

# DETERMINACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANO EN CIUDAD JUÁREZ MEDIANTE PROGRAMA DE CÓMPUTO

Alfredo Contreras Cardosa, Jorge A. Salas Plata Mendoza, Gilberto Velásquez Angulo, Héctor Quevedo Urías

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

## RESUMEN

El propósito del estudio fue la determinación del fenómeno de la Isla de Calor Urbano (ICU) en Ciudad Juárez. La metodología utilizada fue la comparación de la temperatura de una zona urbana con una semirural de la ciudad, a través del análisis del parámetro de temperatura. Esta medida se obtuvo de estaciones meteorológicas automatizadas y mediante el programa de cómputo WeatherLink. Se obtuvieron datos del parámetro de temperatura de cinco estaciones fijas de monitoreo y se elaboraron gráficas comparativas. Se obtuvieron los valores de las ICU para los meses de enero, febrero, de junio a septiembre, y para verano e invierno. La máxima intensidad de la ICU es negativa cuando la temperatura de la estación Montada (semirural) es mayor que el promedio de las urbanas. Se concluye que el fenómeno de la ICU se presenta en la ciudad con un valor máximo diurno en promedio de 6 °C aproximadamente y un valor negativo máximo nocturno en promedio de 7 °C aproximadamente.

The main objective of this investigation was the determination of the Urban Heat Island (UHI) in City Juárez. The methodology used was the comparison of the temperature between an urban zone and a rural one, through the analysis of the temperature parameter. This parameter was obtained from automated weather stations and by means of the computer program WeatherLink. The temperature data from five monitoring stations were obtained to get comparative graphics. The UHI values for the months of January and February were obtained, from June to September, and for summer and winter. The maximum intensity of the HUI is negative when the temperature from La Montada station (rural) is greater than the average of the urban ones. It is concluded that the HUI is shown in the city with a diurnal maximum value, on average of 6 °C approximately and a nocturnal maximum value, on average of 7 °C approximately.

## 1. INTRODUCCION

El municipio de Ciudad Juárez cuenta con una población de 1'218,817 habitantes, con una tasa de crecimiento anual de 4.35 por ciento (INEGI, 2000). Entre los años de 1950 a 1990 la población en Ciudad Juárez se ha incrementado seis veces. Para el año 2004, la población fue de 1'445,218 (Hipotecaria Nacional, 2004).

Ciudad Juárez, situada en la frontera norte de México, es un polo de desarrollo económico del país en las últimas décadas. El Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) señala una tasa de crecimiento del 4.35 por ciento de la población en Ciudad Juárez en el periodo de 1995 al 2000. Esta tasa de crecimiento está por encima del promedio nacional que es de 1.9% (INEGI, 2000), como consecuencia, se incrementan excesivamente las necesidades de transporte, habitación y esparcimiento de la población. La solución de las necesidades de construcción de zonas habitacionales, de pavimentación de calles y avenidas, así como el crecimiento del parque vehicular, trae consigo la aparición del fenómeno de la Isla de Calor Urbano. Al respecto, no se encontró un estudio relacionado directamente con las ICU aplicado a Ciudad Juárez. En este estudio, la intensidad máxima promedio estacional (verano e invierno) de la ICU de Ciudad Juárez es la diferencia en promedio de los registros máximos de temperatura por hora de las estaciones meteorológicas urbanas con relación a la estación Montada (rural). Se

toman los promedios porque el clima ciudadano es un promedio de varios microclimas.

### 1.1 Características generales del Municipio de Ciudad Juárez

Algunas de las características de la ciudad son las siguientes de acuerdo con el Gobierno Municipal de Ciudad Juárez (Gobierno Municipal, 2004) y el Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP, 2004):

Ciudad Juárez es la cabecera municipal con una superficie de 4,853.80 Km<sup>2</sup>, (485,380 ha). Se encuentra a una altitud mínima de 1,150 m.s.n.m. y máxima de 1,820 m.s.n.m. (cima de la sierra Juárez). Esta zona de estudio se ubica en la latitud norte entre las coordenadas 31°07'38" y 31°48' 0", y una longitud oeste entre las coordenadas 106°06'57" y 106°98'44". Ciudad Juárez colinda al norte con el Estado de Texas y de Nuevo México, E.U.; al sur con el Municipio de Ahumada; al Sureste con el Municipio de Guadalupe y al Oeste con el Municipio de Ascensión.

Su territorio es generalmente plano, comprende una parte de los Médanos de Samalayuca, formado por colinas blancas de arena fina. En la zona que comprende el Valle de Juárez se encuentran tierras de calidad que son utilizadas para el cultivo por medio de riego. Entre las sierras que se encuentran dentro del Municipio está la Sierra de Juárez, Candelaria, Samalayuca, del Presidio, del Paso, entre otras.

