

USO DE PERCEPCION REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA LA DETERMINACION DE ISLAS DE CALOR URBANO EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA

Adriana Beatriz SOTO DIAZ^{*a}, Eli Rafael PÉREZ RUIZ^b

^{*a} Estudiante de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

^b Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Av. del Charro no. 450 Nte. Col. Partido Romero. Ciudad Juárez, Chih., CP 3231 E-mail:

*eli.perez@uacj.mx

RESUMEN

El crecimiento urbano es uno de los principales factores asociados con la emergencia de problemas ambientales. El cambio en el uso de suelo y la utilización de materiales con alta capacidad de absorción de radiación electromagnética ocasionan que las temperaturas en zonas altamente urbanizadas presente un incremento con respecto a zonas naturales, generando lo que se conoce comúnmente como Isla de calor Urbano (ICU). Con el objetivo de determinar las islas de calor urbano en Ciudad Juárez Chih., se utilizaron datos satelitales de temperatura de superficie de la Tierra, percepción remota y sistemas de información geográfica. Datos de Temperatura de Superficie de la Tierra (LST) del sensor MODIS fueron analizados en forma espacial y temporal con el fin de evaluar el comportamiento de la temperatura en el área urbana de Ciudad Juárez. Se encontró un patrón temporal de la temperatura regido por la estacionalidad climática. En cuanto a los patrones espaciales de distribución de la temperatura, se pudo observar un gradiente de temperatura entre las zonas periféricas del polígono urbano y las zonas centrales urbanizadas. Zonas claramente delimitadas con temperaturas máximas focalizadas se encontraron en zonas centrales de la ciudad, estableciendo la presencia de ICU.

Palabras clave: Isla de Calor Urbana, crecimiento urbano, zonas urbanas

1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano que experimentan las ciudades están asociados con múltiples problemas ambientales a medida que la población aumenta las zonas urbanas también reflejan este crecimiento, durante los últimos 60 años, la población en México ha crecido cinco veces. En 1950 había 25.8 millones de personas, y para el año 2010 se cuantificaron 112.3 millones, la población aumento 9 millones del año 2005 al 2010 lo que representa un incremento de alrededor del 1% por año (INEGI 2015)

Este aumento de las zonas urbanas ha ocasionado la reducción de la cubierta vegetal causando modificaciones en los ciclos hídricos y cambios regionales de los regímenes de temperatura y

precipitación, favoreciendo con ello el calentamiento global, la disminución en el secuestro de bióxido de carbono, así como la pérdida de hábitats o la fragmentación de ecosistemas Durante las últimas cuatro décadas este proceso se ha incrementado dramáticamente. Las causas de la degradación de los suelos en el país involucran actividades de diversa índole: 35% de la superficie nacional degradada se asocia a las actividades agrícolas y pecuarias (17.5% cada una de ellas) y 7.4% a la pérdida de la cubierta vegetal. El resto se divide entre urbanización, sobreexplotación de la vegetación y actividades industriales (SEMARNAT 2015). Trayendo afectaciones a la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. Para 2030, se estima que 60% de la población mundial vivirá en áreas urbanas (Banco Mundial, 2015).

La urbanización es un proceso territorial y socioeconómico que induce una transformación radical de la cobertura y del uso del suelo, el cual se encontraba ocupado en general por paisajes naturales o estaba dedicado a actividades agropecuarias. Este constituye el proceso que mayores cambios a producidos a el medio ambiente y en el funcionamiento de los ecosistemas, por lo tanto, está íntimamente ligado al incremento de los problemas ambientales y de los riesgos a fenómenos naturales. Las ciudades cuentan con medios de rápido escurrimiento del agua de lluvia a través de alcantarillas, desagües y colectores. De esta manera es escasa la evaporación y por lo tanto el aporte de las precipitaciones a la humedad relativa del ambiente urbano no es muy significativa. Por el contrario en las zonas rurales, el agua está disponible en mayor grado; ella permanece en superficie, se infiltra en el suelo permeable o es utilizada por la vegetación. Esto ha propiciado que al ocurrir periodos prolongados de lluvias, los sistemas de alcantarillado colapsen y provoquen grandes inundaciones trayendo repercusiones tanto económicas como de salud para los habitantes.

