Ciencia Nicolaita 92: 56-63; Diciembre de 2024 doi:10.35830/cn.vi92.789

Evaluación de las olas de calor en la Ciudad de Morelia

Evaluation of heat waves in the City of Morelia

América Olimpia Martínez Granados*, Liliana García Romero, Sonia Tatiana Sánchez Quispe

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Gral. Francisco J. Múgica S/N, C.U.,58030 Morelia, Michoacán.

Historial
Manuscrito recibido: 19 de enero de 2024
Manuscrito aceptado: 28 de octubre de 2024
Manuscrito publicado: diciembre 2024

***Autor para correspondencia**
América Olimpia Martínez Granados
e-mail: america.martinez@umich.mx.
ORCID: 0000-0002-4351-9318

Resumen

Las olas de calor son un fenómeno climatológico de gran impacto en la sociedad y medio ambiente debido a los riesgos que representan. En el presente trabajo se evalúa su impacto en la ciudad de Morelia, ya que en los últimos años se ha presentado un aumento de la temperatura, afectando a diferentes sectores. Para la evaluación de las olas de calor, existen diferentes tipos de criterios. Con base en la información disponible, se propuso la aplicación de umbrales relativos en un periodo histórico, así como la aplicación de índices que permitieron estimar el grado de severidad en la zona de estudio. Se pudo observar que el municipio de Morelia se encuentra entre un grado muy bajo y un grado alto de severidad, existiendo un grado medio a alto en la zona sur del municipio. Por otra parte, la zona centro se encuentra a un grado muy bajo a bajo, dejando la zona norte y en este caso la ciudad de Morelia en un grado de severidad alto. Esto contribuye al conocimiento sobre las zonas con mayor incidencia para establecer medidas de mitigación o adaptación.

Palabras clave: Olas de calor, temperaturas máximas, umbrales, evaluación, Morelia.

Abstract

Heat waves are a weather phenomenon with a great impact on society and the environment due to the risks it represents. This paper presents the analysis of heat waves in the city of Morelia, where in recent years there has been an increase in temperatures and this has affected different sectors. For the evaluation of heat waves, there are different types of criteria, based on the available information, the application of relative thresholds in a historical period was proposed, as well as the application of indices that allowed to characterize the heat waves, as well as estimate the degree of severity in the study area. It was observed that the municipality of Morelia is between a very low degree and a high degree of severity, with a medium to high degree in the southern area of the municipality. On the other hand, the central zone is at a very low to low degree, leaving the northern zone and in this case the city of Morelia at a high degree of severity. This contributes to knowledge about the areas with the highest incidence to establish mitigation or adaptation measures.

Keywords: Heat waves, maximum temperatures, thresholds, evaluation, Morelia.

Introducción

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM; 1993), la ola de calor es un calentamiento importante del aire, o invasión de aire muy caliente sobre una zona extensa, y suele durar desde unos días hasta algunas semanas. Las olas de calor son un fenómeno natural que puede causar graves daños en el medio ambiente y afectar la salud humana, tal como sucedió en Estados Unidos a mediados de julio de 1995, donde perecieron 830 personas, 525 en la ciudad de Chicago (Changnon *et al.,* 1996). En Europa, en el verano de 2003, se estima que las pérdidas de las cosechas fueron de 12.3 billones de dólares, con 35000 decesos por las elevadas temperaturas, de éstos 15000 ocurrieron en Francia, donde la mayoría fueron personas de la tercera edad (FEMA, 2006). En la península Ibérica se registraron las temperaturas más altas donde se superaron los 47 °C. Por su parte, en Portugal los incendios forestales generaron daños de alrededor de 1.6 billones de dólares. Vidal *et al.* (2010) establecen que una onda cálida es definida por un período de tres o más días cuando la temperatura excede un umbral específico. En este trabajo se analizará los

Copyright © Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo • ISSN 2007-7068

efectos de las olas de calor, las causas del aumento de su frecuencia y cómo podemos mitigar sus efectos negativos. Diversos estudios muestran que las Olas de Calor provocan un incremento de las tasas de ingresos hospitalarios y un aumento de la mortalidad, según un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), las olas de calor causaron más de 166000 muertes en todo el mundo entre 1998 y 2017 (OMS, 2019). Los efectos en la salud pueden incluir golpes de calor, deshidratación, enfermedades cardiovasculares y respiratorias, y daño renal, y, de acuerdo con Coppe *et al.* (2004) estos periodos cálidos, junto con la contaminación atmosférica, suponen los mayores riesgos en las áreas urbanas. Las olas de calor también incrementan la demanda de energía, como la utilizada en la refrigeración, lo que puede llevar a apagones y aumentos en los precios de la electricidad, también aumenta la demanda de agua provocando desabastecimiento y escasez del recurso.

