

Análisis de la presencia de islas de calor en el Cantón Rumiñahui mediante el tratamiento de imágenes Landsat 7 ETM+

Liseth Jami, María Belén Mora, Oswaldo Padilla, Eduardo Kirby

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE/Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción/Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente/ Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador

liseth_dic@hotmail.com, mabelenmorap@gmail.com, ovpadilla@espe.edu.ec, epkirby@espe.edu.ec

Resumen—Se considera que en los últimos años la temperatura superficial ha aumentado, este fenómeno puede deberse al cambio de uso de suelo, crecimiento de zonas urbanas y densidad poblacional dando lugar a fenómenos térmicos tales como las islas de calor. Mediante el uso de sensores remotos con banda térmica, es posible determinar las variaciones de temperatura superficial, su extensión e intensidad. El cantón Rumiñahui se encuentra ubicado en Ecuador, en la provincia de Pichincha, en el valle de Los Chillos, donde los asentamientos en las zonas urbanas ha ido en aumento en los últimos años, es por ello que se hace necesario el análisis de temperatura superficial además de su relación con otros factores tales como vegetación, agua y construcciones para determinar si estos son incidentes en la variación de la misma. Para ello se utilizaron dos imágenes Landsat 7 ETM+ la primera correspondiente al año 2001 y la segunda al año 2016 a partir de las cuales se determinó temperatura superficial e índices tales como NDVI (Índice Diferencial Normalizado de Vegetación), NDWI (Índice Diferencial Normalizado de Agua), NDBI (Índice Diferencial Normalizado de Construcciones) para establecer si existe una relación entre ellos mediante un análisis de correlación de variables obteniéndose que estos factores presentan una fuerte correlación con valores que varían entre 0,6 a 0,9. Finalmente, se determinó que las zonas con mayor temperatura se encuentran en el centro de la ciudad de Sangolquí y San Rafael.

Palabras Claves—Agua, construcción, índices, temperatura, vegetación.

Abstract—The superficial temperature is a phenomenon that in recent years, has increased considerably as well as the growth of urban areas and population density, all these factors lead to a number of climatic changes including the increase in surface temperature. Through the use of remote sensors with thermal band, it is possible to determine the variations in the surface temperature patterns, their extension and intensity. Rumiñahui canton is located in Ecuador, in the province of Pichincha, where settlements in urban areas has been increasing in recent years, which is why it is necessary to analyze surface temperature in addition to its relationship with other factors such as vegetation, water and buildings to determine if these are incidents in the variation thereof. To do this, two Landsat 7 ETM + images were used, the first corresponding to 2001 and the second to 2016, from which surface temperature was determined and indexes such as NDVI (Normalized Differential Vegetation Index), NDWI (Normalized Differential Water Index), NDBI (Normalized Differential Building Index) to establish if there is a relationship between them by means of a correlation analysis of variables, obtaining that these factors present a strong correlation with values that vary between 0.6 to 0.9. Finally, it was determined that the zones with the highest temperature are in the center of the city of Sangolquí and San Rafael.

Keywords— water, building, index, temperature, vegetation.

I. INTRODUCCIÓN

Los procesos de urbanización y cambio de uso del suelo son constantes, lo que trae una serie de problemas relacionados con el cambio climático, siendo uno de estos, el fenómeno de islas de calor. [1]

En los últimos años, el análisis de islas térmicas ha tomado interés de organizaciones enfocadas a estudios ambientales, de la misma manera organismos como el Panel Intergubernamental de Cambio Climático-IPCC [2] y la Organización Mundial de Meteorología [3] analiza el incremento en la ocurrencia de olas de calor que puede estar vinculada a efectos de cambio climático.

Para el estudio de estas islas de calor, es necesario una red completa de estaciones hidroclimáticas, radiómetros y sondeos verticales atmosféricos [4], lo cual implica un alto costo de adquisición y mantenimiento de los mismos, por lo que el uso de sensores remotos y la aplicación de técnicas de percepción remota se ha convertido en una opción viable [5].

El impacto ambiental al darse el fenómeno de islas de calor es evidente, ya que puede aumentar el uso de sistemas de climatización, lo que involucraría la calidad del aire por la huella de carbono asociada al uso de electricidad y por los contaminantes emanados y, e implicaría en el bienestar de la población que habita en el sector como en la salud.

Existen estudios realizados del fenómeno de islas de calor en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca para los cuales se aplicaron diferentes técnicas, de cualquier forma se llegó a conclusiones similares en cuanto a la influencia de áreas urbanas en la temperatura superficial, sin embargo nuestra área de estudio presenta condiciones climáticas específicas por situarse en un valle andino; por lo que el desarrollo de esta investigación contribuye a tener una referencia adicional en la presencia de islas de calor en las zonas que se encuentren ubicadas en valles andinos.

En el cantón Rumiñahui hay un notable crecimiento urbanístico, también se puede encontrar vegetación a lo largo de todo el sector. Por ello, el objetivo de este trabajo es calcular la temperatura superficial para determinar las islas de calor e índices como Diferenciado de Vegetación Normalizada (NDVI) con el fin de realzar las áreas con mayor vigor vegetal, Diferenciado de Construcción Normalizada (NDBI) con el que se identifica qué tan sensible es el área urbanizada en la zona de estudio y Diferenciado de Agua Normalizada (NDWI) que permite

identificar la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo [5]. Para ello, se trabajó con dos imágenes Landsat 7 ETM+ correspondientes a octubre de 2001 y noviembre de 2016 con resolución espacial de 60m de la zona de estudio para así determinar si existe cambio en la cobertura del suelo ya sea de aumento o disminución de vegetación, agua y construcciones, y si los índices mencionados tienen influencia en la presencia de islas de calor mediante un análisis de correlación.