A medida que se amplía la mancha urbana y que la mayor parte de su superficie, se cubre de concreto nuestras edificaciones de vivienda y pavimento de calles se encuentran formadas por materiales de tipo pétreo como las rocas que tienen alta capacidad de absorber una gran cantidad de calor, para después liberarlo paulatinamente. De forma que la construcción de las ciudades actualmente se pueden entender como un obstáculo fabricado de materiales artificiales, que crea un sello que impiden la relación de los ciclos naturales entre el agua y la tierra. "La luz solar y el sol no tienen temperatura sino que al dar contra las superficies, una parte es absorbida por estas y otra devuelta (refractada) en forma de energía de calor a el espacio"

La capacidad de reflexión de la radiación solar es denominada genéricamente con el término de albedo el cual se define como el porcentaje de energía reflejada por un cuerpo en relación con el total de la energía incidente sobre él y adopta valores variables en función de dos parámetros en

primer lugar, el ángulo de incidencia de los rayos solares, de forma tal que mientras menor sea este mayor será el porcentaje de energía reflejada, y en segundo lugar, de la naturaleza del cuerpo sobre el cual incide la radiación, siendo en este sentido la naturaleza enormemente variable (Cuadrat & Pita, 1997)

Es evidente que los cambios inducidos por acciones antropogénicas al suelo, agua y atmósfera pueden ser sustanciales en el aumento de temperatura de la superficie.

Las islas urbanas de calor (ICU) es un fenómeno común en el que las temperaturas superficiales son más altas en las zonas urbanas que en las zonas rurales circundantes y este representa uno de los cambios más significativos inducidos por el hombre en el clima de la superficie terrestre ya que es el resultado de dos procesos diferentes pero asociados de la urbanización como lo es la modificación de la cobertura de suelo y las actividades que se dan por lo general en las ciudades como los son: el transporte y la industria ya que sus emisiones térmicas contribuyen a el aumento de las temperaturas de las zonas urbanas

El aumento de las zonas urbanas lleva a la modificación de la cobertura del suelo natural, trayendo un incremento en las temperaturas de estas zonas por la disminución del albedo y la falta de cobertura vegetal.

El tema es cada día más importante debido a la tendencias mundial hacia la urbanización y el crecimiento disperso de las ciudades, así como porque las ICU tiene implicaciones directas en la calidad del aire, salud pública, la gestión energética, en la planeación urbana así como en la formulación de estrategias de mitigación.

En nuestra ciudad se han realizado muy poco este tipo de estudios y los realizados no determinan las áreas afectadas por las ICU. Por lo que se hace necesario este análisis.

2 METODOLOGIA

Para la determinación de ICU en Ciudad Juárez se utilizaron herramientas de percepción remota y sistemas de información geográfica consistentes en: obtención de imágenes satelitales, procesamiento de las imágenes satelitales, extracción y análisis de datos.

Los datos satelitales consistieron en imágenes de Temperatura de Superficie de la Tierra (Land Surface Temperature, LST), del producto MODIS MOD11A2 LST & Emmissivity. Los datos fueron obtenidos de MODIS Collection 5 Land Products Global Subsetting and Visualization Tool (ORNL DAAC, 2008), teniendo como pixel central del subset las coordenadas geográficas 31.6908N y 106.4319W, para el año de 2014, con una resolución temporal de 8 días, comenzando el 1 de enero y concluyendo el 27 de diciembre. La resolución espacial de los datos es de 1 km por 1 km, teniendo un tamaño total de subset de 201 x 201 km (Ver Figura 1).