La presente investigación tiene como objetivo principal, la evaluación de las olas de calor registradas en un periodo histórico en la ciudad de Morelia, para la obtención del grado de severidad en la zona de estudio. Para ello, será necesario determinar e identificar las olas de calor en el periodo histórico, y posteriormente se caracterizarán las olas de calor identificadas y se determinará el índice de severidad, y, a partir de ellos, se elaborarán mapas de severidad para la zona de estudio.

Materiales y métodos

Zona de estudio

La ciudad de Morelia, se encuentra en el municipio de Morelia, ubicado en el estado de Michoacán y cuenta con una extensión territorial aproximada de 1336 km^2 (**Figura 1**). La metodología implementada en la investigación se presenta en la **Figura 2**. Posteriormente se definirán con detalle cada una de las etapas.

Obtención de series de temperatura máxima y mínima

La primera etapa en la metodología consiste en la obtención de series de temperatura máxima y mínima. Las

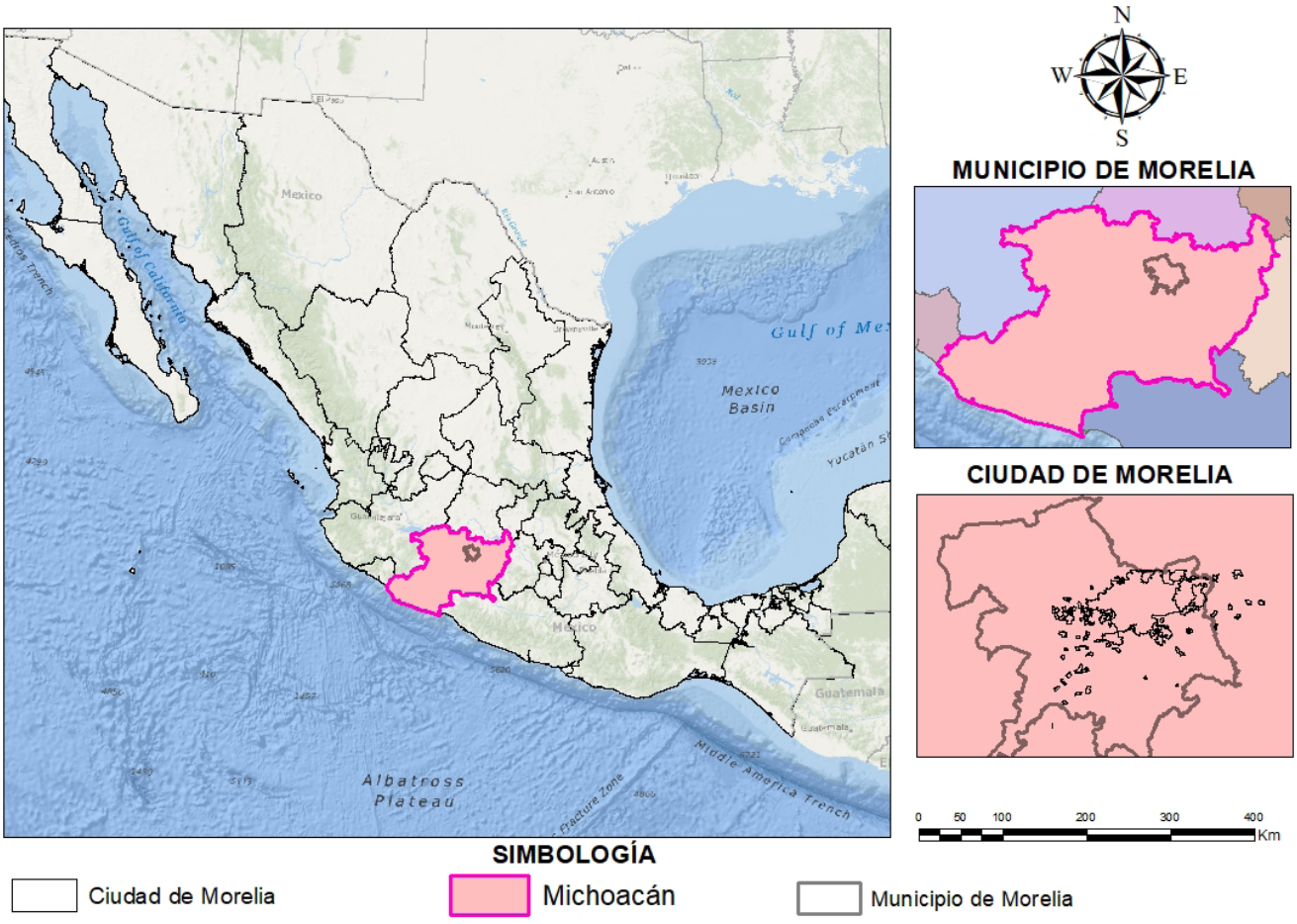

Figura 1. Localización geográfica de la ciudad de Morelia.

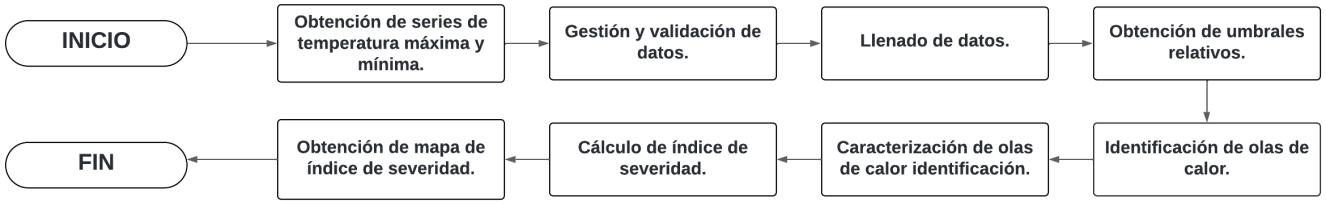

Figura 2. Diagrama metodológico general.

series provienen de las estaciones meteorológicas existentes. Para elegirlas, se consideró que se cubriera toda la zona del municipio de Morelia. Las series de temperatura máxima y mínima obtenidas, provienen de la base de datos del Sistema Meteorológico Nacional (SMN), mismas que se descargaron a escala diaria.