Las medidas de temperatura son las siguientes:  
 Temperatura media anual es de 17.3 °C (1955-1993)  
 Temperatura media máxima: 25.3 °C  
 Temperatura media mínima 9.4 °C  
 Temperatura máxima extrema: 45.5 °C (junio de 1994)  
 Temperatura mínima extrema: -22.2 °C (noviembre de 1962)  
 Días al año con heladas: 64.5  
 Record de helada tardía: 2 de mayo de 1967  
 Record de helada temprana: 16 de octubre de 1880  
 Precipitación media anual: 223.8 mm (de 1952-1993)  
 Precipitación mayor anual: 464 mm (1984)  
 Precipitación menor anual: 110.2 mm (1964)  
 Promedio de días con lluvia: 48.1  
 Promedio de días con nevada: 1.8  
 Dirección de viento: SE

Velocidad de viento: 25 km/h  
 Humedad relativa media: 42%  
 Presión atmosférica media: 887.2 Mb (Chaparro, 2004)

Los meses más cálidos del año son de abril a octubre, cuyo promedio mensual de las temperaturas máximas es superior a los 25 °C, en tanto que los meses más fríos son de noviembre a febrero, con un promedio mensual de las temperaturas mínimas por debajo de los 5 °C. El promedio mensual de las temperaturas máximas es de 13.7 °C para diciembre y los 34.9 °C para el mes de julio. Los promedios mensuales de las temperaturas máximas por arriba de los 30°C, se presentan desde mayo hasta septiembre, siendo los meses de junio y julio los más calurosos, con promedios que superan los 34 °C (Chaparro, 2003). El cuadro 1 muestra las temperaturas media mensual y anual de Ciudad Juárez.

CUADRO 1. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL Y ANUAL DE CIUDAD JUÁREZ EN 2003.		
MES	TEMPERATURA	
	En °C	En °F
ENERO	6.1	43
FEBRERO	9.0	48.2
MARZO	12.1	53.8
ABRIL	17.4	63.3
MAYO	21.8	71.2
JUNIO	26.3	79.3
JULIO	27.5	81.5
AGOSTO	26.5	79.7
SEPTIEMBRE	23.4	74.1
OCTUBRE	17.6	63.7
NOVIEMBRE	10.7	51.3
DICIEMBRE	6.9	44.4
ANUAL	17.1	62.8
AÑOS DE OBSERVACION	38	38

FUENTE. - Dirección General de Promoción Financiera y Económica del Municipio de Juárez. Servicio Meteorológico del Estado de Chihuahua. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Servicio Meteorológico Nacional de El Paso Texas. (2004).

En cuanto a la precipitación media mensual y anual, el cuadro 2 ilustra el régimen de precipitación de la zona.

CUADRO 2. PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL Y ANUAL		
MES	PRECIPITACION	
	En milímetros	En pulgadas
ENERO	10.7	0.4
FEBRERO	12.5	0.5
MARZO	8.8	0.3
ABRIL	5.3	0.2
MAYO	8.5	0.3
JUNIO	15.5	0.6
JULIO	44.5	1.8
AGOSTO	40.1	1.6
SEPTIEMBRE	30.6	1.2
OCTUBRE	24.0	0.9
NOVIEMBRE	11.2	0.4
DICIEMBRE	17.8	0.7
ANUAL	229.6	9.0
AÑOS DE OBSERVACION	41	41

FUENTE. - Dirección General de Promoción Financiera y Económica del Municipio de Juárez. Servicio Meteorológico del Estado de Chihuahua. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Servicio Meteorológico Nacional de El Paso, Texas. (2004). <http://www.juarez.gob.mx/>

Para el Plan de Desarrollo Urbano (PDDU) los usos predominantes del suelo en la ciudad son:

- Habitación
- Servicios
- Industria
- Mixtos
- Espacios abiertos
- Área para vialidades

- Área de baldíos

Considerando los usos de suelo predominantes, en 1995 la ciudad contaba con una superficie de 18,767 ha, distribuidas en porcentaje de la siguiente manera: 44.84 para uso habitacional, 6.44 para uso en servicios, 5.73 para uso industrial; para los usos mixtos 3.29 y para espacios abiertos 2.38. El área destinada para vialidades representaba el 25.5 y para baldíos 11.82 (IMIP, 1995). La tabla 1 nos indica la distribución del uso de suelo para los años 1995 y 2001.

Tabla 1 Distribución del uso de suelo en Ciudad Juárez (1995-2001)				
Uso de suelo	1995		2001	
	Superficie en ha	%	Superficie en ha	%
Habitación	8416	44.84	9992	45.17
Servicios	1209	6.44	1844	8.34
Industria	1075	5.73	1638	7.4
Uso Mixto	617	3.29	503	2.27
Espacios Abiertos	446	2.38	605	2.73
Vialidades	4785	25.5	5040	22.75
Baldíos	2219	11.82	2500	11.34
Total	18767	100	22122	100

Fuente: IMIP, 2002

La Figura 1 muestra las barras de distribución del uso del suelo en la ciudad para los años 1995 y 2001

