

A photograph of a person riding a bicycle away from the camera on a city street during a heavy rain. The cyclist is wearing a blue helmet and dark clothing. The street is wet and reflective, with cars and a motorcycle visible in the background. The scene is set in an urban area with historic buildings and street lamps. The text is overlaid on the top half of the image.

Temperatura y Precipitación Pluvial en el área urbana y periferia de Morelia Michoacán, México

Lic. Correa García Armando
*Facultad de Biología, Universidad Michoacana
de San Nicolás de Hidalgo.*

Resumen

La isla de calor urbano (UHI) ocurre cuando la temperatura de las áreas urbanas, es más alta que en los alrededores de la ciudad. Este fenómeno es evidente en ciudades de rápido crecimiento poblacional como León, ciudad de México y hace poco en Morelia se reportó éste exceso de calor. El efecto de la UHI es importante, porque puede ocasionar efectos negativos en la salud humana y podría estar relacionado con la mortalidad. Debido a esto, en este estudio se analizó la relación de la temperatura y precipitación pluvial entre dos sitios de monitoreo de Morelia; uno situado en el centro, y otro al suroeste fuera de la ciudad.

Entre otros resultados, se informa que la zona urbana es más cálida, que las inmediaciones de la ciudad, mientras que la precipitación pluvial es más abundante afuera, que en el centro de Morelia, lo cual puede atribuirse al continuo crecimiento de la ciudad y de la población. Para el año 2024 se espera un incremento de la temperatura a 19.9°C y de la lluvia a 286.47mm en el centro urbano de la ciudad con respecto al 2023.

Palabras clave: isla de calor, modelo de diagnóstico, bioclima.

Abstract

The urban heat island (UHI) occurs when the temperature in urban areas is higher than in the surrounding areas of the city. This phenomenon is evident in cities with rapid population growth such as León, Mexico City, and this excess heat was recently reported in Morelia. The effect of UHI is important because it can cause negative effects on human health and could be related to mortality. Due to this, in this study the relationship of temperature and

rainfall between two monitoring sites in Morelia was analyzed; one located in the center, and another to the southwest outside the city.

Among other results, it is reported that the urban area is warmer than the surrounding area of the city, while rainfall is more abundant outside than in the center of Morelia, which can be attributed to the continuous growth of the city and the population. For the year 2024, an increase in temperature to 19.9°C and rainfall to 286.47 mm is expected in the urban center of the city compared to 2023.

Keywords: heat island, diagnostic model, bioclimate.

Introducción

La climatología urbana es una ciencia que data de principios del siglo XIX, con los primeros estudios de (Howard, 1833 en Jáuregui, 1995), quién publicó el hallazgo de una masa de aire tibio sobre la capital de Inglaterra. Otros estudios realizados en Francia, Alemania y Estados Unidos han examinado las variaciones del clima derivado de la sustitución de superficies naturales por elementos de tejido urbano (Renou, 1855; Kratzer, 1956; Duckworth y Sandberg, 1954 en Jáuregui, 1995). A partir de la década de los años 60' del siglo pasado abundaron los trabajos de climatología urbana en las latitudes templadas, con base en el contraste térmico ciudad/campo conocido como isla de calor urbano (UHI). Luego surgieron los primeros estudios sobre el clima urbano en las ciudades tropicales, como resultado del rápido crecimiento de las áreas urbanas en los países tropicales en desarrollo (Bahl y Padmanabhamurty, 1979; Sham, 1973; Jáuregui, 1971 en Jáuregui, 1995); pero también, podría atribuir-

se a cambios en la cobertura del suelo por las actividades humanas (Palme, 2021).

El efecto de la UHI es importante porque aunado a la radiación solar tanto de paredes como de pavimentos en los meses cálidos da por resultado mayor molestia ambiental como sudoración, escalofrío, estado de ánimo, etc., por ello Jáuregui, (1995) infirió hace tiempo como benigno el bioclima de la ciudad de México. En la actualidad, se sabe puede ocasionar efectos negativos en la salud humana y podría estar relacionado con la mortalidad (de Schrijver *et al.*, 2021). También el proceso de urbanización reduce las fuentes naturales de vapor de agua, pero al mismo tiempo la ciudad produce vapores derivados de los procesos de combustión por fuentes fijas y móviles (Jáuregui, 1995) por ejemplo Carlón-Allende y Mendoza, (2007) analizaron los registros de la temperatura y precipitación del periodo 1947-2005 y 1947-2004 respectivamente, de las estaciones situadas en la llanura de la cuenca del Cuitzeo como son Cuitzeo, Cuitzillo Grande y Morelia (centro), entre las cuales Morelia presentó las temperaturas más altas y lluvias más bajas, lo cual comentan los autores, podría atribuirse al gran desarrollo urbano.

Análogamente, del periodo 2013-2021 (Correa-García, 2022) reportó que la temperatura en el área urbana es más cálida que en las afueras de Morelia y la época de lluvias, es más copiosa en los alrededores, que en el área urbana de dicha ciudad. Debido a esto, en este trabajo se revisan los parámetros meteorológicos temperatura (TEMP), humedad relativa (HR), radiación solar (RS), precipitación pluvial (RAIN), velocidad (WS) y dirección del viento (WD) registradas en 2 estaciones de monitoreo atmosférico, 1 instalada en el

área urbana y otra en la periferia de la capital del estado de Michoacán del periodo 2022-2023. Lo anterior tiene como propósito evaluar la relación entre las variables ya mencionadas, y generar un modelo de diagnóstico que permita determinar los valores futuros de la temperatura y precipitación pluvial a corto plazo, el cual podría ser de utilidad como guía de referencia, en la elaboración de Políticas de Protección al Medio Ambiente Urbano de Morelia.

Metodología

Los datos de los años 2022-2023 de las variables meteorológicas citadas previamente, corresponden a las casetas de monitoreo atmosférico situadas en; una en Palacio Municipal de Morelia (PMN) (**Figura, 1A**), y otra que está ubicada en las instalaciones de la Escuela Nacional de Estudios Superiores de la Universidad Nacional Autónoma de México (ENES-UNAM) sede Morelia (**Figura, 1B**). La información para el sitio de PMN, se obtuvo del Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire (SINAICA) adscrita al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) del Gobierno de México.