Gestión y validación de datos

Para la gestión y validación de datos de temperatura, como primer filtro se obtuvo el porcentaje de vacíos de las series. Para ser utilizadas en la determinación de las olas de calor, el porcentaje de vacíos no debía exceder un 15% (Díaz, 2021). Las estaciones seleccionadas pasaron por un segundo filtro, donde se analizó el comportamiento de los datos mediante graficas de tendencia (Herrera-Alanís, 2012) para garantizar la fiabilidad de los datos utilizados.

Estimación de datos faltantes

Para el análisis de las olas de calor, es necesario contar con series continuas de datos, por lo que fue necesario llevar a cabo la estimación de los datos faltantes de cada serie. Para este proceso, se utilizó el método de Interpolación con la Distancia Inversa Ponderada (IDW), este método se basa en que la influencia de la variable a interpolar es inversamente proporcional a la distancia entre las estaciones de apoyo. Los pesos de la función de interpolación son solamente una función de la distancia entre el punto de interés y los puntos de medición (Herrera-Alanís, 2012). La distancia al punto correspondiente, se calcula utilizando la ecuación [**1**].

$$W_j = \frac{F(d_{ej})}{\sum_{j=1}^{n} F(d_{ej})} \qquad [1]$$

Donde:

$F(d_{ej})$: Función dada a la distancia.