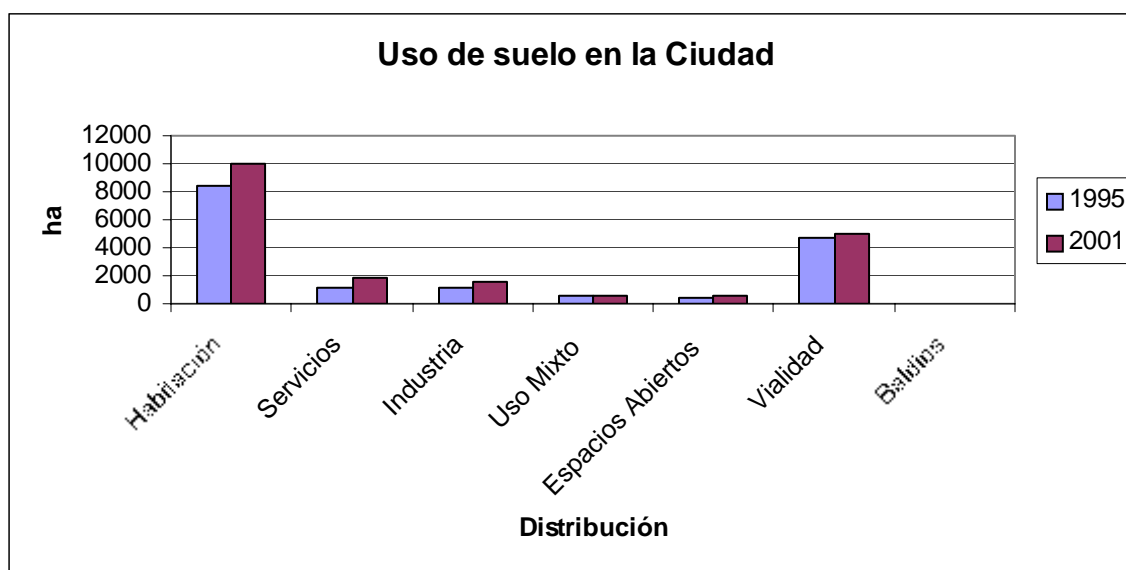


Figura 1. Áreas ocupadas en función de los usos del suelo en Ciudad Juárez para los años 1995 y 2001.

Fuente: IMIP, 2002

En 1995 la ciudad contaba con sólo el 40% de pavimento; comparado con 2002, se obtuvo un incremento en este rubro del 7%, el cual nos indica que de los 3,620 km con que contaba la ciudad en este año, 1,918 kilómetros de la ciudad contaban ya con algún tipo de recubrimiento en su superficie (IMIP, 2003). En gran parte del lado oriente del municipio existen tierras que son consideradas como aptas para una agricultura continua y mecanizada, favorecidas con la precipitación y que cuentan con obras de infraestructura para riego, permitiendo dos cultivos anuales. En gran parte de la

mancha urbana del municipio se encuentran zonas exclusivamente para uso industrial; se cuenta con 18 parques industriales distribuidos en toda la ciudad, disponibilidad de mano de obra calificada y una infraestructura desarrollada de comunicación, transporte y servicios. En todo el centro y hacia el oriente del municipio, existen terrenos considerados aptos para sustentar vegetación diferente al pastizal, en donde se puede desarrollar el pastoreo.

Ciudad Juárez pertenece a la vertiente del Golfo de México, su principal corriente fluvial es la del Río Bravo, proveniente de las presas del Elefante y del Caballo en Nuevo México, E.U. La flora está constituida por plantas xerófilas, herbáceas, arbustos de diferentes tamaños, entremezclados con algunas especies de agaves, yucas y cactáceas; leguminosas como el guisache, guamuchil, quiebre hacha, zacates y peyote. La fauna está constituida por gato montés, coyote, palomas guilota y ala blancas, halcón y serpiente.

## 1.2 Revisión de la literatura

En la mayoría de las ciudades, la urbanización ha ocasionado cambios significativos en la superficie y las propiedades atmosféricas que conducen a cambios inadvertidos en el clima. El término superficie se aplica a la altura de observación establecida por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) de 1.5 m, a excepción de los 10 m de altura de observación de la velocidad del viento (Bornstein, 1999).

El fenómeno de las ICU, en el cual la temperatura del aire superficial de las áreas urbanas es mayor que la de las afueras o espacios rurales adyacentes, es un rasgo común que se observa en muchas ciudades. Este fenómeno ha sido estudiado ampliamente durante las décadas pasadas. El fenómeno de la Isla de Calor Urbano (ICU) lo describe la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de América (EU) como la diferencia de temperatura de una zona urbana y una zona rural, atribuida a pavimentación de calles, construcción de habitaciones y centros comerciales, así como de emisión de gases generados por el uso de vehículos y complejos industriales (EPA, 2001).

La ICU está estrechamente relacionada con el clima de la región y puede mostrar ciclos diurnos y estacionales; en áreas urbanas, pueden tener el efecto de subir las temperaturas unos 6 a 10 grados (City of Chicago, 2002). En el caso de Seúl, Corea, durante el periodo de 1973-1996, el promedio máximo de la intensidad de la ICU fue más fuerte en otoño e invierno que en verano. De manera similar a otros estudios previos de otras ciudades, la intensidad máxima de la ICU se observa de manera más frecuente durante la noche que en el día y puede modificarse por las condiciones del viento y las nubes (Kim, 2002). Dependiendo del tamaño de la ciudad, del volumen de la población y de la urbanización, una ciudad puede tener una o varias ICU ([http://www.puc.cl/sw\\_educ/contam/efect/efur15.htm](http://www.puc.cl/sw_educ/contam/efect/efur15.htm)). Los cambios inducidos por el hombre también afectan la intensidad de la ICU. Estudios realizados sobre las ICU en ciudades con desarrollos urbanos similares, identificaron la presencia de este fenómeno en diferentes magnitudes dentro de la mancha urbana. Las ICU traen como consecuencia aumentos de temperatura y por consiguiente incrementos en los consumos de energía