Disponible en <https://www.sinaica.inecc.gob.mx>, y para la estación ENES-UNAM, los datos se adquirieron de la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos de la UNAM (RUOA) disponible en <https://www.ruoa.unam.mx>.

El área de estudio es el centro urbano de Morelia (Figura, 1), la información se arregló en una hoja de cálculo por mes y día del año. En seguida, se validó la información bajo el criterio del 75% de suficiencia diaria; es decir, los días que reunieron 18 de 24 registros por día. De esta forma se determinó el tamaño de la muestra "X"



Imagen (A)



Imagen (B)

Figura 1. Estaciones de monitoreo atmosférico en Morelia, Michoacán. En A) Palacio Municipal del centro de la ciudad, y B) ENES-UNAM al suroeste en las inmediaciones de Morelia.

con respecto a la muestra esperada del 100% para el año y mes de 8,760 y 744 datos respectivamente (Tabla, 1).

Equipo de monitoreo automático				
Datos		Malo	Regular	Bueno
Válidos	Horarios	Insuficiente	Suficiente	Acceptable
		<50%	≥50%; <75%	≥75%
Año	No bisiesto	0 a 4,300	4,340 a 6,520	6,530 a 8,760
Año	Bisiesto	0 a 4,340	4,360 a 6,540	6,570 a 8,784
Mes/día	31	0 a 365	369 a 550	560 a 744
Mes/día	30	0 a 350	360 a 535	540 a 720
Mes/día	28	0 a 330	335 a 500	505 a 672
Mes/día	Bisiesto			
	29	0 a 340	345 a 515	520 a 696

Tabla 1. Categorías de desempeño anual de una estación de monitoreo atmosférico.

Fuente: Reproducido de (INE, S/F) y modificada en este estudio por el autor.

Después, se realizaron análisis de correlación y regresión para examinar la relación entre las variables meteorológicas ya mencionadas, y de esta forma proponer un modelo de regresión lineal para medir la temperatura y cantidad de lluvia con un año de antelación. Enseguida, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson, que es un índice adimensional localizado entre -1,0 y 1,0, el cual refleja el grado de dependencia lineal entre

dos conjuntos de datos. Su fórmula se escribe como.

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \dots\dots\dots (1)$$

Por otra parte, si X e Y son dos variables en cuestión, un diagrama de dispersión muestra la localización de los puntos (X, Y) sobre un sistema rectangular de coordenadas. Si todos los puntos del diagrama parecen estar en una recta, la correlación es lineal entre las variables; sin embargo, aunque las variables estén relacionadas, no siempre se extienden sobre una línea recta y se dice que es una relación no lineal. Una línea recta, es el tipo más sencillo de una curva de ajuste (Spiegel, 1991) su ecuación puede escribirse:

$$Y = a_0 + a_1 X \dots\dots\dots \text{Ecuación (2)}$$

Dados cualesquiera dos puntos (X₁, Y₁) y (X₂, Y₂) sobre la recta, se pueden determinar las constantes a₀ y a₁. La ecuación así obtenida se puede expresar.

$$Y - Y_1 = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} (X - X_1)$$

Donde

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

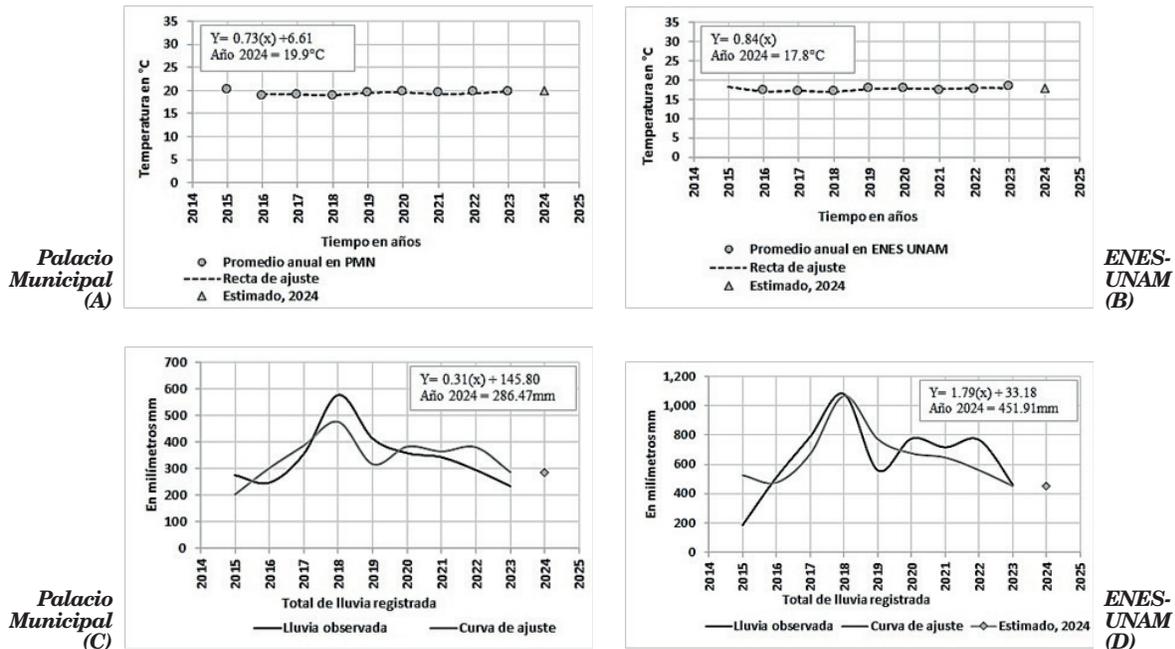


Figura 2. Promedio anual de temperatura y total de precipitación pluvial registrada en Morelia, Michoacán. En A y C; B y D) centro y periferia de la ciudad respectivamente. Fuente: Del periodo 2015-2021 Reproducido de (Correa-García, 2022).

Se llama la pendiente de la recta y representa el cambio en Y dividido por el correspondiente cambio en X. Cuando la ecuación se escribe en la forma (2), la constante a_1 es la pendiente m. La constante a_0 , que es el valor de Y cuando X= 0, se nombra la Y-intersección. El software estadístico Infostat versión libre 2008 usado este estudio, tiene los módulos que efectúan el análisis mencionado anteriormente.