Una forma comúnmente usada de la función F (*) es

$$F(d_{ej}) = \left[\frac{1}{d_{ej}}\right]$$

de acuerdo con lo anterior el factor de peso se escribe como se muestra en la ecuación [**2**].

$$W_j = \frac{\left[\frac{1}{d_{ej}}\right]^{\beta}}{\sum_{j=1}^{n}\left[\frac{1}{d_{ej}}\right]^{\beta}} \qquad [2]$$

Cuando la potencia toma valores de 1 o 2, la técnica es llamada como Interpolación de la Distancia Inversa o Interpolación del Cuadrado de la Distancia Inversa y en estos casos se puede interpolar, aunque el punto de interés no tenga datos, si en el punto de interés existen datos se puede recurrir a optimizar el exponente β (Herrera-Alanís 2012).

Obtención de umbrales relativos

Un criterio de NWS (Robinson, 2001), establece el uso de percentiles (95 y 99) en dos días consecutivos; otro criterio establece el percentil 80 tanto en temperatura máxima como en mínima para dos días consecutivos (López, 2004). Para la presente investigación se utilizo el percentil 95.

Identificación de olas de calor

Para la identificación de Olas de Calor, se buscaron las temperaturas iguales o que sobrepasaran el umbral calculado, teniendo dos o más días consecutivos (Balleste-

ros César, 2009).

Caracterización de las olas de calor

Para la caracterización de las olas de calor identificadas, se aplicaron los siguientes parámetros:

- Fecha de inicio (FI). La fecha en que inicia la ola de calor y se da en forma continua, empezando la numeración el 1 de enero hasta el 31 de diciembre del mismo año.
- Fecha de término (FT). La fecha en que termina la ola de calor, se da en forma contínua, empezando el 1 de enero y terminando el 31 de diciembre del mismo año.
- Duración (D). El tiempo que dura la ola de calor, en días.
- Intensidad (I). Se define como la suma de las temperaturas divididas entre la duración de la ola de calor. Con esta definición se tienen dos intensidades, las de la serie de temperatura máxima (Imáx) y la serie de la temperatura mínima (Imín).
- Índice de intensidad (IEI). Es la suma de la temperatura modulada entre la duración de la ola de calor. Se presentan dos índices, uno en la serie de temperatura máxima y otro para la serie de temperatura mínima.
- Temperatura de alivio (TA). Se define como la diferencia entre la temperatura máxima y temperatura mínima.
- Índice de la temperatura de alivio (IETA). Es la obtenida de la serie modulada de la diferencia entre la temperatura máxima y mínima.
- Temperatura máxima (TM). Es la temperatura máxima que se registra en la ola de calor. Al igual que la intensidad, se tiene una temperatura máxima en la serie de temperatura máxima (TMmáx) y otra en la serie de temperatura mínima (TMmín).
- Índice de la temperatura máxima (IETM). Es la temperatura máxima modulada.

Cálculo de índice de severidad

La severidad de la ola de calor se determina como el producto del promedio entre la intensidad máxima y mínima y la duración de la ola de calor, entre la temperatura de alivio promedio; tal como se muestra en la ecuación [**3**].

$$S = \frac{D \cdot (0.5 \cdot (Imáx + Imín))}{TApromedio} \qquad [3]$$

Por su parte, el índice de severidad de la ola de calor (S), se determinó como el producto del promedio de la intensidad índice máxima y mínima y la duración de la ola de calor, dividida entre el índice de la temperatura de alivio promedio; tal como se muestra en la ecuación [4].

$$S = IETA \cdot (0.5 \cdot (IEImáx + IEImín)) \cdot D \qquad [4]$$

Obtención de mapas de grado de severidad

La creación de mapas de grado de severidad se realizará a partir de un sistema de información geográfica (SIG), esto nos dará el resultado espacial del grado de severidad en la zona de estudio.

Resultados

Para la obtención de series de temperatura, primero se realizó la selección de estaciones, dependiendo de su ubicación geográfica; el primer criterio que se toma en cuenta, es que cubra en su totalidad al municipio de Morelia. Las estaciones seleccionadas para este trabajo fueron 10 y son las que se muestran enlistadas en la **Tabla 1.**

Tabla 1. Estaciones climatológicas seleccionadas.