eléctrica de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. El aire acondicionado utilizado para compensar las islas de calor produce gases contaminantes, incluyendo dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno que son precursores del ozono. Las altas temperaturas se asocian a la emisión creciente de hidrocarburos orgánicos reactivos (precursores del ozono), de los automóviles y aceleran la formación del smog. En ciudad Juárez, existe una creciente demanda de pavimentación de calles ya que entre el 40-50% de estas están sin pavimentar. De llevarse a cabo esta demanda, se provocará un incremento de la ICU. Por esto, es necesario que los tomadores de decisiones implementen las medidas necesarias para amortiguar el fenómeno. Una de estas es la de utilizar impermeabilizantes blancos para los techos. Otra es la de emplear pavimentos que produzcan altos albedos como el concreto o el pavimento tradicional pero con agregados blancos. Un estudio mostró que en la ciudad de Sacramento California se podía elevar el albedo hasta en un 18% con las medidas anteriormente mencionadas (Bretz, *et al.*, 1995). En las ciudades del desierto de los Estados Unidos, la demanda de aire acondicionado utiliza del 3-8% de la energía eléctrica para compensar los efectos de la IUC. Además, Las IUC en las grandes ciudades con abundantes días brillantes y calurosos durante el verano, contribuyen a la presencia de contaminantes gaseosos. En la Ciudad de México se ha observado que las IUC positivas están relacionadas con altos niveles de ozono. Se ha observado también que las masas de calor urbano sobre las ciudades provocan episodios de niveles altos de contaminación del aire.

Ernesto Jáuregui (1997), del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) describió, en el periodo de un año (1996-1997), la climatología de la superficie donde se presenta la ICU de la Ciudad de México utilizando datos de dos estaciones automatizadas instaladas en una zona rural y en una zona urbana. Los resultados mostraron que la ICU nocturna fue más frecuente (75% del periodo del tiempo examinado) que los casos durante el día (25%). La intensidad máxima nocturna de calor fue de 7.8 °C, observada en un mes seco (febrero) caracterizada por sus noches de cielo despejado. Aunque poco frecuente, la ICU durante el día se presentó por diferencias de evaporación y superficies húmedas medidas durante las estaciones de lluvia. La ICU al medio día presentó una frecuencia del 13% y una intensidad de 3 a 5° C durante la estación húmeda. En la tarde, la ICU tuvo una intensidad de 4 a 5 °C. Durante ambas estaciones, seca y húmeda, ocurrió con una frecuencia del 12 % durante el año. El promedio de contraste térmico en las áreas urbanas y rurales se midió en 5° C en un día a mediados de una estación seca y durante los meses húmedos alrededor de 1 a 3 °C. Durante la noche, las propiedades críticas que gobiernan el contraste térmico son la radiación geométrica (radiación que se tiene en función de la altitud del sol, duración del día, las estaciones y el

ángulo del sol a mediodía) y las propiedades térmicas de la superficie (Oke, 1982); mientras que durante el día los procesos dominantes son el flujo de calor turbulento de la absorción de la radiación de onda corta y las fuentes de calor antropogénicas (principalmente industriales y vehiculares) (Jáuregui, 1996).

Un significativo fenómeno de isla de calor urbano (ICU) se identificó en Tel-Aviv, Israel en un día estable de invierno. La detección de ICU se llevó a cabo usando niveles de temperatura de aire de un techo y de la calle (realizando mediciones de una estación fija y un carro móvil) y en la superficie (usando un radiómetro térmico de video RTV transportado por aire). Se estudiaron las características complejas de micro escala del ICU a través del RTV. Al nivel de la calle se muestran variaciones hacia arriba de 10 °C; se identificaron variaciones de temperatura del aire de 3 a 5 °C entre el centro de la ciudad y las áreas circundantes durante la noche. La temperatura del mar mediterráneo tuvo un efecto moderado en los niveles de la misma tomados en el techo, mientras que en los niveles de la calle la isla de calor urbano estuvo más pronunciada. La combinación de métodos de monitoreo de ICU para diferentes niveles y en diferentes escalas en una primera medición permite una asignación espacial de ICU para las ciudades y esto diversifica el alcance de las características térmicas. Se compararon las diferencias térmicas de los alrededores con la actividad y los componentes urbanos. Esto demostró el papel tan importante que juega la ciudad en la actividad térmica de Tel-Aviv. Un estudio similar de ICU se obtuvo usando mapas con isotermas generados para las temperaturas de aire al nivel de la calle, e imágenes térmicas generadas por el RTV al nivel de superficie, concluyendo que existen diferencias en la magnitud del ICU en diferentes niveles, aunque el modelo del ICU tiende a ser similar en los dos estudios mencionados (Saaroni *et al*, 1999).