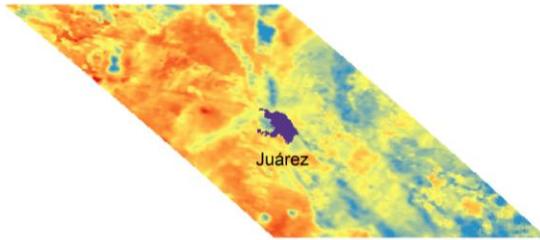


Figura 1. Imagen obtenida para LST, con un área de 201 x 201 km y una resolución de 1 km.

Al área obtenida fue posteriormente delimitada al polígono del área urbana de Ciudad Juárez, obtenido del Marco Geoestadístico Nacional 2014 (INEGI, 2014) (Ver Figura 2). Los datos satélites analizados consistieron en la LST diurna y LST nocturna, con el fin de observar patrones de temperatura consistentes con ICU. Se analizaron un total de 46 imágenes diurnas y 46 imágenes nocturnas.

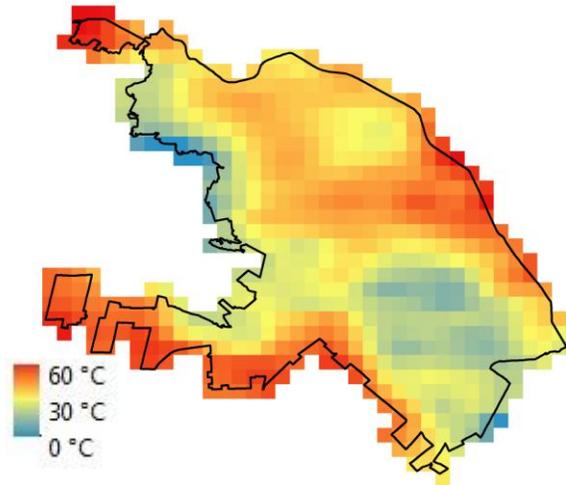


Figura 2. Delimitación de los datos de LST a la zona urbana de Ciudad Juárez.

El procesamiento de los datos satelitales consistió en la conversión de los números digitales (DN) del producto en temperaturas en °C. Para el procesamiento y visualización de las imágenes se utilizó el software ArcGIS 10.2.2 (Esri Inc.). Los números digitales de LST pueden encontrarse en un rango de 7500-65535 DN. El factor de escala para este producto es de 0.02, por lo que la conversión de DN a °C se hizo utilizando la siguiente ecuación $^{\circ}\text{C} = \text{DN} * 0.02 - 273.15$. Adicionalmente, se obtuvieron isotermas en intervalos de 1°C para mejorar la visualización de los gradientes de temperatura en el área urbana.

Los datos extraídos de las imágenes consistieron en valores promedio de temperatura, temperaturas máximas y temperaturas mínimas, con el fin de observar los gradientes de temperatura y la formación de ICU. Además, se analizó la variabilidad temporal y espacial de las variables.

Como control de calidad, las imágenes que presentaban cobertura nubosa fueron descartadas en los análisis realizados. Se descartaron 1 imagen de datos nocturnos y 13 imágenes diurnas. Dichas imágenes fueron consideradas solo para fines visuales.

3 RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Análisis temporal de la temperatura.

Los datos extraídos de las imágenes LST de día (Figura 3) muestran una diferencia considerable entre los valores mínimos y máximos de temperatura registrados en el área urbana de Ciudad Juárez. Si bien tanto los valores máximos como mínimos siguen un comportamiento similar a lo largo del año, se pueden observar rangos de temperatura desde alrededor de 5 °C, hasta rangos de por encima de 11 °C. A pesar de la variabilidad en los rangos, no hay una tendencia temporal clara de la prevalencia de rangos más amplios en alguna estación del año. Las temperaturas mínimas variaron desde los 15°C hasta por encima de los 45°C, mientras que las temperaturas máximas arrojadas fueron entre 23 y 64 °C aproximadamente. Cabe aclarar que esta temperatura no es temperatura del aire, si no resultado de la emisión de radiación por parte de la superficie de la tierra.

