

ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL EN SAN CARLOS-COJEDES EMPLEANDO SENSORES REMOTOS

(Estimation of surface temperature in San Carlos-Cojedes using remote sensing)

Ernesto Hernández Gil

UNELLEZ - San Carlos, Cojedes. Venezuela

E-mail: ernestohernandezgil@gmail.com

Recibido: 12/01/17 -Aceptado: 06/05/17

RESUMEN

El objeto de este estudio fue determinar la temperatura superficial de la ciudad de San Carlos, municipio Ezequiel Zamora del estado Cojedes, para el mes de febrero de los años 2004 y 2016, mediante el uso de la metodología de SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm For Land) de evapotranspiración. El análisis se realizó a partir archivos Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Las imágenes estudiadas presentaron diferencias en temperatura del casco urbano y sus adyacencias, con una temperatura predominante en la ciudad entre 27-30°C y de 30-33°C en la periferia urbana para el año 2004, mientras que para el año 2016, estos rangos se incrementaron en 3°C y 6°C, respectivamente. Las diferencias máximas son 12°C para el 2004 y 18°C para el año 2016. Los resultados evidencian que en las mañanas (10:00 a 11:00 am) en el casco urbano se tienen temperaturas más bajas que su entorno no arbolado.

Palabras clave: temperatura superficial, San Carlos, sensores remotos y landsat.

SUMMARY

The objective of this study was to determine the surface temperature of the city of San Carlos, municipality Ezequiel Zamora Cojedes state, for the month of February 2004 and 2016, using the methodology SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm For Land) for evapotranspiration. The analysis was performed files from Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). The images studied showed differences in temperature of the town and its surroundings, with a prevailing temperature in the city between 27-30°C and 30-33°C in the urban periphery for 2004, while for 2016, these ranges were increased by 3°C and 6°C, respectively. The maximum difference is 12°C in 2004 and 18°C in 2016. The results show that in the mornings (10:00 to 11:00 am) in the town are have lower temperatures than their surroundings unwooded.

Keywords: surface temperature, San Carlos, remote sensing and landsat.

INTRODUCCIÓN

Las ciudades presentan temperaturas del aire superiores a las zonas rurales próximas, a este fenómeno se le denomina isla de calor urbana (Voogt y Oke, 2003), debido a la ganancia térmica de las edificaciones y pavimentos, la actividad industrial y el parque automotor, entre otros (Correa et al., 2003; Tumini, 2010 y Cordero, 2014). En el estado Cojedes, la única estación climatológica con datos de temperatura, es la estación San Carlos-UNELLEZ, en tal sentido resulta imposible realizar estudios de este fenómeno con información tradicional.

Actualmente, se tiene la tendencia al uso de datos obtenido por teledetección, donde la información de los sensores permiten calcular la temperatura de la superficie terrestre (Pérez et al., 2003; Chen et al., 2005; Córdova, 2011; Wardana, 2015 y Zhou et al., 2015). En este caso se utilizará parcialmente el método de SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm For Land), mejorado por Bastiaanssen et al. (2002).

Por lo tanto, el propósito general de esta investigación es determinar la distribución de las temperaturas superficiales de la ciudad de San Carlos, capital del estado Cojedes, para el mes de febrero de los años 2004 y 2016, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+, descargadas de United States Geological Survey [USGS] (2016).

METODOLOGÍA

Área de estudio

La ciudad de San Carlos, capital del estado Cojedes, está ubicada entre las coordenadas

9°36'00" y 9°41'45" de latitud Norte y los 68°33'00" y 68°36'00" de longitud Oeste, con una elevación promedio de 155 msnm, una temperatura promedio de 29,6 °C, con julio y agosto como los de menor registro y febrero, marzo y abril como las mayores temperaturas medias extremas (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMEH], s/f) y una precipitación media anual de 1523 mm, distribuido principalmente entre los meses de mayo a octubre, siendo los más secos de Diciembre a Febrero (Paredes, 2009).

Información preliminar

Para el estudio se han utilizado imágenes Landsat 7, en formato tiff y geo referenciadas con coordenadas UTM, datum WSG-84, zona 19N, con buenas condiciones meteorológicas o con la menor presencia de nubes en el área analizada. Se seleccionaron las escenas correspondientes al mes de febrero, una el 26 de 2004 y la otra el 27 de 2016.