La ciudad de Tucson, Arizona, es un ejemplo de muchas ciudades del suroeste de Estados Unidos que ha experimentado un crecimiento rápido en las últimas décadas, acompañado de cambios en el uso de la tierra que han ocasionado impactos ambientales, incluyendo las ICU. Un análisis de los datos de temperatura de la zona urbana y una zona rural, muestra un incremento de temperatura en la región urbana mayor a los 2 °C en los últimos 30 años. La ICU presente es de una intensidad promedio de 3 °C en el último siglo. La ICU se presentó con una diferencia de temperatura promedio de 2 °C en la ciudad. Este estudio fue realizado por la universidad de Tucson, utilizando información de siete estaciones de monitoreo de temperatura para observar el comportamiento a través de los años. Para determinar la intensidad del ICU y capturar la información de la temperatura, se utilizó equipo instalado en vehículos a una altura de 1.5 metros del nivel del piso en la ciudad partiendo de la universidad hacia el exterior de la ciudad.

Estos datos se compararon con información de una estación localizada en el exterior a 40 kilómetros de la ciudad (Comrie, 2000).

En París se realizó un experimento al cual se le llamó ECLAP. Se desarrolló durante el invierno de 1995 tomando como área de estudio la zona urbana de esta ciudad. Se instalaron estaciones en un sitio urbano y un sitio rural, emitiendo radiosondas a 100 m en una torre; otros datos se tomaron en la torre Eiffel. Para el análisis completo se seleccionaron 4 días 9, 10, 13 y 14 de marzo de este año, los resultados mostraron la presencia de ICU máxima de 6° C para el día 9 de marzo (Dupont, 1998).

### 1.3 Objetivo

El objetivo principal de esta investigación fue la determinación del fenómeno de la ICU en Ciudad Juárez, comparando la temperatura de una zona urbana con una zona semirural.

## 2. METODOLOGÍA

El estudio de la fuerza de la ICU requiere por convención eliminar los efectos de los cambios a escala mayor y concentrarse en los efectos locales. La técnica mayormente usada para detectar la influencia de la urbanización, es considerar el diferencial de temperatura entre estaciones meteorológicas representativas, es decir, una urbana y otra rural (Kim, 2002).

El estudio se llevó a cabo a través del análisis del parámetro de temperatura (grado de calor en grados Celsius), obtenido de las estaciones meteorológicas automáticas y con apoyo de un programa de cómputo. Se realizaron visitas a los sitios donde se encuentran ubicadas las estaciones meteorológicas para el reconocimiento y ubicación. El área de la estación meteorológica la Montada cuenta con las condiciones más cercanas a un sitio rural motivo por el cual los datos obtenidos de esta estación se tomaron como información de una zona de las afueras de la ciudad. También se utilizaron los programas de cómputo WeatherLink para extraer la información horaria de los datos de temperatura y el Arcview como herramienta metodológica para realizar un mapa de la zona de estudio. Se emplearon además bases de datos de la Texas Commission on Environmental Quality (TCEQ, por sus siglas en inglés) con información meteorológica (TCEQ, 2004). Otra herramienta utilizada fue el geoposicionador manual marca GARMIN para determinar las coordenadas geográficas de las estaciones. El empleo de esta herramienta metodológica nos permitió elaborar un mapa de ubicación de las zonas urbanas y de la semirural en el plano de Ciudad Juárez.

Los datos utilizados consisten de observaciones de la temperatura del aire superficial de las estaciones mencionadas. El presente estudio no correlaciona la temperatura con la ICU del día anterior, la velocidad del viento, la nubosidad y la humedad relativa de la zona de estudio. Algunos artículos señalan que la intensidad del fenómeno es más fuerte durante días claros y noches sin viento. Antes de realizar la toma de datos en la zona urbana y aledaña, se investigó la ubicación de las estaciones meteorológicas con las que se podía contar, además se realizó un reconocimiento de dichos lugares.

## 2.1 Zonas de ubicación de las estaciones meteorológicas

Las estaciones de monitoreo seleccionadas están distribuidas en diferentes zonas de la ciudad, de manera que nos proporcionaron información real del parámetro de temperatura de las zonas urbanas y la zona semirural. La figura 2 muestra la ubicación dentro de la ciudad de las cinco estaciones en la mancha urbana de Ciudad Juárez. El Sistema de monitoreo meteorológico comprende cinco estaciones: Advance, Delphi, Protección Civil, UACJ (IIT) y Montada, en las cuales se monitorea la temperatura exterior, humedad relativa, velocidad y dirección del viento. Para el caso del estudio, sólo nos interesa la temperatura de la zona.



Fig. 2. Mapa de ubicación de las cinco estaciones meteorológicas.

### 2.1.1 Estación de monitoreo Advance

La estación Advance se localiza en el predio de la compañía Advance Transformer, entre las calles El Cid y Magneto del parque industrial Juárez-Gema; el monitor meteorológico se encuentra en la zona de estacionamiento

a 5 metros del nivel del suelo. La estación se localiza a 180 metros de los márgenes de la Colonia México 68; esta es una zona industrial de maquiladoras, con bajo flujo vehicular. La figura No. 3 muestra la estación meteorológica ubicada en la empresa Advance Transformer.



Fig. 3. Estación de monitoreo Advance. (Fuente: [http:// www.tnrcc.gov](http://www.tnrcc.gov))

### 2.1.2 Estación de monitoreo Delphi

La estación Delphi se encuentra dentro de las instalaciones de la empresa Delphi (SEC) en la Av. Tomás Fernández y Av. de las Industrias, del parque industrial Antonio J. Bermúdez; el monitor meteorológico

se encuentra en la zona de estacionamiento en la parte posterior de la empresa a una altura de 5 m a nivel del piso, donde no hay áreas verdes. Se presenta un flujo vehicular alto en horarios de entrada y salida de los trabajadores de las maquiladoras. La figura 4 muestra la estación situada en la parte posterior del edificio.



