

# ANÁLISIS DE LA ISLA URBANA DE CALOR Y TENDENCIAS DE LA TEMPERATURA MÍNIMA EN MEXICALI, B.C., MÉXICO.

África CASILLAS HIGUERA<sup>1</sup>, O. Rafael GARCÍA CUETO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, México  
eliz\_escuela@yahoo.com.mx, rafaelcueto@uabc.mx

## RESUMEN

En este trabajo se analizaron las temperaturas mínimas de 1950 al 2000, en la ciudad de Mexicali, Baja California, México, y se compararon con las obtenidas con Valle Imperial que es un lugar rural, con lo que se logró identificar la Isla Urbana de Calor (IUC). Mediante un análisis de regresión lineal simple se encontró que el incremento anual de la temperatura mínima en la zona urbana es de  $0.06^{\circ}\text{C}$ , mientras que en la zona rural es de  $0.025^{\circ}\text{C}$ . Haciendo uso de la modelación estadística de downscaling se generaron escenarios de la temperatura mínima para los 2020's, 2050's y 2080's, encontrándose como resultado un aumento de  $1.9^{\circ}\text{C}$ ,  $2.4^{\circ}\text{C}$  y  $5.1^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

Palabras clave: Isla Urbana de Calor, tendencias térmicas, generación de escenarios.

## ABSTRACT

In this paper minimum temperatures of the years 1950 to 2000, in Mexicali city, Baja California, México, were analyzed and compared with the minimum temperatures of a rural place named Imperial Valley, CA; so, was possible the identification of the Urban Heat Island (UHI). With an analysis of lineal regression was found that the annual increment of minimum temperature in Mexicali city was  $0.06^{\circ}\text{C}$ , and in rural zone was  $0.025^{\circ}\text{C}$ . By mean of downscaling statistical, scenarios of the minimum temperature were generated for 2020's, 2050's and 2080's, getting as result an increase of  $1.9^{\circ}\text{C}$ ,  $2.4^{\circ}\text{C}$  and  $5.1^{\circ}\text{C}$  respectively.

Key words: Urban Heat Island, temperature trends, scenarios generation.

## 1. INTRODUCCION

La Isla de Calor Urbana (ICU) que se define como la diferencia térmica entre el área urbana y sus alrededores, es una expresión local del impacto de la actividad antropogénica sobre el clima a nivel local. Emerge como resultado de dos procesos diferentes pero a su vez asociados: el primero, y más importante, es la alteración de la cobertura del suelo, debido a que la urbanización elimina el suelo nativo y lo reemplaza por materiales impermeables como el asfalto y el concreto. Esta alteración inevitablemente modifica el balance de energía atmosférico local. El segundo proceso se refiere a las actividades que toman lugar dentro de las ciudades, principalmente en el transporte y en la industria al generar energía que contribuye al calentamiento urbano. Actualmente este tópico ha cobrado importancia porque el mundo es cada vez más urbano, y porque la ICU tiene importantes implicaciones en la salud, confort

humano, contaminación del aire, manejo de energía y planeación urbana. Aunque el problema lleva estudiándose más de 160 años tanto desde el punto de vista experimental como teórico (LANDSBERG 1981), el fenómeno aún no es entendido completamente (HAFNER-KIDDER, 1999), pero se sabe que el tamaño de la ciudad juega un papel importante en la intensidad de la ICU, por ejemplo, en el estudio realizado por Valero (MONTAVEZ-VALERO, *et al* 2000) se observó que en las ciudades pequeñas introducidas en el dominio se observan fuertes intensidades de la ICU superficial, mientras que en el aire son más pequeñas. Muchos estudios del uso de monitoreo remoto se han llevado a cabo en la detección y monitoreo del uso del suelo urbano (LI y YHE 1998), y se ha observado que el patrón isotérmico en forma de lenguas de aire cálido o fresco es determinado por el uso del suelo de la ciudad.

En estudios realizados en diversas partes del mundo se han observado intensidades de la ICU diferentes, por ejemplo Cervantes et al. (2000) encontraron que durante las primeras horas de la mañana existe una diferencia de 2°C entre el centro y sus alrededores; Moreno (1993) en Barcelona reveló el rigor del efecto de la isla de calor, que alcanza una intensidad máxima de 8°C; por otra parte en múltiples observaciones que se llevaron a cabo en Shangai (SHU, 1984), muestran que el área urbana es siempre más caliente; en este estudio se encontró que el 13 de diciembre de 1979, a las 20 horas (con noche clara y en calma) la temperatura más alta (8.5°C) estuvo asociado con la densidad urbana más alta.