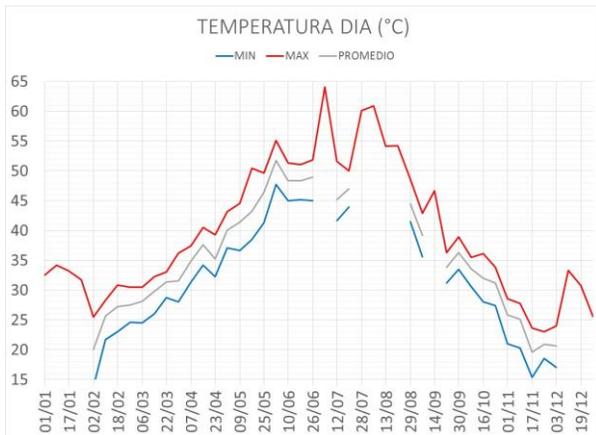


Figura 3. Evolución de la temperatura diurna a lo largo del año.

En lo que respecta al comportamiento de la temperatura durante la noche (Figura 4), como es de esperarse, las temperaturas fueron inferiores a las registradas durante el día, teniendo rangos de temperatura de entre -18 y 8 °C aproximadamente para las mínimas, y de -12 a 15 °C en las máximas. Los rangos de temperaturas estuvieron entre los 4 y poco más de 10 °C, sin embargo, contrario a los rangos observados durante el día, los rangos

nocturnos fueron más constantes en su comportamiento.

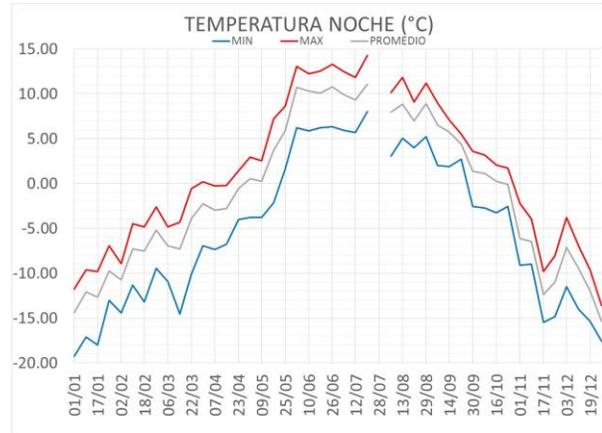


Figura 4. Evolución de la temperatura nocturna a lo largo del año.

3.2 Análisis espacial de la temperatura.

La distribución espacial de la temperatura varió considerablemente de una estación a otra, debido en gran parte a la variación natural de las temperaturas con las estaciones del año. Sin embargo, patrones o gradientes de temperatura pudieron ser observados, tanto en época invernal, como en verano.

Durante la época fría, el patrón espacial mostró temperaturas menores en las zonas periféricas de la ciudad, que se incrementaban gradualmente en la zona central del polígono urbano, continuando su incremento hasta la zona centro norte de la ciudad. Este comportamiento puede ser observado con algunas variaciones espaciales. La Figura 5 muestra los valores de LST y la isoterma para el 22 de febrero de 2014, mostrando el comportamiento típico mostrado por las temperaturas en la época fría. La diferencia entre los valores de temperatura mostrados en las zonas periféricas del sureste del polígono urbano varió en rangos desde los 4 °C hasta inclusive los 10 °C, mostrando una variabilidad en los gradientes. Este comportamiento típico muestra claramente que a medida que nos adentramos más en la zona urbana, la temperatura aumenta durante la noche.

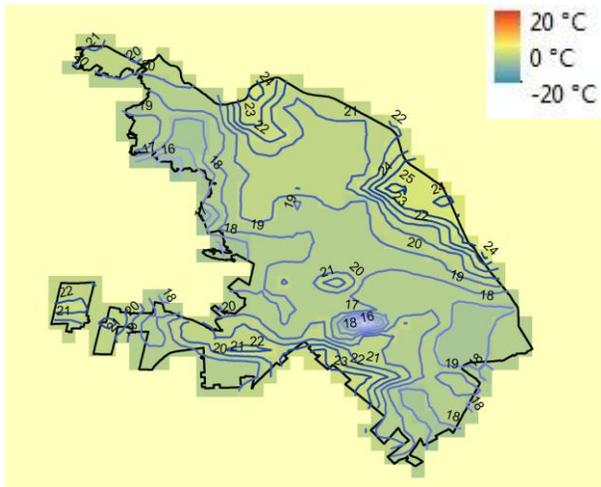


Figura 5. Ejemplo del comportamiento espacial de la temperatura diurna en temporada invernal.