CODIGO	Situacion	NOMBRE DE ESTACION	COORDENADAS (UTM Z14)		ELEVACION(m)	DISTANCIA AL CENTRO DE	AÑO INCIAL	AÑO FINAL	AÑOS DE SERVICIO	% VACIOS
			X	Y						
16123	Operando	Tacambaro	241715.255	2128721.625	1640	51251.509	1922	2011	89	4.78
16109	Operando	San Diego Curupatzeo	270625.662	2139154.347	1444	38252.802	1922	2016	94	3.28
16136	Operando	Tzitzio	298195.137	2166417.718	1565	38410.774	1969	2017	48	7.12
16045	Operando	El Temazcal	295018.360	2173993.799	2220	34040.943	1965	2016	51	1.96
16120	Suspendida	Santiago Undameo	256661.089	2169181.628	2130	8266.860	1953	2007	54	3.24
16055	Operando	Jesus del Monte	274420.172	2174363.938	2180	13496.504	1935	2016	81	3.91
16081	Operando	Morelia	271881.605	2178482.356	1908	11073.410	1947	2017	70	2.74
16254	Operando	Teremendo	240393.521	2189402.354	2188	24523.323	1982	2017	35	6.90
16016	Operando	Carrillo Puerto	286631.216	2201397.449	1840	35917.933	1969	2015	46	10.14
16027	Operando	Cuitzeo	276241.518	2208048.732	1831	35299.969	1923	2017	94	11.70

La localización geográfica de las estaciones climatológicas seleccionadas, se muestran en la **Figura 3**.

Se analizaron las tendencias de los datos obtenidos de las estaciones climatológicas (**Figura 4)**. Se analizaron un total de 10 gráficas (una por cada estación seleccionada).

Se realizó el cálculo de umbrales, a partir de un percentil 95, los cuales se presentan en la **Tabla 2**.

La caracterización, así como el cálculo de los índices de severidad, de las olas de calor identificadas se presenta en la **Tabla 3.**

Obteniendo los índices de severidad, se procedió a analizar su tendencia, en la **Figura 5** se muestra que éstos van aumentando, con respecto al tiempo.

Se identificó un mapa del grado de severidad, de acuerdo a la clasificación que propone el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). En la **Figura 6** se muestran las zonas más susceptibles ante este fenómeno.

De acuerdo con el mapa de grado de severidad ante olas de calor, en la ciudad de Morelia, se puede observar que el municipio de Morelia se encuentra entre un grado muy bajo y un grado alto de severidad, existiendo un grado medio a alto en la zona sur del municipio. Por su parte, la zona centro se encuentra a un grado muy bajo a bajo, dejando la zona norte y en este caso la ciudad de Morelia en un grado de severidad alto.

Tabla 2. Cálculo de umbrales.

Nombre de la estación	ID de la estación	Umbral de temperatura máx	Umbral de temperatura mín
Tacambaro	16123	33	15
San Diego Curupazeo	16109	38	21
Tzitzio	16136	32	18
El Temazcal	16045	29	14
Santiago Undameo	16120	32.5	14
Jesús del Monte	16055	34	12.3
Morelia	16081	32.9	15
Teremendo	16254	32	13.1
Carrillo Puerto	16016	29	14
Cuitzeo	16027	32.4	15