En un estudio preliminar (García y Dávalos, 2002) se determinó que la intensidad media de la ICU en Mexicali, B.C., México era de 3°C; se presentó un evento extremo en el mes de Mayo donde se alcanzó una magnitud de 12°C. Asimismo, se observó que la intensidad de la ICU se acentúa en las noches despejadas, con vientos en calma y escasa humedad en el ambiente.

## **2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO E HIPÓTESIS DE TRABAJO**

Mexicali se encuentra ubicada al noreste de Baja California, México (32° 33' N, 115° 28' Oeste, y una altitud de 4 metros sobre el nivel del mar, figura 1). Desde mediados del siglo pasado, se empezaron a instalar industrias maquiladoras en esta ciudad generando más empleos, lo que la convirtió en una ciudad fronteriza no solo de paso sino en una ciudad con gran potencial de desarrollo, inmigrando gente de otros estados de la república y de otras latitudes; en la actualidad el crecimiento de la población urbana se ha acentuado (4 km<sup>2</sup> a inicios del siglo pasado, y en el 2005, 120 km<sup>2</sup> de superficie), así que la dimensión espacial de la mancha urbana se ha extendido rápidamente, por lo que la cobertura y uso del suelo ha cambiado de forma radical, provocando que la zona urbana cree su propio microclima. El clima de Mexicali es árido, muy cálido y con variabilidad térmica extrema (ha rebasado los 50°C en el verano, y en el invierno se han presentado temperaturas inferiores a 0°C); así que la importancia del estudio de la ICU es esencial en Mexicali porque agravará el problema de salud humana, el confort y la contaminación atmosférica, entre otras razones esenciales. La elaboración de escenarios climáticos, a mediano y largo plazo, es importante para la planeación urbana, que es una de las premisas planteadas en la elaboración de este estudio.

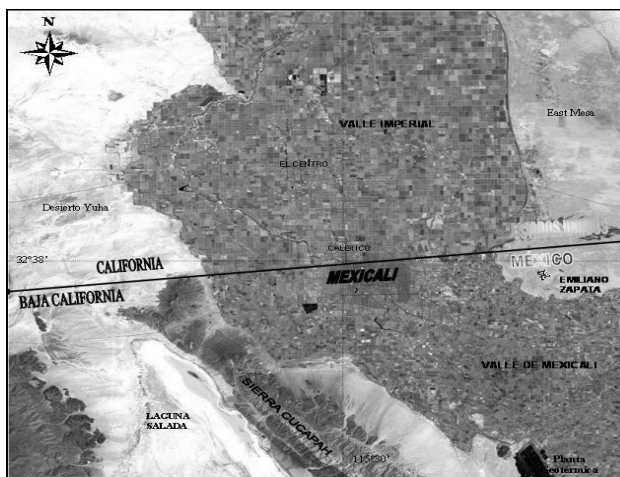


Figura 1. Localización de Mexicali, B.C., México

### 3. METODOLOGIA

Para la realización de este estudio se construyeron las bases de datos de temperatura mínima de dos estaciones meteorológicas de los años 1950 a 2000, que tienen usos de suelo contrastantes; una se encuentra ubicada dentro de la ciudad de Mexicali, B.C., México (latitud °N 32.6291, longitud °W 115.447), la otra en una zona rural localizada en Valle de Imperial, C.A., U.S.A. (latitud °N 32.674, longitud °W 115.515). La información fue proporcionada por la Comisión Nacional del Agua de México y el Distrito de Riego de Valle Imperial, CA de Estados Unidos.