Procedimiento de cálculo

Para la determinación de la temperatura superficial se utilizó el programa ENVI Classic 5.0, para el apilamiento (unión de bandas) de las imágenes y el ERDAS Imagine 14.0 para el procesamiento de las imágenes. Se utilizó parcialmente el método de la SEBAL de evapotranspiración, como se indica a continuación:

1. Cálculo de la Radiancia Espectral

Se hace la conversión del número digital (DN, por sus siglas en inglés), que constituye la intensidad de la señal recibida o reflejada por un área de la superficie terrestre, a radiancia espectral (RaE) en W/m². La radiancia espectral se calculó

con la siguiente ecuación:

$$RaE = \frac{(L_{max} - L_{min})}{Q_{cal_{max}} - Q_{cal_{min}}} \times (DN - Q_{cal_{min}}) + L_{min} \quad [1]$$

donde: DN = número digital

$Q_{cal_{min}}$ y $Q_{cal_{max}}$ = mínimo y máximo valor de píxel calibrado correspondiente a L_{min} y L_{max} , para cada banda.

L_{min} y L_{max} = es el resplandor o brillo en el sensor para $Q_{cal_{min}}$ y $Q_{cal_{max}}$ (W/m^2)

Los valores de $Q_{cal_{max}}$, $Q_{cal_{min}}$, L_{max} y L_{min} , se obtienen del archivo de metadatos, que se descargó con la imagen satelital.

2. Cálculo de la Reflectividad o Reflectancia

Se computó la reflectancia con la expresión matemática:

$$Ref = \frac{\pi \times RaE \times d^2}{ESUN_i \times \cos \theta} \quad [2]$$

Donde: Ref = reflectividad o reflectancia.

π = constante matemática igual a 3, 14159.

d = distancia de la tierra al sol, se obtiene con el "DOY" que es la secuencia de días del año, en la tabla 6 de Chander *et al.* (2009).

$ESUN_i$ = media de irradiancia exoatmosférica solar (W/m^2), por banda, para el Landsat 7 se indican en la tabla 4 de Chander *et al.* (*op. cit.*).

θ = ángulo solar cenital (indicado en el archivo de metadatos)

3. Cálculo de los Índices de Vegetación

Los índices de vegetación utilizados se calcularon utilizando los valores de reflectividad, tal y como se indica continuación:

$$NDVI = \frac{Ref_4 - Ref_3}{Ref_4 + Ref_3} \quad [3]$$

$$SAVI = \frac{(1 + L) \times (Ref_4 - Ref_3)}{L + Ref_4 + Ref_3} \quad [4]$$

$$LAI = \frac{\log\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad [5]$$

donde: NDVI = es el Índice Diferencial de Vegetación Normalizado, indicador de la cantidad y estado de la vegetación verde.

Ref_3 y Ref_4 = son las reflectividades o reflectancias de las bandas 3 y 4.

SAVI = es el Índice de vegetación ajustado al suelo.

L = es una constante para el SAVI, en este caso se utiliza la del sur de Idaho (0,1)

LAI = Índice de área foliar, es un indicador de la biomasa y la resistencia del dosel.

4. Cálculo del Albedo en el tope de la Atmosfera

Es el albedo no ajustado para la transmisividad atmosférica, se calculó así:

$$AToA = \Sigma\left(\frac{ESUN_i}{\Sigma ESUN_i} \times Ref\right) \quad [6]$$

donde: AToA = es el Albedo en el tope de la atmósfera

$\frac{ESUN_i}{\Sigma ESUN_i}$ = es un coeficiente ponderado para cada banda

5. Cálculo del Albedo Superficial

La determinación de este Albedo es mediante la corrección del AToa, con las siguientes expresiones:

$$AS = \frac{AToA - \alpha_{path\ radiance}}{\alpha_{tsw}^2} \quad [7]$$

$$\alpha_{tsw} = 0,75 + 0,00002 \times Z \quad [8]$$

donde: AS = es el Albedo superficial.

