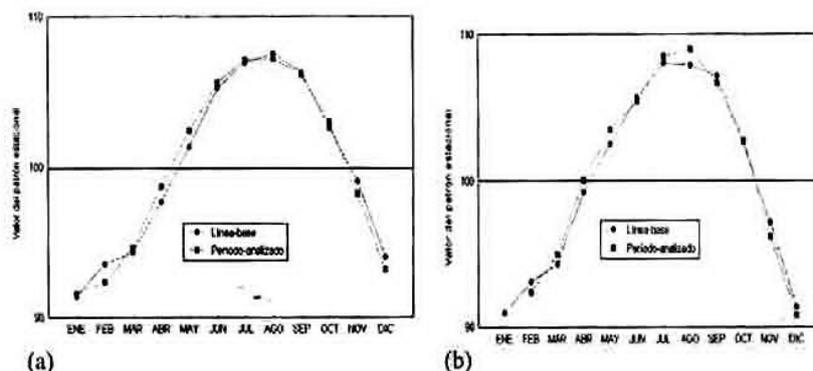


Fig. 11. Estacionalidad a las 13:00 horas. TE de la estación Júcaro (a) y TEE de la estación Venezuela (b).

La tendencia al incremento general de la TE y en ciertos horarios de la TEE en el período 1991-2000, se corresponde con el moderado aumento experimentado por la temperatura del aire en la provincia, más significativo a las 07:00 a.m. Lo anterior concuerda con el aumento de las temperaturas mínimas reportado por (Centella, A. et. al. 1997) para Cuba. Por otra parte, el peculiar decrecimiento de la TEE en la temporada invernal a la salida del sol, responde al incremento en la rapidez del viento para este período. En el caso individual de febrero, la caída de la TEE se atribuye a la marcada disminución de la temperatura del aire en este mes, durante 1991-2000.

Se debe señalar que las variaciones observadas en el clima de la provincia en el período de estudio probablemente estén asociadas a características de la circulación atmosférica a escala sinóptica, o a variaciones en el régimen de radiación solar entre otros factores a estudiar con profundidad, a fin de esclarecer las causas de este comportamiento.

Conclusiones.

Entre la década de los 80 y los 90 del siglo pasado, los cambios más significativos en las condiciones bioclimáticas de la provincia de Ciego de Ávila coinciden con los observados en otras regiones del

país, tomándose más extremo en el período 1991-2000. No obstante, presentan características locales propias del territorio estudiado. Estas son:

- Tendencias crecientes de ambos índices al sur de la provincia a inicios del verano, sobre todo a las 07⁰⁰ a.m. Al norte se observan tendencias decrecientes en los amaneceres invernales.

- La temporada de verano comenzó más temprano y se presentó más calurosa. Las sensaciones extremas adelantaron su aparición para el mes de abril, alcanzando acumulados más altos y retardando su retirada.

- En la temporada invernal, las sensaciones frías y muy frías experimentaron un incremento en las mañanas. A diferencia del período de línea base, febrero se comporta como el mes más frío de la temporada en todo el territorio avileño.

- Independientemente de las conclusiones anteriores, no se observaron cambios importantes en la estacionalidad de los índices analizados.

Bibliografía.

Alvarez, R. et. al. (2000): Informe del Resultado de Investigación 01303011: Análisis de los cambios en los patrones de dispersión de contaminantes, del potencial eólico energético y algunas variables meteorológicas debido a la variabilidad climática y sus aplicaciones. Instituto de Meteorología. CITMA. (Inédito).

Bótlva, I. V., Illichova, E. M. y Kornilova, R. P. (1984): Régimen de tiempo y sensación térmica del hombre en diferentes zonas naturales de la URSS en el período cálido del año. Materiales de Investigaciones Meteorológicas, 8: Moscú, pp. 74-81.

Centella, A. et. al. (1997): Variaciones y cambios del clima en Cuba. Instituto de Meteorología. 61 pp. (Inédito).

Hentachel, G. (1987): A human biometeorology classification of climate for large and local scales, p. 120-138. En: Climate and Human Health. Proceedings of the Symposium in Leningrad. Vol. I. WCAP No. 1, 247 pp.

Houghton, F. and Yaglou, C. (1923): Determining lines of equal comfort. Trans. Amer. Soc. Heat Vent. Engrs., No. 29, 163 pp.

Landsberg, H. (1972): The assessment of human bioclimate. Technical Note No. 123. WMO No. 331. Genova, Switzerland.