Fig. 4. Estación de monitoreo Delphi (Fuente: [http:// www.tnrcc.gov](http://www.tnrcc.gov))



### 2.1.3 Estación de monitoreo Protección Civil

La estación de Protección Civil se localiza en Boulevard Fronterizo y Av. Francisco Villa, en la Presidencia Municipal de Ciudad Juárez, colindando al norte con la vecina ciudad de EL Paso, Texas. El monitor se encuentra en el techo del edificio aproximadamente 30 metros a nivel de piso; cabe mencionar que a 20 metros

cruza el Río Bravo con poco caudal. El tráfico vehicular es continuo, debido a la facilidad de traslado de oriente a poniente utilizando el Boulevard Fronterizo y el acceso directo al centro de la ciudad por la avenida antes mencionada. La figura 5 muestra la ubicación de la estación de monitoreo Protección Civil en el edificio de la Presidencia Municipal y la figura 6 el sensor de la estación.



Fig. 5. Estación de monitoreo Protección Civil.

La figura 6 nos da la ubicación del sensor de temperatura en la parte superior del edificio de la Presidencia Municipal.



Fig. 6. Sensor de Estación de monitoreo Protección Civil.

### 2.1.4 Estación de monitoreo UACJ (IIT)

Esta estación meteorológica se ubica en la UACJ, en el Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT), en la Av. Henry Dunant y la Av. Del Charro; colindando al norte con la empresa Monarch y el Colegio de las Américas. El monitor se encuentra en el techo del edificio E del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental a 6 metros

del nivel del piso. Dentro del Instituto se localizan una gran cantidad de áreas verdes. En el perímetro se encuentran edificios industriales, comerciales y residenciales, por lo que existe un alto flujo vehicular por sus avenidas. La figura 7 muestra el sensor de la estación de monitoreo UACJ y la figura 8 un panorama general de la ubicación de la estación de monitoreo UACJ dentro del IIT.



Fig. 7. Sensor de Estación de monitoreo UACJ.



Fig. 8. Panorama general de la estación.

### 2.1.5 Estación de monitoreo Montada

Esta estación meteorológica se ubica en la estación de policía La Montada, situada al poniente de la ciudad en la Colonia Ampliación Fronteriza entre las calles Santiago y Nogales, al sur de la estación se localiza la sierra de Ciudad Juárez; al poniente existe una zona despoblada; al oriente la colonias Chihuahua y Oaxaca Izquierda y Derecha; al norte se encuentra la colonia Fronteriza Baja.

El Sensor se localiza en el techo del edificio a 6 metros de altura del nivel del piso. El flujo vehicular es bajo principalmente en la calle Nogales. Las áreas verdes en la zona son mínimas, la calle Nogales es la única que cuenta con pavimento localizada al frente de la estación. La figura 9 nos muestra la ubicación de la estación de monitoreo La Montada y la figura 10 el sensor de la estación.

Fig. 9. Estación de monitoreo montada.



Fig. 10. Sensor de Estación de monitoreo Montada.

## 2.2 El programa WeatherLink

En cada estación se cuenta con un dispositivo meteorológico llamado Monitor II, el cual está equipado para obtener información de temperatura externa e interna, humedad, presión barométrica, dirección y velocidad del viento, y punto de rocío. Una herramienta metodológica básica para la determinación del fenómeno en estudio fue el programa WeatherLink, compatible con Monitor II, ya que permitió obtener datos horario de temperatura en forma automática las veinticuatro horas del día. La pantalla de Monitor II presenta información en tiempo real de la temperatura externa o interna de la estación, dependiendo de la configuración predeterminada. Para el caso del presente estudio, se configuró el dispositivo para la temperatura misma que se puede obtener en grados Celsius o Fahrenheit en incrementos de 0.1° o 1°. El monitor también registra la temperatura máxima y mínima de cada intervalo.

La información registrada en Monitor II se descarga a través del programa de cómputo WeatherLink a través de los siguientes pasos:

- La computadora que se utiliza se carga con el programa
- En seguida se da de alta la estación que se tiene considerada monitorear
- Se interconecta la computadora con Monitor II
- Se inicia el programa con el icono pclick y se conecta con la estación en estudio
- Se activa el icono de descarga y aparece un recuadro donde el programa pregunta el periodo de tiempo que se solicita de la memoria de Monitor II.