$\alpha_{path\ radiance}$ = es la porción media de la radiación solar entrante a través de las bandas que es difundida hacia los satélites antes de que ésta alcance la superficie terrestre.

α_{tsw} = es la radiación solar y radiación difusa hacia la superficie, se utiliza el valor recomendado por la SEBAL es 0,03 (Bastiaassen *et al.*, *op. cit.*).

Z = es la elevación del área de interés sobre el nivel del mar (msnm). Se toma la de la estación meteorológica, de 160 m para San Carlos-UNELLEZ (INAMEH, *op. cit.*).

6. Cálculo de la Emisividad

Es la relación de la energía térmica irradiada por la superficie y la energía térmica radiada por un cuerpo negro a la misma temperatura, la denotaremos como ϵ_{nb} . Para su determinación se empleó las siguientes condicionantes:

$$\epsilon_{nb} = 0,97 + 0,003 \times LAI \quad \text{para } LAI < 3 \quad [9]$$

$$\epsilon_{nb} = 0,98 \quad \text{para } LAI < 3 \quad [10]$$

$$\epsilon_{nb} = 0,99 \quad \text{para } NDVI < 0 \quad [11]$$

7. Cálculo de la Temperatura Superficial

La temperatura de la superficie (TS) en grados Celsius, se calculó con la siguiente ecuación:

$$TS = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{nb} \times K_1}{Ref6} + 1\right)} - 273,15 \quad [12]$$

donde: K_1 y K_2 = son constantes térmicas para las imágenes Landsat 7 EMT+, K_1 es 666,09 W/m² y K_2 1282,71°K (Tabla 9.2 de National Aeronautics And Space Administration [NASA], 2011).

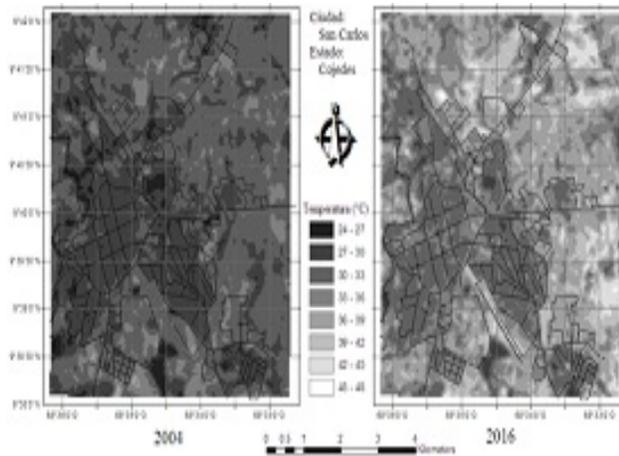
PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los valores estimados de temperatura superficial (TS) de las imágenes de satélite indican los puntos de temperaturas altas y más bajas en toda la ciudad y sus alrededores para los años 2004 y 2016 (figura 1). Las imágenes estudiadas presentaron diferencias en la TS promedio de la ciudad y aquellas áreas adyacentes, algunas de ellas con vocación agrícola y otras simplemente terrenos baldíos o ejidos municipales, con un rango entre 27-30°C para el casco urbano y de 30-33°C en la periferia en el año 2004, mientras que para el año 2016, estos rangos incrementaron a 30-33°C y 33-36°C, respectivamente.

Las temperaturas máximas tanto para el año 2004 y 2016, de 37°C y 46 °C respectivamente, no ocurren en áreas pavimentadas o edificadas, pertenecen a terrenos desnudos, productos de la sequía o de incendios forestales, similar a lo encontrado por García (2007) y Pérez *et al.* (*op. cit.*). La mayor diferencia de TS entre el área urbana y la periferia fue más de 12°C para el 2004 y 18°C para el año 2016. Las temperaturas más bajas dentro de la ciudad ocurren en pequeñas arboladas ubicadas al

sur y centro de la figura 1, correspondiente al sureste de la zona industrial y el Barrio La Mapora.

Figura 1. Temperaturas superficiales (°C) de la ciudad de San Carlos, años 2004 y 2016.