Resultados

En términos generales el coeficiente de correlación de Pearson, fue negativo entre la lluvia y la temperatura en -0.50 y -0.64 en PMN y ENES-UNAM con p= 0.17 y p= 0.08 respectivamente, mientras que la relación entre la lluvia y humedad relativa fue débil cercana a cero, y no significativa en ambos sitios de monitoreo. Por otra parte la asociación entre la temperatura, humedad relativa y lluvia entre los sitios

de muestreo fue positiva en ± 0.74 (Tabla, 2). Con estos valores se plantearon los siguientes modelos de regresión

El primero, supone que la temperatura media anual en PMN es función de la temperatura registrada en la estación ENES-UNAM con factor de determinación $R = 0.61$, $R^2 = 0.55$ nivel de confianza $p=0.0214$ y error estándar de 0.24°C . (Figura, 2A). A la inversa la temperatura de la ENES-UNAM ahora depende de la temperatura obtenida en PMN, siendo los valores de correlación similares al modelo propuesto primeramente, pero con un error estándar de 0.27°C (Figura, 2B).

Igualmente, el tercer modelo propone que la lluvia observada en PMN también depende de la precipitación pluvial registrada en la ENES-UNAM con coeficiente de correlación $R = 0.55$, $R^2 = 0.48$ nivel de confianza

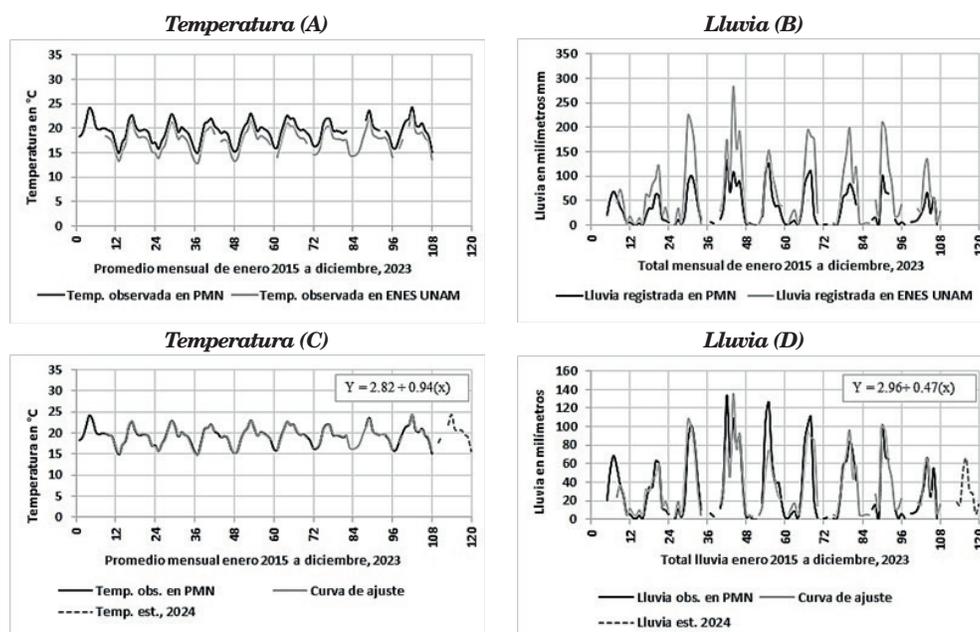


Figura 3. Promedio mensual de la temperatura y total de precipitación pluvial registrada en Morelia, Michoacán. En A y B) Sobre posición de la temperatura y lluvia en el centro y alrededor de Morelia; C y D) Modelo de regresión propuesto para el centro histórico de Morelia. Fuente: Del periodo 2015-2021 Reproducido de (Correa-García, 2022).

$p=0.0227$ y error estándar de 0.11mm (**Figura, 2C**). A la inversa, la lluvia en las afueras de la ciudad depende de la misma, registrada en el centro de Morelia (**Figura, 2D**). Así que, los modelos antes descritos indican que la temperatura en PMN subirá a 19.9°C y en la ENES UNAM bajará a 17.8°C respectivamente; mientras que la precipitación pluvial, subirá a 286.47mm y bajará a 451.91mm en PMN y ENES UNAM en 2024.

	1	2	3	4	5	6	
	Temp PMN	Hr PMN	Lluvia PMN	Temp ENES	Hr ENES	Lluvia ENES	
1	Temp PMN	1	0.49	0.17	0.02	0.45	0.09
2	Hr PMN	0.27	1	0.93	0.07	0.04	0.18
3	Lluvia PMN	-0.50	-0.03	1	0.19	0.28	0.02
4	Temp ENES	0.78	-0.66	-0.52	1	0.76	0.09
5	Hr ENES	-0.31	0.74	0.44	-0.13	1	0.55
6	Lluvia ENES	-0.60	-0.49	0.74	-0.64	0.25	1

Tabla 2. Matriz de correlación entre los parámetros meteorológicos registrados en dos sitios de monitoreo en Morelia, Michoacán.

Por otra parte, la (**Figura, 3**) presenta la temperatura media mensual y precipitación

pluvial total registrada en PMN, sobrepuesta con las mismas variables correspondientes al sitio ENES-UNAM; como se puede apreciar, el centro es más cálido que las inmediaciones de Morelia (**Figura, 3A**), pero la lluvia es más copiosa conforme se aleja del centro histórico de la ciudad (**Figura, 3B**).

Asimismo, el quinto modelo propuesto (**Figura, 3C**) confirma otra vez la dependencia de la temperatura media mensual registrada en PMN de los valores observados en la estación ENES UNAM, con factor de correlación $R = 0.99$, $R^2 = 0.99$ nivel de confianza $p < 0.0001$ y error estándar de 0.01°C (**Figura, 3C**), mientras que la precipitación pluvial del centro urbano, también depende de la lluvia registrada en la estación ENES UNAM, con factor de correlación $R = 0.79$, $R^2 = 0.79$, nivel de confianza $p < 0.0001$ y error estándar de 0.03mm (**Figura, 3D**).

A la inversa, el séptimo y octavo modelo para la temperatura y lluvia mensual registrada en la ENES UNAM dependen ahora, de los valores obtenidos en PMN (**Figura, 4A y B**), siendo los factores de correlación parecidos a los descritos previamente para PMN (**Figura, 3C y D**), lo cual parece razonable, debido a la distancia, el entorno físico y las actividades que se realizan entre el centro histórico y los alrededores de Morelia.