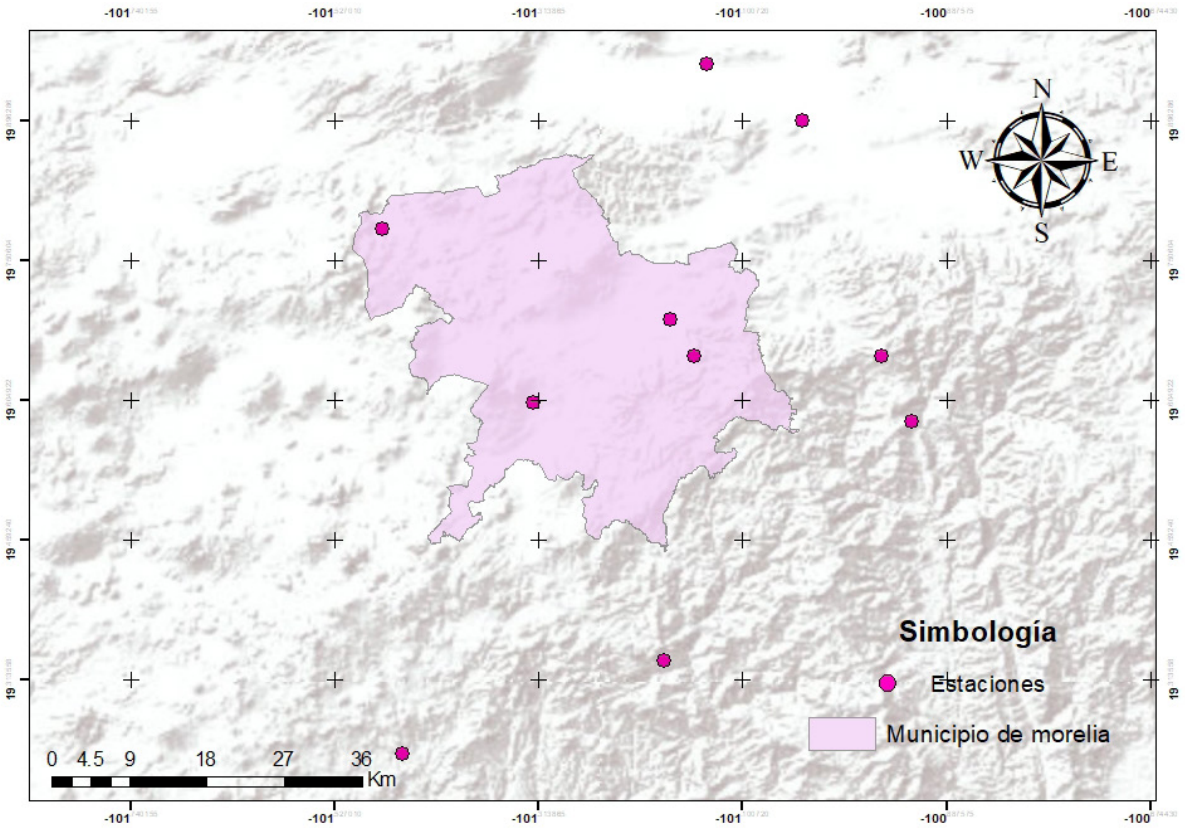

Figura 3. Estaciones seleccionadas.