León, A. (1998) : Las sensaciones de calor en el occidente de Cuba. Trabajo de Diploma. Facultad de Geografía. Universidad de la Habana. pp. 28. (Inédito).

León, A. Campos, A., Guevara, A. V., Vega, R., Martínez, C. L. (2003): Estacionalidad y tendencias actuales de las sensaciones térmicas de los individuos en las provincias habaneras, Cuba. X Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología.

Mellado, E. y I. Borrero. (1997): Software Winstat (programa para el cálculo de Índices y Tendencias en series temporales. Versión 2.0 - Beta). Instituto de Meteorología. La Habana. (comunicación personal).

O.M.M. (1990): Guía de Prácticas Climatológicas, Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.), O.M.M. Nº 100, Ginebra.

Ostle, B. (1974): Estadística aplicada. Editorial Científico - Técnica. Ciudad de la Habana..

Sánchez de Carmona, L. (1984): Confort humano en ciudades de clima tropical. Conferencia Técnica sobre Climatología Urbana y sus aplicaciones con especial referencia a las zonas tropicales. Ciudad de México, 26-30 noviembre, 93 pp.

Santana, M., et. al. (2004): Estudio de las sensaciones térmicas en la provincia Ciego de Ávila. IV Congreso Nacional de Geografía. Ciudad de la Habana.

Steadman, R. G. (1984): Norms of apparent temperature in Australia. Australian Meteorological Magazine. Vol. 43, No. 1, pp. 1-16.

Thom, E. (1959): The discomfort index. Weatherwise. No. 12, pp. 57-60.

Vannitsem, S. y Demaree, G. (1991): Détection et modélisation des sécheresses au Sahel. Hydrologie Continentale, Vol. 6, No. 2, pp. 155-171.

Abstract

The topic of the thermal sensations has great importance for the Applied Climatology, due to its impact in sectors like the public health, the tourism and the outdoors activities. In this work climatic variability of the thermal sensations is analysed in the province of Ciego de Ávila (in the central region of Cuba) during the 1991-2000 period, starting from the bio-climatic indexes effective temperature (TE) and equivalent effective temperature (TEE). For this, the trends and seasonality variations of this sensations are determined in the four meteorological stations of the territory. The results indicate a growing trend from both indexes at the south of the province in the beginning of the summer and, mainly at 0700 hours. To the north of the territory falling trends are observed in the winter mornings. They were defined some points of change in the series that allow the division of the initial period in two sub-periods, with significant differences among their mean values. In the last years, the summer season began earlier and it was hotter; the winter season was characterized by an increase of the cold and very cold sensations in the month of February. We conclude that the climate of the province Ciego de Ávila has become more extreme in the years from 1991 to 2000, as compared with the 1991-1990 period.

Anexo.

Tabla 1. Tendencias y puntos de cambio de las series de temperatura efectiva y temperatura efectiva equivalente en las estaciones seleccionadas. Período 1961-2000.

Índice bioclim.	Temporada	Tendencia de las variables				Puntos de cambio (año)			
		Cayo Coco	Venezuela	Júcaro	Camilo Cienfuegos	Cayo Coco	Venezuela	Júcaro	C. Cienfuegos
Temp. Efectiva	Anual 07	•	as ↑	as ↑	ns ↑		87 as	90	
	Anual 13	ns ↓	ns ↑	10% ↑	ns ↑			86 as	
	Invierno 07	•	ns ↑	•	•		88 10%		
	Invierno 13	ns ↓	•	ns ↑	•			87 10%	
	Verano 07	ns ↑	10% ↑	as ↑	as ↑			95 10%	87 10%
	Verano 13	•	ns ↑	as ↑	ns ↑			86 as	
Temp. Efectiva Equiv.	Anual 07	ns ↓	•	ns ↑	•				
	Anual 13	ns ↓	•	10% ↑	•			86 as	
	Invierno 07	as ↓	ns ↓	ns ↓	ns ↓	95 as			
	Invierno 13	10% ↓	ns ↓	ns ↑	•			87 10%	
	Verano 07	•	•	ns ↑	Ns ↑				
	Verano 13	ns ↓	•	10% ↑	ns ↑			86 as	

Leyenda: as : tendencia altamente significativa.

•: no hay tendencia.

ns: tendencia no significativa.

10%: tendencia significativa al nivel de significación de 0.10

↓↑: sentido de la tendencia (creciente o decreciente).

Número que acompaña al punto de cambio: última dos cifras del año en que se sitúa el punto de cambio.