Estas últimas descripciones, muestran que la temperatura media aumentará en la mayoría de los meses del año 2024, en un rango de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, sobre todo a partir del segundo semestre en Palacio Municipal, mientras que en la ENES-UNAM; el calor bajará, en la segunda mitad del año con un rango parecido al de PMN. Sin embargo, conviene mencionar, que las temperaturas de enero 14.6°C y abril 20.0°C señaladas en negrita, de la ENES UNAM corresponden al año 2022 por falta de datos en 2023 (**Tabla, 3**), y a partir de estas cifras, se estimaron los valores de PMN, también indicados en negrita, aplicando la ecuación anotada en la (**Figura, 3C**).

Asimismo, en la estación de PMN la precipitación pluvial subirá en los primeros 5 meses del año; julio, septiembre y diciem-

bre podrían ser los meses más lluviosos con respecto al 2023; mientras que en la ENES UNAM, la lluvia aumentará en el primer trimestre, junio y noviembre del 2024; octubre, podría ser el mes más lluvioso del año (**Tabla, 3**). Igualmente, los valores de la ENES UNAM señalados en negrita de enero, febrero y abril 4.7mm , 3.7mm y 51.10mm respectivamente, corresponden al año 2022 por falta de datos en 2023, o bien que en dichos meses no se registró evento de lluvia (**Tabla, 3**), mientras que los meses de enero y diciembre, también señalados en negritas 0.6mm y 0.61mm en el sitio PMN corresponden al año 2020 y 2022 por falta de información en 2023, o bien que en dichos meses no se registró evento de lluvia y a partir de estas cifras se estimaron los valores de PMN y el sitio de la ENES UNAM, también indicados en negrita, aplicando la ecuación anotada en la (**Figura, 3D**) y (**Figura, 4B**).

Evaluación de los modelos

La (**Tabla, 3**) presenta también en la última columna, el valor residual (valor estimado-valor observado); el tono gris indica que la tendencia se cumplió, mientras que el tono gris oscuro significa que la información fue insuficiente para evaluar las predicciones de los modelos, con los valores observados hasta el mes de abril del

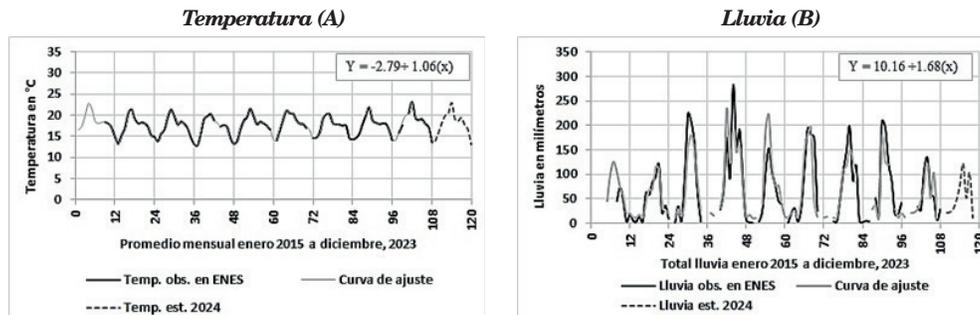


Figura 4. Promedio mensual de la temperatura y total de precipitación pluvial registrada en Morelia, Michoacán. En A y B) Modelo de regresión propuesto para los alrededores de Morelia. Fuente: Del periodo 2015-2021 Reproducido de (Correa-García, 2022).

Estación PMN	Mes del Año	Temperatura observada	Temperatura estimada	Límite de -95% CL	confianza 95% CL	Temperatura observada	Valor residual	Estación ENES UNAM	Mes del Año	Temperatura observada	Temperatura estimada	Límite de -95% CL	confianza 95% CL	Temperatura observada	Valor residual
		Año 2023	Año 2024	Año 2024		Año 2023	Año 2024			Año 2024					
A	1	15.9	16.5			16.6	-0.1	B	1	14.6	14.0	13.9	14.1	14.9	-0.9
	2	17.8	17.7	17.7	17.8	18.2	-0.5		2	15.9	16.0	16.0	16.1	16.0	0.0
	3	19.9	19.3	19.3	19.4	20.5	-1.2		3	17.6	18.2	18.2	18.3	18.6	-0.3
	4	21.5	21.6			22.8	-1.2		4	20.0	19.9	19.9	20.0	21.5	-1.6
	5	22.0	22.0	22.0	22.1				5	20.5	20.5	20.4	20.5		
	6	24.3	24.5	24.3	24.6				6	23.1	22.9	22.8	23.0		
	7	20.7	20.9	20.8	21.0				7	19.3	19.1	19.0	19.1		
	8	20.3	20.5	20.5	20.6				8	18.9	18.7	18.6	18.7		
	9	21.0	20.7	20.7	20.8				9	19.1	19.4	19.3	19.5		
	10	19.4	19.6	19.5	19.6				10	17.9	17.7	17.7	17.8		
	11	18.4	18.9	18.9	19.0				11	17.2	16.7	16.6	16.7		
	12	15.1	15.6	15.5	15.7				12	13.6	13.2	13.1	13.3		

Estación PMN	Mes del Año	Lluvia observada	Lluvia estimada	Límite de -95% CL	confianza 95% CL	Lluvia observada	Valor residual	Estación ENES UNAM	Mes del Año	Lluvia observada	Lluvia estimada	Límite de -95% CL	confianza 95% CL	Lluvia observada	Valor residual
		Año 2023	Año 2024	Año 2024		Año 2023	Año 2024			Año 2024					
A	1	1.3	5.2					B	1	4.7	12.35	2.44	22.26	1	11.35
	2	0.6	4.7						2	3.7	11.20			20.1	-8.90
	3	6.30	7.55	2.51	12.60				3	9.80	20.76	11.51	30.01		
	4	7.20	27.0						4	51.10	22.28	13.14	31.41	0.6	21.68
	5	11.40	18.56	14.27	22.85				5	33.30	29.34	20.70	37.98		
	6	22.40	15.52	11.04	19.99				6	26.80	47.84	40.22	55.46		
	7	39.60	53.64	49.38	57.90				7	108.20	76.78	69.64	83.91		
	8	66.10	65.86	60.77	70.95				8	134.30	121.35	112.15	130.55		
	9	24.20	31.11	27.31	34.91				9	60.10	50.87	43.37	58.37		
	10	55.10	27.88	24.00	31.76				10	53.20	102.85	94.85	110.85		
	11	0.20	6.06	0.89	11.22				11	6.60	10.50	0.44	20.56		
	12	0.61	16.17	11.74	20.61				12	28.20	11.2				

Tabla 3. Resumen de los valores estimados para el año 2024, de la temperatura media y total de precipitación pluvial mensual en 2 sitios de monitoreo de la ciudad de Morelia, Michoacán.