La información descargada se almacena en un archivo de texto y está listo para usarse. La figura 11 muestra la pantalla principal del programa de cómputo Weatherlink

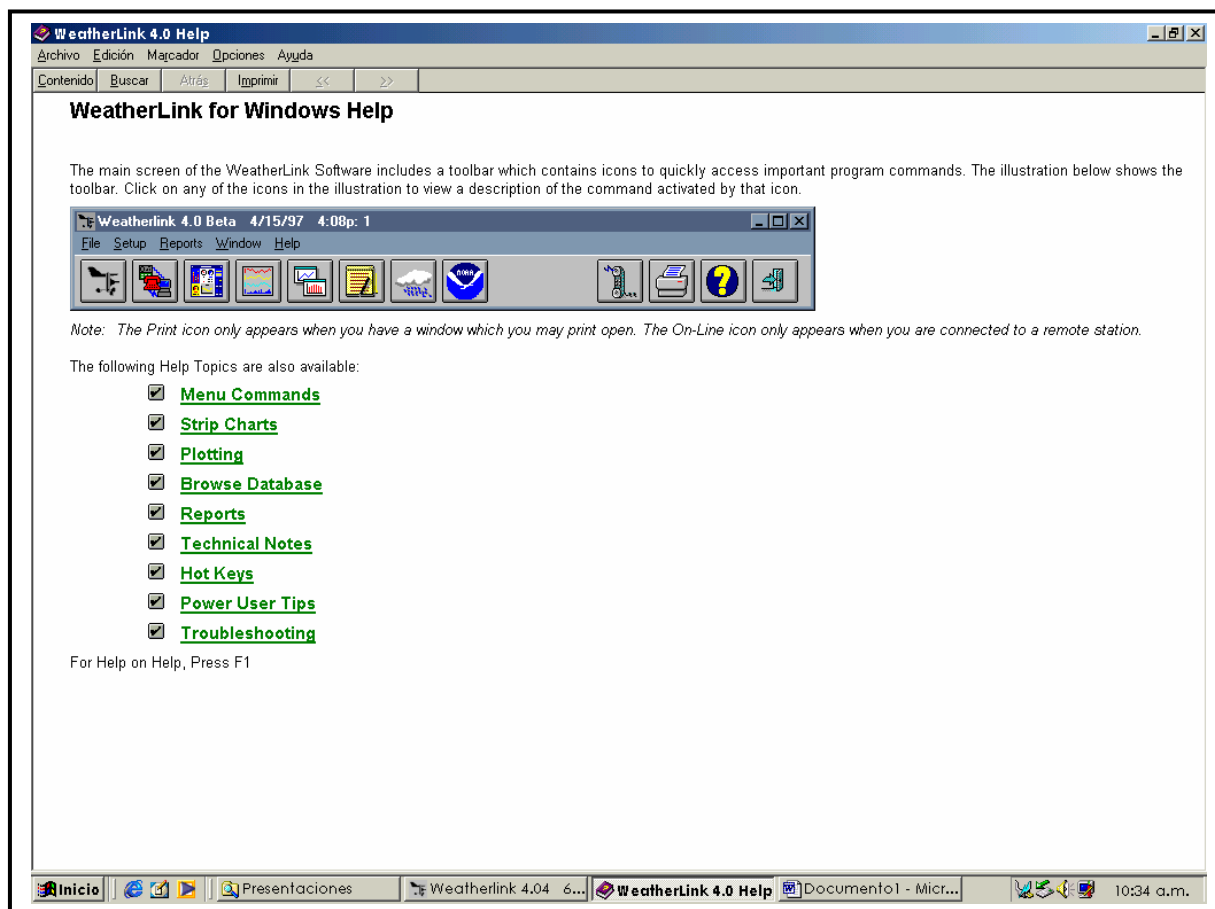


Figura 11 programa WeatherLink

### 2.2.1 Descripción de la actividad en campo

Para obtener los datos de temperatura en la zona semirural se requirió una computadora personal. En los casos de las zonas urbanas se tenía en el sitio de monitoreo una computadora fija. La computadora personal se conectó a Monitor II marca DAVIS; posteriormente se instaló el programa WeatherLink para descargar los datos de temperatura. Esta información no puede ser utilizada directamente para fines estadísticos por lo que se requiere trasladarla a Excel para su lectura y análisis. Se contó con termómetro para ratificar la temperatura en el medio ambiente

### 2.3 Bases de datos

Una vez que se pasó la información de temperatura a Excell, se eliminaron las columnas que contenían información irrelevante para el estudio (presión, humedad, etc.). Posteriormente se calcularon las diferencias de temperatura (ICU) entre cada una de las estaciones climatológicas (UACJ, Protección Civil, Advance, Delphi) con relación a La Montada. Se seleccionaron los datos máximos y mínimos diarios para cada una de las estaciones. Se elaboró una tabla con la información de los máximos y mínimos diarios y se obtuvo un promedio mensual para cada una de las estaciones. De los promedios anteriormente mencionados, se logró un promedio para invierno y otro para verano. Se consideraron los meses de enero y febrero (invierno) y de junio a septiembre (verano), debido a la información disponible. Se consideró solamente el año de 2003.

## 3. RESULTADOS

El Cuadro 3 presenta los valores de las ICU para los meses de enero y febrero así como los de junio a septiembre. También señala los valores de la ICU por estación (invierno y verano). La máxima intensidad de la ICU es negativa cuando la temperatura de la estación Montada es mayor que el promedio de las urbanas.