Durante el verano la tendencia en el comportamiento espacial de la temperatura fue similar al de la noche, con la clara especificación de que las temperaturas registradas fueron mayores. A pesar de que en todas las zonas de la ciudad registraron temperaturas considerablemente elevadas, un gradiente espacial similar al del invierno puede ser observado. Las temperaturas más bajas registradas se ubican en la zona sureste de la ciudad, y a medida que nos adentramos a la parte centro del polígono las temperaturas aumentan, teniendo dos puntos centrales máximos en la zona centro norte, mostrando claramente la focalización de las temperaturas máximas a dos áreas específicas.

La Figura 6 muestra el comportamiento de la temperatura el día 12 de julio de 2014, en el que se aprecia claramente el comportamiento mencionado en el párrafo anterior, comportamiento que es constante (con ligeras variaciones) a lo largo de la época calurosa.

En ambos periodos del año, las temperaturas máximas registradas se ubican en la zona centro norte, zona conocida por ser el centro de la ciudad, el lugar más urbanizado del polígono urbano. Las temperaturas más bajas se encuentran en la zona sureste, que se encuentra rodeada por los matorrales del Desierto Chihuahuense, y en la zona centro-oeste, que se encuentra al pie de la Sierra de Juárez

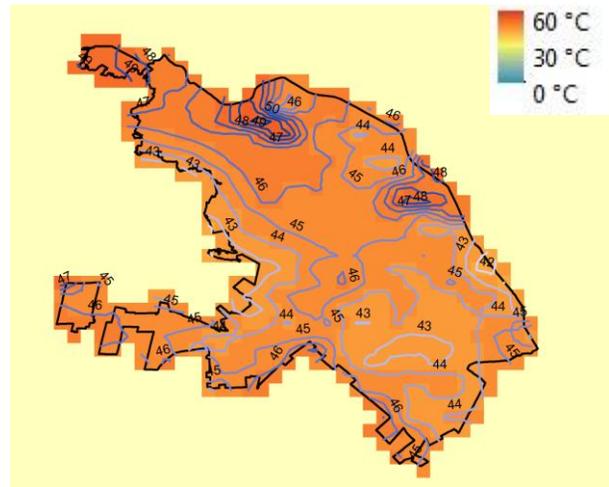


Figura 6. Ejemplo del comportamiento espacial de la temperatura diurna durante el verano.

Durante la noche, el comportamiento de los patrones espaciales fue distinto durante la época invernal y el verano. Durante la época fría, se puede observar de nueva cuenta un gradiente espacial de temperatura, con temperaturas menores en las zonas periféricas, sin embargo, las temperaturas mayores se registran en la zona centro del polígono, contrario a las temperaturas invernales máximas del día, que se registran en la zona centro-norte. En la Figura 7 se puede ver el comportamiento del día 1 de enero de 2014, en el cual se observa lo anteriormente mencionado.

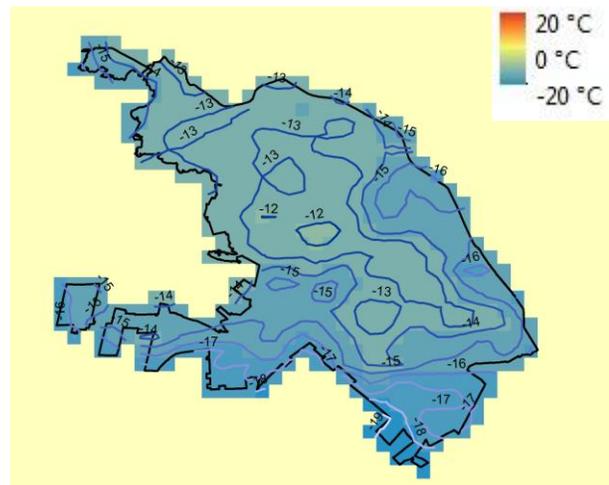


Figura 7. Ejemplo del comportamiento espacial de la temperatura nocturna en temporada invernal.