Nota: las cifras en tono gris claro, significa que el valor predicho se cumplió; el tono gris oscuro, significa muestreo insuficiente <50% (no se toma en cuenta para evaluar tendencia).

2024. Para la temperatura de los 4 valores pronosticados en PMN y la ENES-UNAM se cumplieron 2 y fallaron 2; sin embargo, el valor observado de 18.6°C en marzo 2024 en la ENES UNAM, resultó de un muestreo por debajo del 50%, y aun así la temperatura estimada se cumplió. Con relación a la precipitación pluvial, también en la ENES UNAM se cumplieron 2 de 4 posibilidades, mientras que en el sitio de Palacio Municipal no se halló información válida en el primer cuatrimestre del año debido a fallas del pluviómetro que cuantifica la lluvia, por ejemplo del 01 al 10 de enero se registró el valor de 17.99mm y 18mm repetidamente.

2Del 16 al 29 de febrero, del 01 al 13 de marzo y recientemente del 22 al 24 de abril del 2024 según la información recolectada y publicada por la plataforma SI-NAICA disponible en <https://www.sinaica.inecc.gob.mx>.

Discusión

La (Tabla, 4) presenta la temperatura media mensual y anual de 2015 hasta abril 2024, registrada en los 2 sitios de monitoreo de Morelia; como se puede ver, existe una diferencia de ±1.5°C entre el centro y la periferia de la ciudad. En el centro el año más cálido y frío, fue el 2015 y 2018 respectivamente, con valor mínimo de 2.7°C en 2016 y máximo de 35°C en 2018; sin embargo, la temperatura media más alta de 24.2°C se registró en abril 2015 y junio 2023. La temperatura más fría ocurrió en enero 2016 con 14.9°C; nótese, que el primer cuatrimestre del 2024 mostró un fuerte incremento con respecto al 2023, de los cuales las estimaciones presentadas en este estudio se aproximaron bien con los valores observados de enero y abril 2024 en el sitio PMN.

En la periferia de Morelia, el año más cálido y frío, fue el 2023 y 2018 respec-

Año	Temperatura													Promedio Año	Valor mínimo	Valor máximo
	Meses del año															
Estación Palacio Municipal																
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre				
1 2015	18.3	19.1	21.5	24.2	23.1	20.3	19.7	20.0	19.9	19.5	19.1	16.6	20.1	8.1	33.8	
2 2016	14.9	17.1	18.2	21.6	22.7	20.5	19.5	19.6	19.7	19.1	17	17.1	18.9	2.7	32.5	
3 2017	15.8	17.4	18.7	21.1	22.9	21.6	19.2	20.2	19.6	19.0	17.4	15.5	19.0	4.3	33.6	
4 2018	15.0	17.9	20.9	21.3	22	20.4	19.9	19.0	19.3	18.8	16.4	15.2	18.8	3.3	35.0	
5 2019	15.8	18.5	20.3	21.2	23	21.3	19.4	20.2	19.9	19.4	18.4	16.2	19.5	6.5	32.3	
6 2020	16.0	18.7	20.8	22.6	21.9	22.0	20.3	19.6	19.7	19.1	18.2	16.4	19.7	5.9	32.4	
7 2021	16.4	17.6	20.9	22	21.8	19.5	19.5	19.3	19.0	19.4			19.5	4.3	32.0	
8 2022				21.7	23.6	20.5	19.8	19.5		19.3	18.3	16.1	19.8	6.6	33.7	
9 2023	15.9	17.8	19.9	21.5	22.0	24.3	20.7	20.3	21.0	19.4	18.4	15.1	19.7	5.0	34.9	
10 2024	16.6	18.2	20.5	22.8										11.3	32.8	
± % aumento	-9	-5	-5	-6	-5	20	5	2	6	-1	-4	-9	-2			
± °C aumento	-1.7	-0.9	-1.0	-1.4	-1.1	4.0	1.0	0.3	1.1	-0.1	-0.7	-1.5	-0.4			

Año	Temperatura													Promedio Año	Valor mínimo	Valor máximo
	Meses del año															
Estación ENES UNAM																
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre				
1 2015									18.4	18.0	17.2	14.9				
2 2016	13.3	15.2	16.8	20.2	21.4	19.2	18.1	18.2	18.1	17.3	15.2	14.9	17.3	1.1	31.6	
3 2017	13.9	15.6	16.6	19.4	21.3	19.9	17.8	18.5	18.0	17.0	14.8	13.2	17.2	1.2	31.0	
4 2018	12.9	15.7	19.1	19.8	20.3	18.8		17.3	17.7	17.2	14.6	13.2	17.0	0.9	33.2	
5 2019	13.9	16.6	18.7	19.6	21.5	19.8	17.8	18.5	18.1	17.6	16.6	14.2	17.8	4.5	30.3	
6 2020	14.1	16.6	19.1	21.1	20.4	20.4	18.8	18.0	17.9	17.0		14.6	17.9	3.0	30.1	
7 2021	14.7	15.9	19.1	20.2	20.2	18.1	17.8	17.8	17.5	17.6	14.6	14.3	17.3	2.3	30.1	
8 2022	14.6	15.6	17.9	20.0	21.8	18.8	18.2	17.9	18.0	18.0	16.6	14.0	17.6	4.1	31.5	
9 2023		15.9	17.6		20.5	23.1	19.3	18.9	19.1	17.9	17.2	13.6	18.3	3.5	32.7	
10 2024	14.9	16.0	18.6	21.5										9.0	31.3	
± % aumento	13	5	5	6	-4	21	7	3	4	0	0	-9	6			
± °C aumento	1.7	0.8	0.8	1.3	-0.9	4.0	1.2	0.6	0.8	-0.1	0.0	-1.3	1.0			

Tabla 4. Resumen del promedio mensual y por año de la temperatura en °C en 2 sitios de monitoreo de la ciudad de Morelia, Michoacán.