Para realizar el análisis temporal, las medidas de temperatura mínima que se registran en forma diaria en las estaciones climatológicas, se agruparon en promedios anuales. A partir de esa información se obtuvieron estadísticas básicas de tendencia central y de variabilidad; también se construyeron histogramas de frecuencia. Posteriormente se realizó un análisis de regresión simple con la variable año como independiente y la temperatura mínima del aire como variable dependiente, determinando la significancia de la tendencia con un error tipo I del 5% ( $\alpha=0.5$ )

Por otra parte, dado que el aumento en la concentración de gases de invernadero parece que tendrá implicaciones significativas en el clima a escala global y regional, particularmente en el número de eventos extremos, existe la posibilidad de que el fenómeno de la IUC pudiera ser exacerbado por este cambio climático global; en vista de lo anterior y dado que los modelos de circulación general no se pueden usar para estudios de impacto local por su amplia resolución espacial, se decidió utilizar un modelo estadístico de reducción de escala que no requiere muchos recursos computacionales, pero que ha mostrado su utilidad en varios estudios (Statistical Downscaling Model (SDSM, Wilby y Dawson, 2007), que permitió generar escenarios de la tendencia de la temperatura mínima en Mexicali, a partir del escenario base de 1961-1990, para los períodos 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099. Brevemente el SDSM se puede describir como un híbrido de regresión múltiple y de downscaling estocásticas. Los resultados “reducidos de escala” son estadísticamente significativos al 95% ó más. Previo a la generación de escenarios se realizó un análisis de la temperatura mínima diaria mediante

técnicas de regresión contra predictores estadísticamente seleccionados usando conjuntos de datos del Centro Nacional de Predicción Ambiental (NCEP, por sus siglas en inglés) y se calibraron las ecuaciones de regresión resultante, en la que se encontró una igual dispersión de los residuales en toda la serie de valores del predictando modelado. Posteriormente se verificó la precisión de las ecuaciones resultantes con el escenario base (1961-1990) downscaled y se comparó con los valores observados encontrándose buen ajuste. Ya con los modelos validados se construyeron series de proyecciones de temperatura mínima “reducida de escala”. Para la generación de futuros escenarios en Downscaling se usó el modelo de circulación CGCM1 experimento A1. Con ello se produjeron 20 ensembles de datos diarios, proyectado por el SDSM con 10950 datos.

#### 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS TERMICOS.

En la ciudad de Mexicali se estimó una temperatura media anual de 14.5°C; en el análisis exploratorio del histograma (Figura 2) se observa que la mayor frecuencia está en el intervalo de temperatura de 13°C a 14°C, y le sigue el intervalo de 16°C a 17°C. En el análisis realizado se observó que esos últimos valores se han presentado precisamente en los últimos años, lo cual parece estar relacionado al desarrollo urbano que se ha dado alrededor del lugar de medición y del crecimiento acelerado de la ciudad.

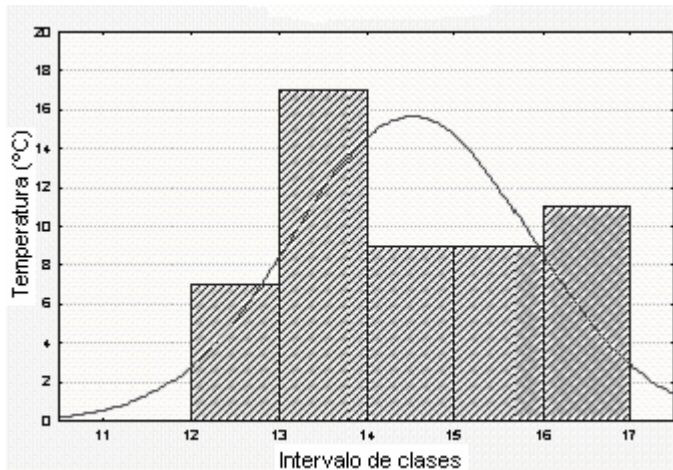


Figura 2. Histograma de Temperaturas mínimas promedio en Mexicali 1950-2000

El análisis de regresión lineal simple (figura 3) indica que el incremento anual de la temperatura es de 0.06°C, con una confiabilidad del 95%. Se tuvo en el período 1961-1990 una temperatura promedio mínima anual de 14.2°C.