En el caso del comportamiento de la temperatura nocturna durante el verano, se aprecia un comportamiento similar al observado en los comportamientos diurnos en verano e invierno, con temperaturas menores en la zona periférica de la ciudad y un incremento gradual de la temperatura hacia la zona centro-norte. La Figura 8 muestra el comportamiento del día 26 de junio de 2014, que muestra el comportamiento típico de las temperaturas nocturnas de verano.

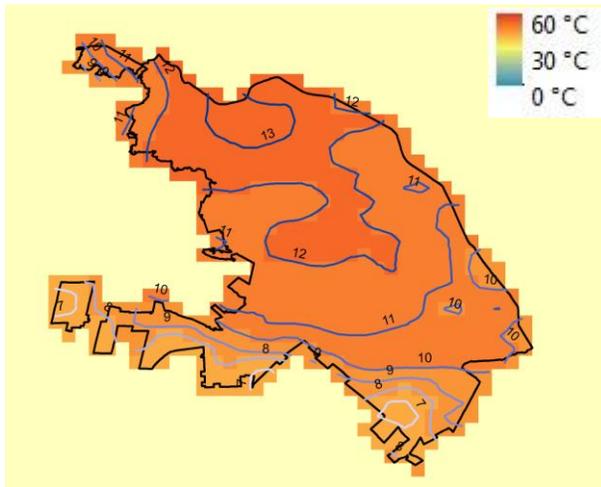


Figura 8. Ejemplo del comportamiento espacial de la temperatura nocturna en temporada de verano.

3.3 Valores máximos de temperatura e ICU

Los valores máximos de temperatura reflejan claramente las zonas dentro del polígono urbano que presentan las máximas temperaturas, definiendo las zonas consideradas como ICU, zonas donde la temperatura, debido a la urbanización, es mayor a la temperatura de las zonas no urbanizadas, pudiendo haber, hasta en algunos casos, diferencia de hasta 10 °C entre la temperatura de las zonas periféricas y las zonas consideradas ICU.

La Figura 9 muestra los valores máximos de temperatura anuales obtenido para cada pixel. En dicha imagen se aprecian con claridad las zonas focalizadas donde se concentran las temperaturas máximas registradas. Tomando en cuenta los valores máximos durante el año, se pueden observar tres zonas perfectamente definidas como ICU.

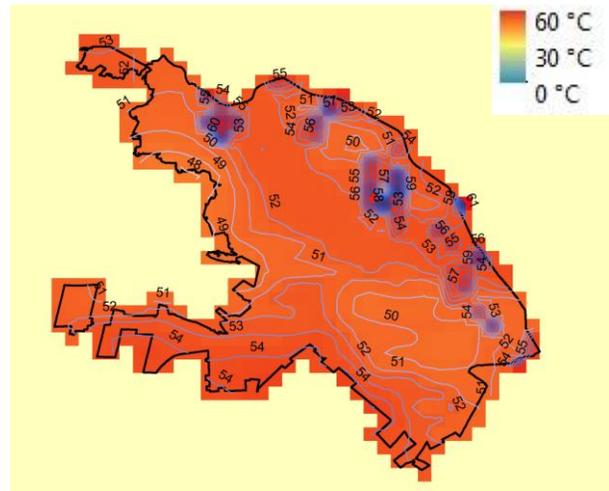


Figura 9. Valores máximos anuales de temperatura registrados durante el día.