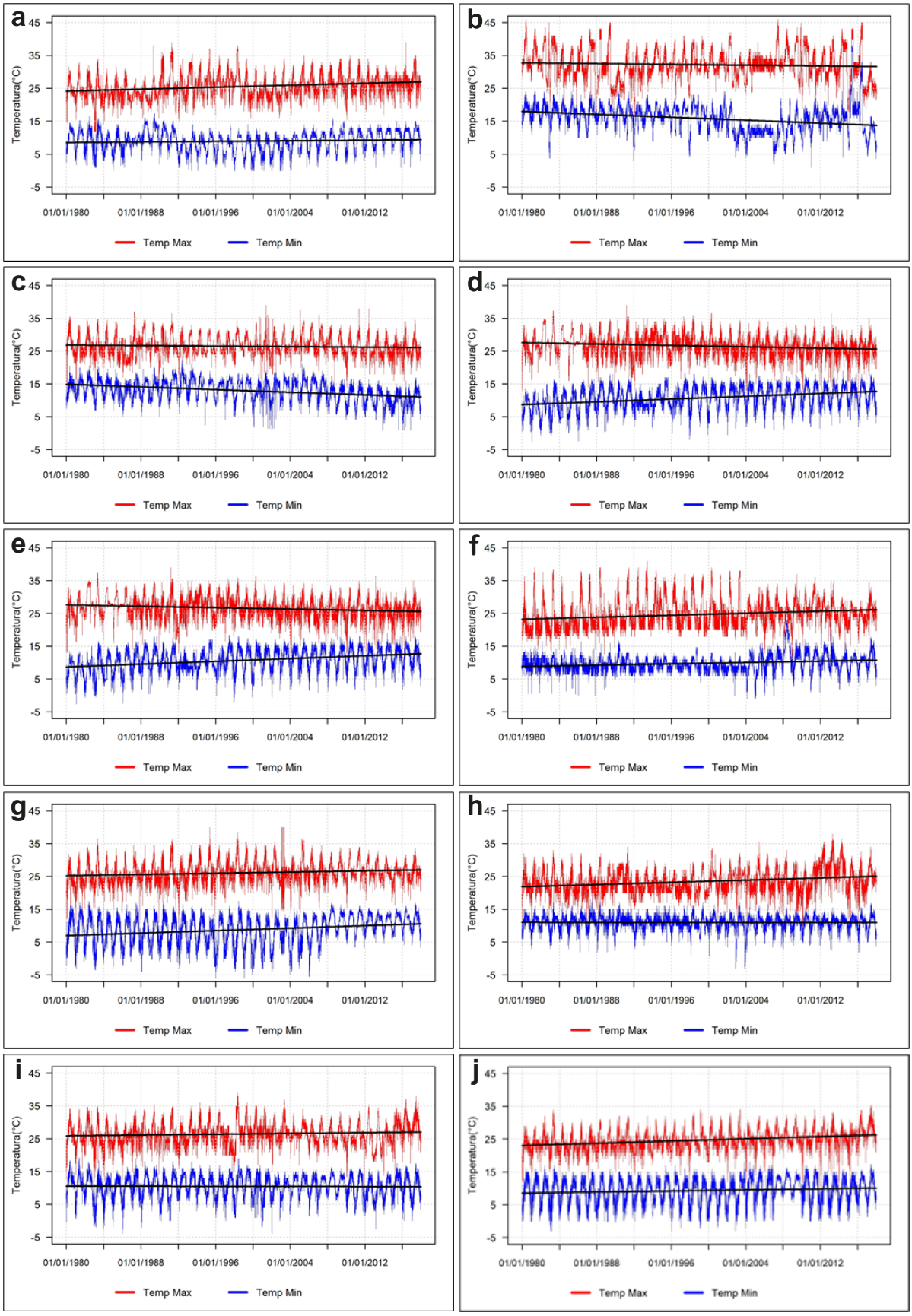

Figura 4. Análisis de tendencia de series de temperatura, **a)** Teremendo, **b)** San Diego, **c)** Tzitzio, **d)** Morelia, **e)** Tacámbaro, **f)** Jesús del Monte, **g)** Santiago Undameo **h)** Temazcal, **i)** Cuitzeo, **j)** Carrillo Puerto.

Tabla 3. Caracterización de las olas de calor.

CODIGO	NOMBRE DE ESTACION	MUNICIPIO	P95 TMAX	P95 TMIN	MMP	PT	DMP	P	TE	IEIM	IETAP	IETAM	IST	ISM
16123	Tacambaro	Tacambaro	34.00	15.54	Mayo	3.77	2.00	0.68	98.00	32.00	26.15	10.33	1111.72	117.51
16109	San Diego Curupatzeo	Madero	39.00	21.00	Mayo	3.78	2.00	0.61	87.00	28.61	23.23	10.71	1043.23	134.25
16136	Tzitzio	Tzitzio	32.00	17.50	Mayo	2.86	2.00	0.76	83.00	36.00	29.20	11.63	859.61	82.06
16045	El Temazcal	Charo	29.50	14.00	Mayo	4.04	2.00	0.61	93.00	30.45	24.23	6.09	893.69	87.40
16120	Santiago Undameo	Morelia	32.00	14.46	Mayo	3.57	2.00	0.74	100.00	35.80	28.86	3.11	799.84	35.99
16055	Jesus del Monte	Morelia	33.00	14.00	Abril	3.11	2.00	0.71	84.00	38.66	27.77	9.38	1028.50	76.49
16081	Morelia	Morelia	32.00	15.50	Mayo	3.38	2.00	0.84	108.00	40.00	32.78	5.01	992.47	123.92
16254	Teremendo	Morelia	32.00	13.00	Mayo	3.68	2.00	0.66	92.00	32.84	26.06	4.28	863.62	86.77
16016	Carrillo Puerto	Alvaro Obregon	30.00	14.73	Mayo	3.53	2.00	0.89	120.00	42.70	34.30	2.75	1083.00	50.85
16027	Cuitzeo	Cuitezo	32.50	15.00	Mayo	3.28	2.00	0.76	95.00	37.10	29.82	4.21	761.70	60.69

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, la gestión y validación de estaciones es muy importante, ya que en México no contamos con datos de calidad, por la carencia de estaciones automatizadas. Por lo anterior, el llenado de datos faltantes es de suma importancia, ya que es necesario contar con series temporales sin discontinuidades. De acuerdo con los resultados de evaluación de las olas de calor en la ciudad de Morelia, se encontró que éste fenómeno es cada vez más frecuente, causando diferentes daños a la sociedad, por lo que es urgente conocer las zonas con mayor incidencia para establecer medidas de mitigación o adaptación.