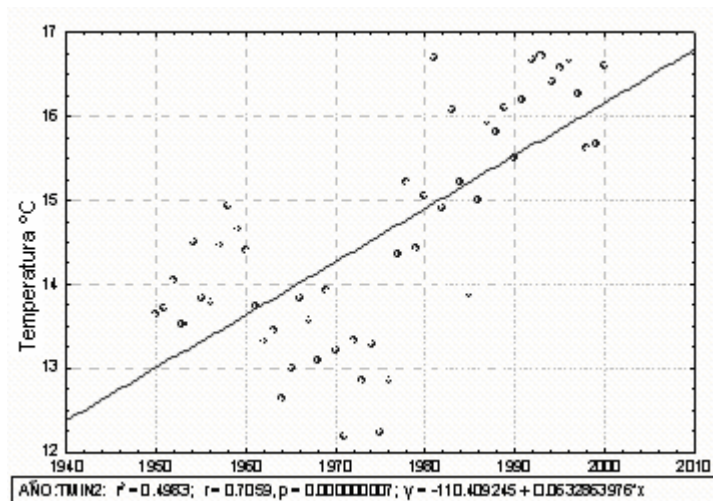


Figura 3. Regresión lineal simple de la ciudad de Mexicali, B.C. en el periodo 1950-2000

En Valle imperial su temperatura mínima promedio anual es de 14.9°C; su distribución es normal, asimétrica positiva, y los valores promedios se encuentran repartidos de manera platicúrtica (figura 4).

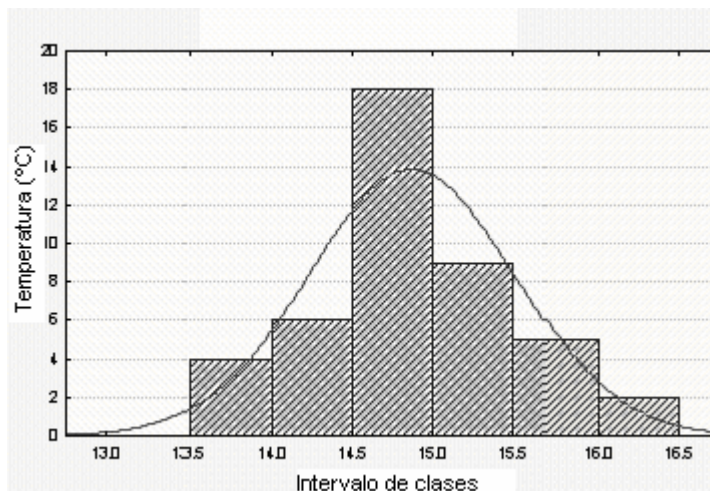


Figura 4. Histograma de Temperaturas mínimas promedio anual en el Valle Imperial (1950-2000)

La mayor frecuencia de valores los tiene el rango de temperaturas de 14.5°C a 15.5°C; comparado con Mexicali, B.C., pareciera ser que el comportamiento en el Valle Imperial es de una tendencia positiva menor, lo que se verifica con la regresión lineal simple (figura 5), que estimó una menor tendencia hacia el incremento de la temperatura de solamente 0.025 °C anual, inferior por supuesto al encontrado para Mexicali, B.C.,

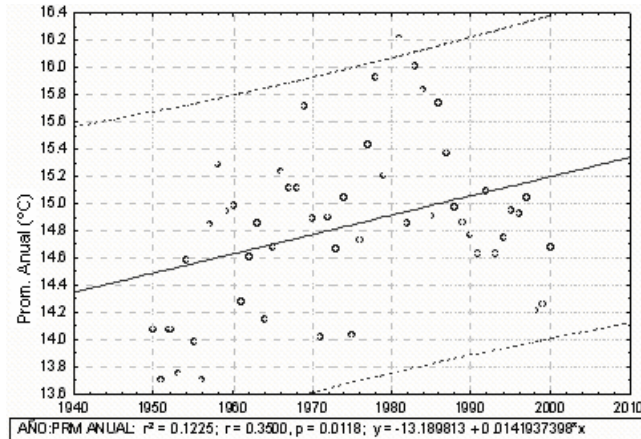


Figura 5. Modelo lineal Valle Imperial 1950-2000, con temperaturas promedio anual mínimo.

Al evaluar las tendencias de cambio térmico es aconsejable no tomar únicamente este dato como indicador, ya que en zonas desérticas, que es el caso que nos ocupa, el clima es extremo; por ejemplo, en el invierno las temperaturas mínimas descienden alrededor de los 0°C y en verano la temperatura mínima puede llegar hasta los 28°C. Así que para entender mejor la evolución térmica se decidió estudiar por separado, las temperaturas medias mínimas más altas (mínimas maximorum) y las medias mínimas más bajas (mínimas minimorum), y comparar su comportamiento con la tendencia de la temperatura mínima promedio.