CUADRO 3. ICU PARA POR MES Y POR ESTACIÓN DEL AÑO							
	Enero	Febrero		Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Máximo (diurno)	7.56	5.9		5.04	5.09	4.42	4.66
Mínimo (nocturno)	-7.41	- 10.1		-5.55	-4.93	-6.02	-4.93
Máximo (diurno) para invierno	6.93 °C						
Mínimo (nocturno) para invierno	-8.76 °C						
Máximo (diurno) para verano	4.8 °C						
Mínimo (nocturno) para verano	-5.36 °C						

A manera de comprobación, se llevó a cabo el siguiente análisis propuesto por Oke (1987) para el cálculo de la ICU.

$$IUC_{max} = P^{0.25} 0.25u^{-0.5} \text{ (Oke, 1987)}$$

P = población

u = velocidad regional del viento a 10 m

u = 10 km/h (2.8 m/s)

P = 1445218 para 2004 (Hipotecaria Nacional, 2004)

$$IUC_{max} = P^{0.25} 0.25u^{-0.5} \text{ (Oke, 1987)} = 5.18 \text{ °C}$$

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

En Ciudad Juárez se cuenta con información de estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes zonas de la ciudad, mencionadas en el desarrollo de esta investigación, sin embargo, no se localizó un estudio relacionado directamente con las ICU. De acuerdo a la información recabada. Se concluye que el fenómeno de la ICU se presenta en la ciudad con un valor máximo diurno en promedio de 6 °C aproximadamente y un valor negativo máximo nocturno en promedio de de 7 °C aproximadamente.

### 4.2 Recomendaciones

1. Hacer un análisis estadístico en base a los registros históricos disponibles y otros que se puedan deducir o inferir de dichos registros, dado que esta información esta incompleta en la estación La Montada; o bien utilizar la información de la estación de Cementos de Chihuahua (CEC) que es una estación privada.
2. Llevar a cabo un estudio que relacione la ICU con la ICU del día anterior, la velocidad del viento, la nubosidad y la humedad relativa, así como el uso del suelo de la zona de estudio. Realizar experimentos para predecir la máxima intensidad de la ICU.
3. Reforestar áreas libres y de estacionamientos con flora de acuerdo a las condiciones climáticas de nuestra ciudad.
4. Usar pavimentos pétreos y evitar el uso de pavimentos del tipo asfáltico.
5. Usar colores claros en la pintura de fachadas para evitar la radiación de calor por causa de los colores llamados calientes (gammas de rojos y colores oscuros).
6. Teer acceso a la información de las estaciones de monitoreo privadas, considerando que esta es importante para estudios posteriores.
7. tener acceso Utilizar el análisis de sensores remotos para posteriores estudios
8. Tomar en cuenta las siguientes características en los estudios: albedo, emisividad y rugosidad (Bretz, *et al.*, 1995), en le caso de las superficies de edificios, casas habitación y pavimentos.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Bornstein, Robert y Qinglu Lin. "Urban heat island and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies". Atmospheric Environment. Febrero 1999:507-516.

Bretz Sarah, Hashem Akbari and Rosenfeld Arthur. "Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands". Atmospheric Environment. 1998:95-101.

Bruce Anderson y Malcolm Wells. Guía fácil de la energía solar pasiva: Calor y frío natural. (1981). Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., 1984.

City of Chicago. "Urban heat islands". <<http://www.ci.chi.il.us/Environmental/AirToxPollution/Spanish/islasdecalorurbanas.html>> (2002).

"Islas de calor urbano" <[http://www.puc.cl/sw\\_educ/contam/efect/efur15.htm](http://www.puc.cl/sw_educ/contam/efect/efur15.htm)> (2002).

Comrie, Andrew. "Mapping a wind-modified urban heat island in Tucson, Arizona (with comments on integrating research and undergraduate learning)". Bulletin of the American Meteorological Society. Octubre 2000: 2417-2431.

Chaparro, Sergio. "Climatología". <<http://www.uacj.mx/Publicaciones/sf/num2/clima.htm>> (2204).

Chaparro, S. Comunicación personal. 2003.

Dirección General de Promoción Financiera y Económica del Municipio de Juárez. Servicio Meteorológico del Estado de Chihuahua. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Servicio Meteorológico Nacional de El Paso Texas. <<http://www.juarez.gob.mx/>>

(2204).

Dupont E., *et al.* "Comparison between the atmospheric boundary layer in Paris and its rural suburbs during the ECLAP experiment". Atmospheric Environment. 1999:979-994.

EPA. [www.epa.gov/](http://www.epa.gov/) <2004>

Hipotecaria Nacional.

<[http://www.hipnal.com.mx/not\\_chihuahua.html](http://www.hipnal.com.mx/not_chihuahua.html)> (2004).

IMIP. <<http://www.juarez.gob.mx/>> (2002).

IMIP. "Plan de Desarrollo Urbano, Ciudad Juárez Chihuahua". Abril 2002.

INEGI. <<http://www.inegi.gob.mx/>> (2002).

Jauregui, Ernesto. "Heat Island Development in Mexico City". Atmospheric Environment. 1997:3821-3831.

Kim, Y.-H., y J.-J. Baik. "Maximum urban heat island intensity in Seoul". Journal of Applied Meteorology. Junio, 2002:651-659.

Oke, T.R. *et al.* "The energy balance of central Mexico during dry season". Atmospheric Environment. 1999:3919-3930.

Pomerantz, M. *et al.* "Reflective surfaces cooler buildings and cities". Philosophical Magazine. 1999:1457-1476.

Saaroni, H. *et al.* "Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel Aviv, Israel". Landscape and Urban Planning. 2000:1-18.

Texas Commission on Environmental Quality. "Air pollution and weather data". <http://www.tceq.state.tx.us/> (2004).