Fuente: Del periodo 2015-2021 Reproducido de (Correa-García, 2022).

Nota: las cifras en tono gris claro, significa que el muestreo fue ≥50% y <75%; el tono gris oscuro, significa muestreo insuficiente <50% (no se toma en cuenta para evaluar tendencia).

tivamente, con valor mínimo de 0.9°C en 2018 y máximo de 33.2°C también en 2018; sin embargo, la temperatura media más alta de 21.5°C se registró en abril 2024, mayo 2022 con 21.8°C y junio 2023 con 23.1°C. La temperatura más fría ocurrió en enero 2018 con 12.9°C; nótese, que el primer cuatrimestre del 2024 mostró también fuerte incremento con respecto al 2023 y con relación a enero y abril 2022, de los cuales las estimaciones se aproximaron bien con los valores observados de febrero y marzo 2024.

Por otra parte, la (Tabla, 5) presenta la precipitación pluvial mensual y anual de 2015 hasta abril 2024, registrada en los 2 sitios de monitoreo de Morelia; como se puede ver, existe una diferencia grande entre el centro y la periferia de la ciu-

dad. En el centro el año más lluvioso fue el 2018 y 2023 con menos lluvias; desde el verano 2018 al presente, se denota una caída prolongada de la temporada de lluvias. Además, al inicio del otoño e invierno y primavera se ha presentado un incremento de la lluvia, pero sin alcanzar los registros observados del 2018, y los valores estimados al cuatrimestre 2024 no fue posible evaluarlos por falta de datos en el centro de la ciudad. En el caso de la ENES-UNAM, el año 2018 también fue de mayor precipitación pluvial y 2015 con menos lluvia, y a partir del verano 2018 ha bajado notablemente la lluvia; al final del verano, e inicio de otoño e invierno y la primavera se observa un incremento de la lluvia, pero sin alcanzar los valores registrados en 2018. Pese a esto, la lluvia registrada del 2023 mantiene la tendencia

Año	Precipitación pluvial												Cantidad Año	Dias con lluvia		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre				
1	2015					20.7	54.1	68.6	56.2	37.6	25.5	6.5	5.9	275.1	79	
2	2016	1.6	0.9	4.10	0.9	19.1	34.6	34.8	62.8	60.1	12.6	10	5.7	247.2	117	
3	2017		0.7	11.3	2.3	19.9	85.5	101.2	82.1	43	10.1			356.1	96	
4	2018	6.3	3.2		12.2	37.4	133.5	67.3	109.2	80.1	89.3	36.8	2.2	577.5	153	
5	2019	4.1	0.1	0.20		17.5	106.8	126	61.2	38.9	39.7	16.8	1.9	413.2	99	
6	2020	1.4	6	8.9	1.2	25	81.7	101.2	110.2	20.2	1.8		1.0	358.6	96	
7	2021	1.8		0.7	0.3	22.5	57.9	63.4	83.9	70.2	42.1			342.8	106	
8	2022			11.0	15.5	0.2	99.5	68.4	64.8	16.5	11.5	0.9	6.1	294.4	83	
9	2023	1.3		6.30	7.2	11.4	22.4	39.6	66.1	24.2	55.1	0.2		233.8	87	
10	2024															
± % aumento		-19	567	54	700	-45	-59	-42	18	-36	116	-97	3	-15		
± mm aumento		-0.3	5.1	2.20	6.3	-9.3	-31.7	-29	9.9	-13.4	29.6	-6.3	0.2	-41.3		

Año	Precipitación pluvial												Cantidad Año	Dias con lluvia		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre				
1	2015								45.2	72.5	46.5	3.2	18.4	185.8	41	
2	2016	5.7	2.8	14.6	3.3	62.7	57.9	83.0	95.2	119.7	21.4	36.3	9.1	511.7	140	
3	2017		0.9	34.6	4.7	93.9	223.5	207.0	162.0	59.5	3.2			789.3	119	
4	2018	0.7			28.5	68.1	174.7	92.9	282.2	156.9	190.4	80.1	6.8	1081.3	153	
5	2019	1.9	0.4		3.5	25.6	105.4	152.9	105.8	76.2	45.5	38.5	3.9	559.6	108	
6	2020	1.4	20.6	30.2	3.2	30.9	114.5	193.7	181.5	175.0	24.8		0.1	775.9	106	
7	2021			4.1	2.7	48.2	105.5	147.1	197.6	87.6	117.2	4.2	2.2	716.4	125	
8	2022	4.7	3.7		51.1	17.7	209.0	195.6	122.1	86.1	17.7	18.7	41.4	767.8	117	
9	2023			9.8		33.3	26.8	108.2	134.3	60.1	53.2	6.6	28.2	460.5	97	
10	2024	1.0	20.1		0.6											
± % aumento		-82	618	-33	-82	-47	-54	30	197	-17	14	106	53	148		
± mm aumento		-4.7	17.3	-4.8	-2.7	-29.4	-31.1	25.2	89.1	-12.4	6.7	3.4	9.8	274.7		

Tabla 5. Resumen de cantidad mensual y anual de la precipitación pluvial en mm en 2 sitios de monitoreo de la ciudad de Morelia, Michoacán. Fuente: Del periodo 2015-2021 Reproducido de (Correa-García, 2022) y adaptada en el presente estudio.

al aumento en las afueras de la ciudad, y los pronósticos del primer cuatrimestre 2024 mostraron una sobreestimación y subestimación con respecto de los valores observados en febrero y abril 2024.

Estos resultados pueden considerarse aceptables, porque las predicciones no están exentas de fallar a causa de fac-

tores de mantenimiento y calibración de los equipos de medición; sin embargo los valores residuales del modelo para la temperatura y lluvia (**Figura, 3C; Figura, 4B**), se aproximaron bien al principio de normalidad (**Figura, 5**). Los otros modelos no se presentan en ningún apartado por lo amplio y extenso del presente estudio.