Al interior de la ciudad de Mexicali (Figura 6) se observó que el aumento promedio de las mínimas minimorum es muy similar al de las temperaturas mínimas promedio ( $T_{minprom} = 0.063$  °C;  $T_{minmin} = 0.068$  °C), mientras que la temperatura mínimas maximorum tienen un incremento menor, de 0.057°C anual, lo que indica que el aumento en las temperaturas mínimas más bajas ha sido más importante que el de las mínimas más altas; esto es comparable al estudio realizado por Miró y Estrela (2004), en la ciudad de Valencia, España, en donde encontraron un comportamiento similar en la evolución térmica, concluyendo que las medias máximas contribuyen a moderar el cambio de las temperaturas promedios.

El aumento de la tendencia de la temperatura mínima media (0.014°C), en Valle Imperial (Figura 6), es menor en la media de las temperaturas mínimas minimorum (0.025 °C), mientras que la diferencia entre las medias de las mínimas maximorum (0.002 °C) aumenta considerablemente; este comportamiento indica que conforme han transcurrido los años la

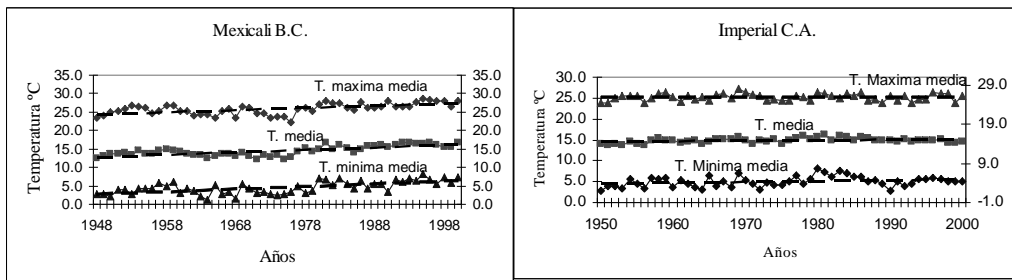


Figura 6. Comportamiento de temperaturas mínimas en Mexicali y Valle Imperial respectivamente (1950-2000).

temperatura mínima está creciendo a un ritmo más rápido que la temperatura media máxima, lo que dará como posible resultado temperaturas muy similares

Haciendo una comparación entre el incremento de la temperatura en los dos sitios, se puede destacar que en la ciudad de Mexicali se tiene un incremento de casi el triple de lo que se da en Valle Imperial, lo cual parece deberse al cambio y uso de cobertura del suelo que se ha estado dando a partir de la década de los setentas (Figura 7)

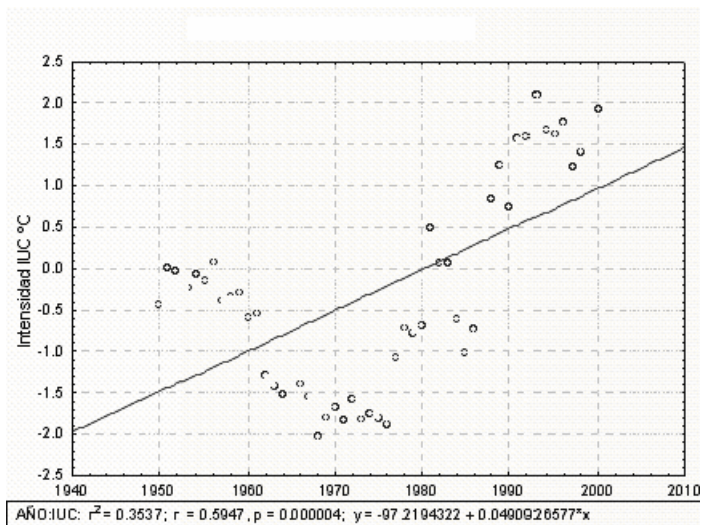


Figura 7. Crecimiento en la intensidad de la isla urbana de calor en la ciudad de Mexicali (1950-2000).

La intensidad promedio anual de la isla de calor para la ciudad de Mexicali, B.C., al utilizar las dos estaciones climatológicas mencionadas, para el escenario base 1961-1990, fue de 1.2°C; se puede observar (fig. 7) que la ciudad pasó de ser una isla fría, con una magnitud media de -

1.3°C, entre 1960 y 1980, a una isla de calor, con la intensidad máxima promedio mencionada anteriormente.