La Figura 10, muestra los valores máximos anuales de temperatura durante la noche. Al considerar los valores máximos anuales, podemos observar zonas de menor temperatura en la periferia de la ciudad, y una zona de temperatura máxima localizada en la parte central del polígono.

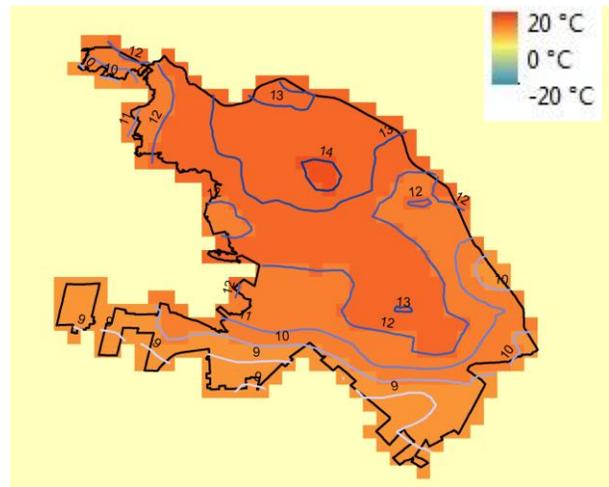


Figura 10. Valores máximos anuales de temperatura registrados durante la noche.

4 CONCLUSIONES

El análisis realizado a la temperatura de superficie de la Tierra mostró un patrón temporal de temperatura dominado por las estaciones del año, con temperaturas máximas en los meses de verano y mínimas durante el invierno. Los rangos entre temperaturas mínimas y máximas fueron variables,

pudiendo encontrar rangos entre los 4 °C y hasta 11 °C de diferencia.

Por otra parte, la variabilidad espacial de la temperatura mostró comportamiento distinto en la noche y en el día. Las temperaturas diurnas fueron menores en las zonas periféricas y se encontraron zonas de mayor temperatura en la parte centro-norte del polígono urbano, tanto en verano como en invierno. Para temperaturas nocturnas, las temperaturas más bajas también fueron encontradas en la periferia, sin embargo, las temperaturas máximas, contrario al día, si encontraron en la zona centro del polígono urbano. La ubicación de zonas que pueden ser consideradas como ICU fue claramente determinada por medio del análisis de la variabilidad espacial de los gradientes de temperatura.

El uso de datos satelitales de temperatura de superficie de la Tierra, así como el uso de percepción remota y sistemas de información geográfica son herramientas muy importantes para el análisis y determinación de este tipo de variables. Sin embargo, la realización de un estudio más profundo es necesario, contemplado mediciones in situ de temperatura del aire, corrientes de viento, así como la consideración del uso de suelo preponderante en las zonas evaluadas.

5 REFERENCES

- Banco Mundial. 2015. Datos y cifras sobre desarrollo urbano. Sitio web: <http://www.bancomundial.org/temas/cities/datos.htm>
- Capelli, A. M. *et al.* 1985. Clima urbano de Bahía Blanca. Campo de Ferras Departamento de Geografía y turismo Universidad Nacional del Sur 1985, 1era edición Buenos aires.
- Cuadrat, J. M. & Pita, M. F. 1997. Climatología. Madrid
- INEGI. 2014. Marco Geoestadístico Nacional
- INEGI.2015. Población, Números de habitantes. Sitio web: <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>, consultado el 30 de Septiembre de 2015.
- ORNL DAAC. 2008. MODIS Collection 5 Land Products Global Subsetting and Visualization Tool. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. Accessed September 07, 2015. Subset obtained for MOD11A2 product at 31.6908N,106.4319W, time period: 2014-01-01 to 2014-12-27, and subset size: 201 x 201 km. <http://dx.doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1241>
- SEMARNAT. 2015. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales indicadores clave y desempeño ambiental. Edición 2012, Capítulo 3, Suelos, Sección: La degradación de los suelos en México.
- Wan, Z. 2006. Collection-5 MODIS Land Surface Temperature Products User's Guide. ICESSE, UCLA.