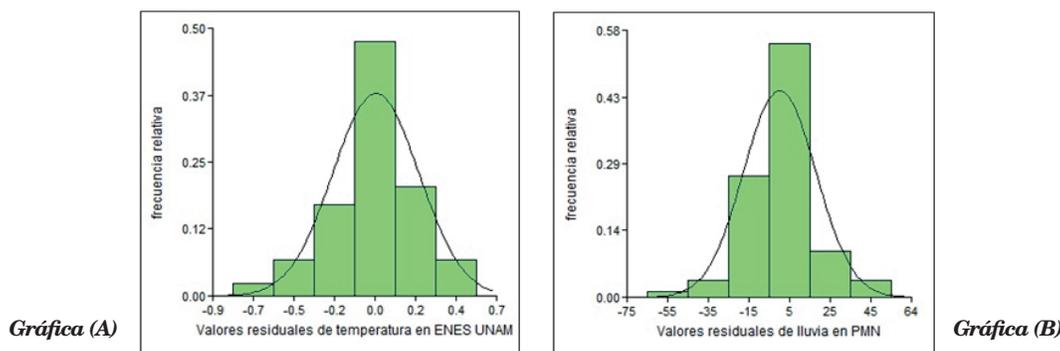


Figura 5. Histograma de los valores residuales obtenidos del modelo de temperatura y precipitación pluvial mensual. En A) estación de monitoreo de la ENES UNAM y B) Palacio Municipal de Morelia.

Año- mes	Año más frío			Año más caluroso			Año con menos lluvia			Año con mas lluvia		
	INEGI 1981	PMN 2018	ENES UNAM 2018	INEGI 1997	PMN 2015	ENESUNAM 2023	INEGI 1979	PMN 2023	ENES UNAM 2023	INEGI 1976	PMN 2018	ENES UNAM 2018
1 Enero	12.3	15	12.9	15.9	18.3		0	1.3		0	6.3	0.7
2 Febrero	14.8	17.9	15.7	17.5	19.1	15.9	29			0.7	3.2	
3 Marzo	17.3	20.9	19.1	20.4	21.5	17.6	0	6.3	9.8	22.1		
4 Abril	20.2	21.3	19.8	20.5	24.2		0	7.2		7	12.2	28.5
5 Mayo	20.5	22	20.3	21.4	23.1	20.5	9.2	11.4	33.3	35	37.4	68.1
6 Junio	19.6	20.4	18.8	22.9	20.3	23.1	3.2	22.4	26.8	200	133.5	174.7
7 Julio	16.5	19.9		21.4	19.7	19.3	184.7	39.6	108.2	270.4	67.3	92.9
8 Agosto	18.3	19	17.3	21.5	20	18.9	94.2	66.1	134.3	147.9	109.2	282.2
9 Septiembre	17	19.3	17.7	21.5	19.9	19.1	127.1	24.2	60.1	165.1	80.1	156.9
10 Octubre	17	18.8	17.2	19.6	19.5	17.9	0	55.1	53.2	171.6	89.3	190.4
11 Noviembre	15.4	16.4	14.6	20	19.1	17.2	1.4	0.2	6.6	35.5	36.8	80.1
12 Diciembre	13.8	15.2	13.2	16.1	16.6	13.6	38.4		28.2	4.7	2.2	6.8
Núm. datos	12	12	11				12	10	9	12	11	10
Promedio	16.9	18.8	17.0	19.9	20.1	18.3	487.2	233.8	460.5	1060	577.5	1081.3

Tabla 6. Resumen comparativo de la temperatura y precipitación pluvial en °C y mm registrada en 2 sitios de monitoreo de la ciudad de Morelia, Michoacán. Fuente para la ciudad de Morelia por (INEGI, 2012, 2016; 2021).

Por otra parte, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2012, 2016; 2021) reporta que los años más fríos y cálidos en Morelia fueron 1981 y 1997 respectivamente (**Tabla, 6**); esta información, se aproxima bien con el promedio observado en 2018 de la ENES-UNAM (cifras en tono gris); esto significa que 2018 fue tan frío como 1981, lo que indica que esta área semirural apartada de Morelia, todavía tiene un ambiente natural saludable. Contario a esto, el promedio registrado en PMN en 2018 fue diferente lo cual podría ser la evidencia de que la temperatura del centro es más alta (1.9°C) que en 1981 (hace 42 años) y actualmente 1.8°C más cálida que en la ENES-UNAM.

Asimismo, el año 1997 se aproximó bien con el promedio observado del 2015 en PMN, lo que significa que el año 2015 podría ser ligeramente el segundo año más caluroso que 1997, al menos en el centro de la ciudad. Esta última descripción, podría confirmarse con los reportes de (Correa-García, 2022) quien analizó, la temperatura entre 4 sitios de monitoreo de Morelia; los resultados mostraron que

en el sitio PMN, la temperatura fue más alta (19.5°C), que en Laboratorio Estatal de Salud (19.0°C), Ciudad Universitaria (18.9°C) y la ENES-UNAM (17.7°C) en el año 2017.

Por otra parte, 2023 podría considerarse el año con menos precipitación pluvial en PMN, con respecto del reportado para Morelia en 1979 por (INEGI, 2016; 2021); sin embargo para el sitio ENES-UNAM la cantidad de lluvia fue sutilmente parecida (**Tabla, 6**), mientras que la lluvia más abundante se registró en 1976 (INEGI, 2012, 2016; 2021) y fue ligeramente superada en el año 2018 en la ENES-UNAM. Aun cuando en PMN también se registró la mayor cantidad de lluvia en 2018, hoy en día en el centro histórico de Morelia la lluvia ha disminuido (**Tabla, 6**). Así que, las diferencias entre la temperatura y época de lluvias, observadas entre el centro y la periferia de la ciudad podrían atribuirse al efecto del crecimiento urbano; el cual en **1970** pasó de **1,377** Hectáreas (Has) a **12,000** Has en el **2004** (Vieyra y Larrazábal, 2014), mientras que la población en **1970** fue de **218,083** Habitantes (Hab),

en **2020** alcanzó la cifra de **825,585** Hab., (Correa-García, 2020; 2022). Además, de un parque vehicular de **23,736** unidades que había en **1980** a **548,414** vehículos de motor registrados para Morelia en el año 2017 según informó el (INEGI, 2019) disponible en <https://www.inegi.gob.mx>., mientras que para la ENES-UNAM, podría atribuirse a su entorno semirural con una amplia cobertura vegetal y arbórea.

Conclusiones

La temperatura del centro urbano de la ciudad de Morelia, es más cálida, que la registrada unos 15 kilómetros, al suroeste de la capital del estado de Michoacán. Esta diferencia es de $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$, mientras que la temporada de lluvias es más abundante en los alrededores, que en el centro de Morelia.