### 5. DOWNSCALING ESTADÍSTICO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA

Dado que no se tuvo acceso a los valores diarios de temperatura mínima del Valle Imperial, el modelo estadístico de Downscaling SDSM se calibró usando los valores de la temperatura mínima diaria de la ciudad de Mexicali y las variables climáticas del Centro Nacional de Predicción Ambiental. Las mejores correlaciones encontradas fueron: la presión atmosférica al nivel del mar, humedad específica superficial, altura geopotencial a 500 hpa, velocidad meridional a 850 hpa, y humedad específica a 500 y 850 hpa, de las cuales la presión atmosférica al nivel del mar y humedad específica tuvieron una mejor correlación (-0.624 y 0.883, respectivamente), ver figura 8.

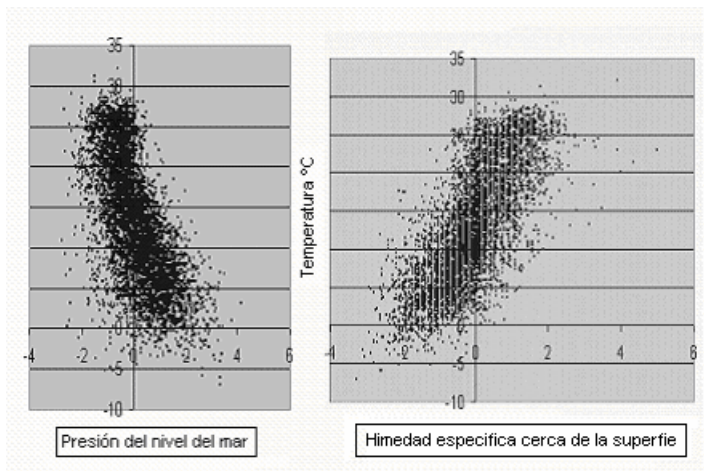


Figura 8. Diagrama de dispersión que muestra la relación entre la presión del nivel del mar y la humedad específica de la superficie con temperatura mínima en la ciudad de Mexicali, B.C.

Escenario	Cambio	Temperatura	Días > umbral
	(°C)	(°C)	
2020	1.9	16.8	200
2050	2.4	17.3	216
2080	5.1	20.0	275

Tabla 1. ESCENARIOS CONSTRUIDOS (95% DE CONFIABILIDAD) CON UN UMBRAL DE > 2°C BASADO EN EL PROMEDIO DE TEMPERATURAS MÍNIMAS DIARIAS EN EL PERIODO 1961-1990.



Posteriormente se generaron estimaciones futuras de la tendencia térmica bajo el escenario de emisiones A1 con el modelo CGCM1. En base al escenario generado hay incrementos en la intensidad y el número de días en el que la temperatura mínima excedió  $2^{\circ}\text{C}$  del valor medio de 1961-1990, que fue el valor umbral elegido para la generación de escenarios. Los cambios obtenidos son similares respecto al incremento encontrado en la regresión lineal simple para los 2020's. Para los 2050's, continua esta tendencia; finalmente para los 2080's, la temperatura mínima promedio presenta su mayor incremento:  $3.2^{\circ}\text{C}$  (Tabla 1).

Una forma gráfica de ver lo anterior se presenta en la figura 9. El promedio de las temperaturas mínimas promedio para los años 2020's, 2050's y 2080's, presenta una tendencia positiva; se puede observar que en los meses de verano hay un incremento muy pronunciado para los 2080's, cosa que no sucede para los 2020's y 2050's, comparado con las observadas, así que para fines de este siglo se tiene el peor escenario. En invierno el aumento es casi proporcional en todos los meses a excepción de Diciembre.

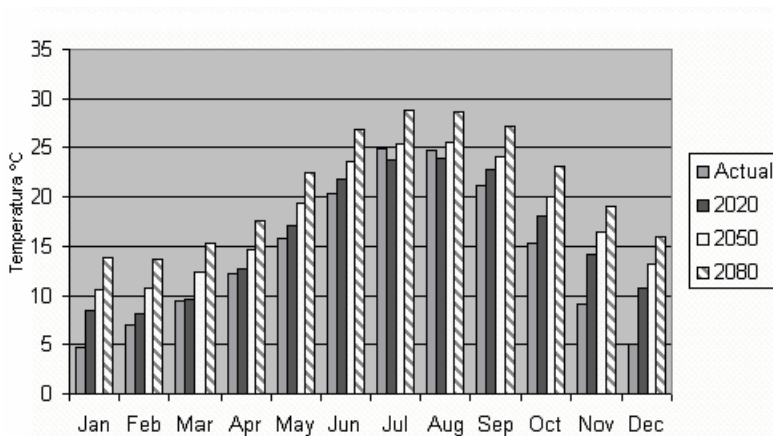


Figura 9. Grafica comparativa de temperaturas máximas mínimas, entre temperaturas observadas para el periodo 1961-1990 y modelos generados con downscaling.