CONSIDERACIONES FINALES

El estudio de la temperatura superficial suministra información excelente para el análisis del entorno urbano, así como el apoyo en diversos procesos de toma de decisiones para la planificación y desarrollo de la ciudad. La investigación identificó que las zonas de más altas temperaturas no se encuentran en las áreas urbanizadas, se localizan en las periferias, en terrenos desprovistos de cobertura vegetal.

Las alarmantes cifras de TS, como el incremento en las medias en más de 3°C entre 2004 y 2016, además de la máxima diferencia térmica entre el área urbana y la periferia, +12°C para el 2004 y +18°C para el año 2016, contrastadas con las registradas en zonas arboladas (25°C en 2004 y 29°C para 2016), indican que la planificación de espacios verdes en las zonas urbanas, resultan de

notable beneficio que deben considerarse en la planificación previamente indicada.

REFERENCIAS

- Bastiaanssen W.; Waters, R.; Allen, R.; Tasumi, M. and Trezza, R. 2002. SEBAL Surface Energy Balance Algorithms for Land Idaho Implementation Advanced Training and User's Manual. NASA EOSDIS/Synergy grant from the Raytheon Company through The Idaho Department of Water Resources. P. 98.
- Chander, G., Markham, B. And Helder, D. 2002. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*. ELSEVIER N° 113: 893–903.
- Cordero, X. 2014. Microclima y confort térmico urbano. Análisis sobre la influencia de la morfología del cañón urbano. Caso de estudio en los barrios El Raval y Gracia, Barcelona. Máster en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. 112 pp.
- Córdova, K. 2011. Geotecnología espacial aplicada al estudio del clima urbano: Análisis térmico superficial en la ciudad de Caracas-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*. 52(2): 31-46.
- Correa, E.; Flores, L. y Lesino, G. 2003. Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. Informe de avance. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. ASADES 7(2): 25-30.
- García, R. 2007. Los sensores remotos y su aplicación en la meteorología: un estudio de caso. XVI Congreso Internacional de Meteorología, Edición Internacional. Organización Mexicana de Meteorólogos A.C. (OMMAC), Veracruz. México. P. 10.
- Instituto Nacional De Meteorología E Hidrología. s/f . Estadísticos Básicos. Temperatura y humedades relativas máximas y mínimas. p. 96.
- Kusuma, I. 2015. Analysis of urban surface temperature for Green spaces planning in Bandung City, Indonesia. Thesis Master of

- Science in Geo-information Science and Earth Observation. University of Twente. Enschede, The Netherlands. 89 pp.
- National Aeronautics And Space Administration. s/f. Landsat 7 Science Data Users Handbook. National Aeronautics and Space Administration. p. 186.
- Ngie, A.; Abutaleb, K.; Ahmed, F.; Taiwo, O.; Darwish, A. and Ahmed, M. 2015. An Estimation of Land Surface Temperatures from Landsat ETM+ images for Durban, South Africa. International Conference in Geospatial Technologies for Sustainable Urban and Rural Development. University of Rwanda and University of Twente. Kigali. Rwanda. 9 pp.
- Paredes, F. 2009. Nociones elementales de la climatología y hidrología del estado Cojedes. Publicaciones del Área de Estudios de Postgrado. Serie Investigación. No. 1. UNELLEZ-San Carlos. Cojedes, Venezuela. 262 pp.
- Pérez, M.; García, P. y Guerra, A. 2003. Análisis del clima urbano a partir de imágenes de satélite en el centro peninsular español. Anales de Geografía de la Universidad Complutense. N° 23: 187-206.
- Tumini, I. 2010. Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid. Congreso Internacional Sustainable Building. Madrid. España. P. 15.
- United States Geological Survey. 2016. Landsat Archive. LANDSAT 7 ETM+ SLC-off (2003-present). [Online] En <http://earthexplorer.usgs.gov/> [Consulta: diciembre 15, 2016].
- Voogt, J. and Oke, T. 2003. Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environment. ELSEVIER N° 86: 370–384.
- Zhou, G.; Chen, W.; Fan, D. and Cen, M. 2005. Multi-variables analysis of urban surface temperature. ASPRS 2005 Annual Conference: Geospatial Goes Global: From Your Neighborhood to the Whole Planet. Baltimore, Maryland. 9 pp.