Los modelos propuestos en este estudio, sugieren que la temperatura y precipitación pluvial se manifiestan de diferente modo e intensidad, por causa probable del crecimiento de la mancha urbana, incremento poblacional y del parque vehicular, así como las diversas actividades que se realizan en la ciudad de Morelia. Por lo que se recomienda, a las autoridades encargadas del tema fortalecer la política de limitaciones al crecimiento urbano de Morelia.

La evaluación de los modelos para la temperatura, mostró un fuerte incremento durante el primer cuatrimestre del 2024 en ambos sitios de monitoreo, siendo mayor en el centro de Morelia; el mes de abril, fue el segundo año más caluroso con 22.8°C , pero sin alcanzar el valor de 24.2°C registrado en el año 2015. En la ENES UNAM, el mes de abril 2024 fue el año más caluroso con 21.5°C desde que se iniciaron las mediciones en 2015. Pero habrá que espe-

rar que finalice el año 2024, para evaluar la eficiencia de los modelos propuestos.

La evaluación de los modelos para la precipitación pluvial, en el primer cuatrimestre del 2024 no se pudo efectuar en Palacio Municipal por fallas del pluviómetro. Se recomienda a las autoridades encargadas del tema, cerrar los canales de transmisión cuando los equipos fallan, evitando con esto la difusión de información errónea.

La comparación de la estación meteorológica de Morelia, con la información de las casetas de monitoreo atmosférico ubicada en Palacio Municipal latitud norte $19^{\circ} 42' 06''$ longitud oeste $101^{\circ} 11' 43''$ y ENES-UNAM latitud norte $19^{\circ} 64' 93''$ longitud oeste $101^{\circ} 22' 21''$ y una altitud de 1, 936 msnm, es válida porque se encuentran aproximadas en las coordenadas geográficas de latitud norte $19^{\circ} 42' 08''$ longitud oeste $101^{\circ} 11' 08''$ y una altitud de 1, 920 msnm.

En la ENES UNAM, el mes de febrero sobresalió con un incremento de 20.1mm, pero sin alcanzar la cantidad de lluvia de 20.6mm registrada en el año 2020, y abril se distinguió por una cantidad mínima de lluvia, desde que se iniciaron las mediciones en 2015. También habrá que esperar, que termine el año 2024 para evaluar la eficacia de los modelos de diagnóstico. En ambos sitios de monitoreo, el año más lluvioso fue 2018; desde entonces, la precipitación pluvial tiende a disminuir.

Los pronósticos presentados en este trabajo para el 2024, no están exentos de fallar, debido a los procesos de mantenimiento y calibración de los equipos, pero pueden considerarse como una guía de investigación a corto plazo.

Bibliografía

Bahl, H. D. y B, Padmanabhamurty. (1979). Heat island studies at Delhi, *Mausam*, 30, pp. 119-122

Carlón-Allende, T. y Mendoza, E. M. (2007). Análisis hidrometeorológico de las estaciones de la cuenca del lago de Cuitzeo. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* ISSN 0188-4611, Núm. 63, 2007, pp. 56-76 DOI: 10.14350/ig.29910 · Source: DOAJ

Correa-García., A (2022). Contaminación atmosférica y meteorología en Morelia Michoacán, México. Una década evaluando la atmosfera urbana de la ciudad de Morelia. Publicado en noviembre 14, 2022. Pp. 228. Editorial Académica Española. Printed in the U.K. ISBN 978-620-2-25130-3

de Schrijver, E., Folly, C.L., Schneider, R., Royé, D., Franco, O.H., Gasparrini, A., Vicedo-Cabrera, A.M. (2021). A comparative analysis of the temperature-mortality risks using different weather datasets across heterogenous regions. *GeoHealth* 5, e2020GH000363. <https://doi.org/10.1029/2020GH000363>

Duckworth, F, y J, Sandberg. (1954). The effect of cities upon horizontal and vertical temperatura gradients, *Bull, Amer. Meteor. Soc.*; 35, pp. 198-207.

Howard, I. (1833). *Climate of London*. Harvey and Darton, Londres.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI, 2022). Aspectos Geográficos. Michoacán 2021. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México INEGI, 2022.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI, 2019). INEGI Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación. <https://www.inegi.gob.mx>. Fecha de consulta: 25/05/2019 23:28:56

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI, 2016). Anuario Estadístico y geográfico de Michoacán de Ocampo 2016 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, c2016. 723 p. ISBN 978-607-739-858-5. Impreso en México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI, 2012). Anuario Estadístico de Michoacán de Ocampo. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo- México: INEGI, c2013. 618p. ISSN 0188-8501. Impreso en México

Jáuregui, E. (1995). Algunas alteraciones de largo periodo del clima de la ciudad de México debidas a la urbanización. *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 31, 1995. Departamento de Meteorología General Centro de Ciencias de la Atmosfera. UNAM.

Jáuregui, E. (1971). *Mesoclima de la ciudad de México*, Instituto de Geografía, UNAM, Imprenta Universitaria, 87 pp.

Kratzer, A. (1956). *Das Stadtklima*, F. Vieweg and Sohn, Braunschweig, 143 pp.

Palme, M. (2021). Urban Heat Island Studies in Hot and Humid Climates: A Review of the State of Art in Latin-America, in: Enteria, N., Santamouris, M., Eicker, U. (Eds.), *Urban Heat Island (UHI) Mitigation*, Springer Singapore, Singapore, pp. 123–141. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4050-3_6

- Instituto Nacional de Ecología (INE). (S/F). Primer catálogo. Estaciones de Monitoreo en México. Pp. 121
- Renou, E. (1855). Instructions meteorologiques, *Annuaire Soc. Meteorol de France*, 3, 1, pp. 73-160.
- Sham, S. (1973). The urban heat island of Kuala Lumpur, *Sains Malaysiana*, 2, pp. 53-64.
- Spiegel, Murray, R. (1991). Estadística. Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill. Impreso en España.
- Vieyra, A. y Larrazábal, A. (2014). Urbanización, sociedad y ambiente. Experiencias en ciudades medias. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) de la UNAM, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC-Semarnat). Primera Edición 2014. Pp. 293. ISBN: 978-607-024403-2 Impreso y hecho en México. En <http://www.ciga.unam.mx/>, <http://www2.inecc.gob.mx/>