Agradecimientos

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en especial al programa de la Maestría en Ingeniería de los Recursos Hídricos (MIRH) y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías (CONAHCYT).

Referencias

Changnon S, Kenneth E, Reinke B (1996). Impacts and responses to the 1995 heat wave: A call to action. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77:1497-1506.

Coppe C, *et al.* (2004). Health and global environmental change. Heat-waves: risks and responses, World Health Organization, 80 pp.

FEMA (2006). Excessive heat events guidebook. Washington: Environmental Protection Agency.

Jaeger EB, Seneviratne SI (2011). Impact of soil moisture–atmosphere coupling on European climate extremes and trends in a regional climate model. *Clim Dyn* 36:1919-1939.

Herrera Alanís JL (2012). Análisis de olas de calor en República Mexicana. Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México.

Díaz J, López-Bueno JA (2021). Olas de frío y de calor: impacto en la salud. *Ambienta* 130:28-33.

López-Díaz JA (2004). Análisis de tendencias en las olas de calor a partir de series largas de temperatura. Instituto

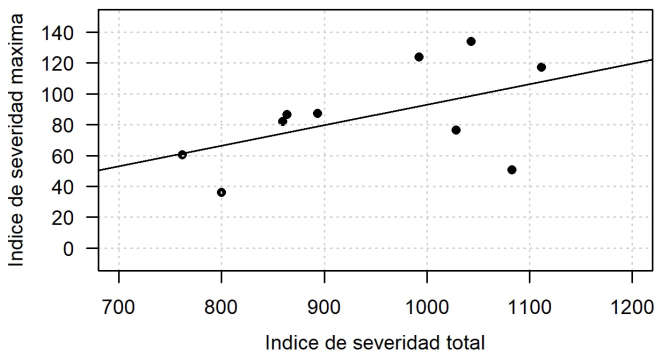

Figura 5. Análisis de severidad.

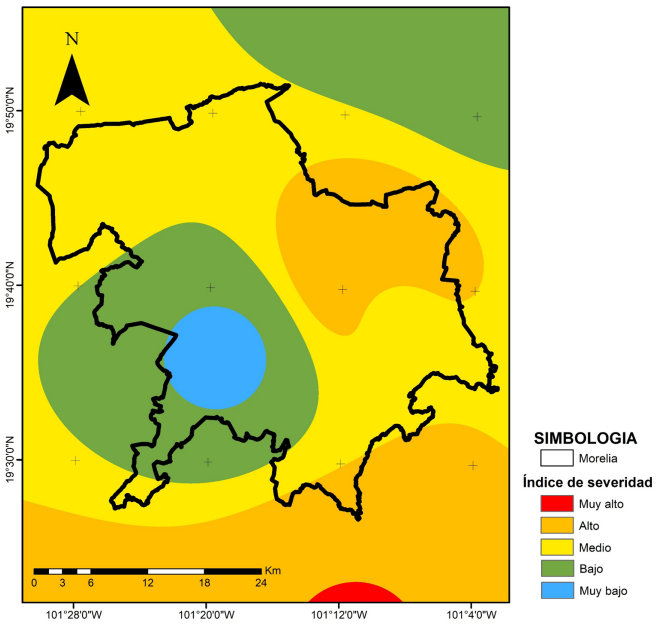

Figura 6. Grado de olas de calor en la ciudad de Morelia.

Nacional de Meteorología.

OMM (1993). Vocabulario Meteorológico Internacional. Ginebra. 1993. p. 784.

OMS (2019). Heat Health Information System (HHIS). Recuperado el 7 de mayo de 2023, de https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/heat-health-information-system.

Robinson PJ (2001). On the definition of a heat wave. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 40:762-775.

Rodríguez Ballesteros C (2009). Olas de calor y de frío en España desde 1975.

Vidal R, Ortiz M (2010). Efectos de las ondas cálidas en el bienestar de la población en el sureste de México. XIX Congreso Nacional de Geografía. Villahermosa, Tabasco.