## 6. CONCLUSIONES

- 1.- El aumento de la temperatura se ha incrementado notablemente, sobre todo partir de la década de los 80's del siglo pasado, aparentemente por el cambio de uso del suelo que se ha dado en la ciudad a partir de esos años.
2. Si continúa esa tendencia los escenarios para la ciudad son desfavorables repercutiendo en el confort y en el gasto de energía para mantener los espacios confortables.
3. De acuerdo a los escenarios generados por downscaling el aumento de las temperaturas mínimas promedio, respecto al escenario base de 1961-1990, para los 2020's, 2050's y 2080's serán de 16.8, 17.30 y 20.0  $^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

4. Es importante tomar medidas que mitiguen el aumento en las temperaturas al interior de la ciudad de Mexicali, tal como aumentar la cantidad de áreas verdes, entre otras recomendaciones, ya que actualmente su número es muy inferior con respecto al espacio urbanizado.

## 7. AGRADECIMIENTOS.

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Universidad Autónoma de Baja California por el apoyo económico que me ha brindado, asimismo a la Comisión Nacional del Agua por la aportación de los datos.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- CERVANTES PÉREZ JUAN, BARRADAS MIRANDA VÍCTOR LUÍS, MARTÍNEZ TEJADA ADALBERTO, CORDOVA ANGULO QUINTILIANO, RAMÍREZ TRIANA CÉSAR Y TEPACH GUTIÉRREZ GERARDO (2000) Aspectos del Clima Urano de Villahermosa, Tabasco, México. Universidad y Ciencias, vol. 16 No. 31, pp 10-16.
- GARCIA CUETO RAFAEL, TEJEDA MARTÍNEZ ADALBERTO y JÁUREGUI OSTOS ERNESTO. (2002). "Contraste ciudad/desierto del balance de energía en la atmósfera superficial en el NW México". pp 292-301
- HAFNER. J. and KIDDER S. Q. (1999). Urban Heat Island Modeling in Conjunction with Satellite - Derived Surface/Soil Parameters. Journal of Applied Meteorology. 38 (4): 448 - 465.
- LANDSBERG. (2001), "The urban climate". International Geophysics series. Vol. 28.
- LI y YHE. (1998), "Principal component analysis of stacked multi-temporal images for the monitoring of rapid urban expansion in the Pear River Delta". International journal of remote sensing, Vol. 19, No. 9, pp 1501-1518.
- MIRÓ J. JAVIER y ESTRELA MARÍA JOSÉ. (2004). "Tendencia de la temperatura en los meses de julio y agosto en la comunidad Valenciana en las últimas décadas: Cambios en la frecuencia de días calurosos". El clima entre el mar y la montaña. Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Serie A, nº4, Santander, pp 390-397.
- MONTÁLVEZ JUAN PEDRO, GONZÁLEZ-ROUCO JESÚS FIDEL Y VALERO FRANCISCO, UN ESTUDIO DE LA ISLA DE CALOR MEDIANTE EN MODELO MESOESCALAR, Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica II. Univ. Complutense de Madrid, pp 471-482
- MORENO GARCÍA M. CARMEN (1994), INTENSITY AND FORM OF THE URBAN HEAT ISLAND IN BARCELONA. International Journal Of Climatology, Vol. 14, pp 705-710.
- ROBERT WILBY, (2002). "Past and projected trends in London's urban heat island", weather, 58, pp. 251-260
- SHU (1986). "Some aspects of the urban climate of Shanghai". Proceedings of the technical conference, WMO-No. 652, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland pp. 87-1009

WILBY, L.R. and DAWSON, C.W.(2007). Statistical Downscaling Model Versión 4.2 Use Manual. On-Line: <https://co-public.lboro.ac.uk/cocwd/SDSM/index.html>