II. MÉTODO

Las islas de calor se definen como la diferencia de temperatura existente entre espacios urbanos ocupados por un número considerable de construcciones y sus alrededores, la identificación de estas islas se basa en el cálculo de la temperatura superficial. [1]

A. Cálculo de Temperatura Superficial

Se seleccionaron dos imágenes LANDSAT 7 ETM+, que corresponden a octubre del año 2001 y noviembre del año 2016, la cuales al ser de nivel L1, ya incorporan correcciones geométricas razón por lo cual se llevó a un proceso de corrección radiométrica.

Los valores de temperatura superficial se obtienen de la banda 6 del infrarrojo térmico (10,44 – 12,42 μm) en modo de alta ganancia (6-2 high gain), que tiene una resolución espacial de 60m. Para ello es necesario convertir los números digitales de la banda térmica en radiancia espectral en el techo de la atmósfera (L_{TOA}) mediante (1) dada por [6]:

$$L_{TOA} = \tau \cdot \varepsilon \cdot L_T + L_U + \tau \cdot (1 - \varepsilon) \cdot L_d \quad (1)$$

donde τ es la transmisividad atmosférica, L_T es la banda de radiancias calibradas, ε es la emisividad, L_U y L_d son las radiancias ascendente y descendente, L_{TOA} es determinado por la radiancia espectral en el techo de la atmósfera.

Entre los parámetros que se requieren para la corrección atmosférica se encuentran: emisividad, la cual se estableció a partir de las tablas propuestas por [7] según el tipo de cobertura y; los restantes parámetros como transmisividad, radiancia ascendente y descendente se la obtuvo de la plataforma de la NASA [8].

Mediante las constantes de calibración térmica de Landsat 7 ETM+ obtenidas de los metadatos de la imagen, se transforma los valores de radiancia de la banda térmica a temperatura de brillo (T_b), mediante (2) dada por [9]:

$$T_b = \frac{K_1}{\ln\left(\frac{K_2}{L} + 1\right)} \quad (2)$$

donde L es el valor de radiancia [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$], K_1 y K_2 son constantes de calibración [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$], T_b es determinado por la temperatura de brillo [K] del área en cuestión.

A continuación se calcula la temperatura superficial para la cual se tuvo en cuenta la corrección de la emisividad espectral. Esta se calculó mediante el uso de (3) dada por [9]:

$$T_s = \frac{T_b}{1 + \left(\frac{\lambda \cdot T_b}{\rho}\right) \cdot \ln(\varepsilon)} \quad (3)$$

donde λ es el centro de longitud de onda [μm], la constante $\rho = 13608.6956$ [$\mu\text{m}/\text{K}$], T_s es determinada por la temperatura superficial [K] del área.

B. Cálculo de Índices

Para realizar el cálculo de los índices fue necesario realizar una corrección radiométrica de reflectancias a las imágenes.

1) NDVI

El Índice Diferenciado de Vegetación Normalizada (NDVI), es un cociente empleado para discriminar masas vegetales, calculado mediante (4) dada por [10]:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (4)$$

donde NIR es la banda infrarrojo cercano, R es la banda de visible rojo, $NDVI$ es determinado por el índice diferenciado de vegetación normalizada del área en cuestión.

2) NDWI

El índice diferenciado de agua normalizada (NDWI) se utiliza como una medida de la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo, calculado mediante (5) dada por [11].

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR_1}{NIR + SWIR_1} \quad (5)$$

donde $SWIR_1$ es la banda del infrarrojo de onda corta, $NDWI$ es determinado por el índice diferenciado de agua normalizada del área en cuestión.

3) NDBI

El índice diferenciado de construcciones normalizado (NDBI) es ideal para mapear áreas urbanas ya que estas se destacan de los demás elementos de la imagen satelital, se calculó mediante el uso de (6) dada por [12].

$$NDBI = \frac{SWIR_2 - NIR}{SWIR_1 + NIR} \quad (6)$$

donde $SWIR_2$ es la banda del infrarrojo de onda corta, $NDBI$ es determinado por el índice diferenciado de construcciones normalizado del área en cuestión.

C. Análisis Estadístico

Como parte de estudio se realizó un análisis de correlación entre las variables temperatura y los índices obtenidos para determinar si estos influyen en su comportamiento.

Para ello se partió de los datos obtenidos de los diferentes procesos y se analizó si dentro de estos existen valores atípicos que puedan influenciar en los resultados y se procedió a eliminarlos mediante un análisis por cuantiles. Finalmente, se obtuvo el coeficiente de correlación lineal entre las diferentes variables mediante (7) dada por [13].

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{(n - 1) \cdot S_x \cdot S_y} \quad (7)$$

donde x , y representan las variables, \bar{x} , \bar{y} son las medias de cada variable, n es el tamaño de la muestra y S_x , S_y son las desviaciones estándar de cada muestra.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Cuantificación Temperatura Superficial

Se evidencia un aumento de temperatura superficial en varias zonas del cantón durante los años tomados para el estudio. En la imagen del año 2016, la isla formada en la parte urbana del cantón Rumiñahui no muestra el patrón clásico concéntrico, ésta presenta un carácter geométrico en la ciudad de Sangolquí y San Rafael, mientras que en las poblaciones de Amaguaña y Cotogchoa de cierta forma si es concéntrica como se muestra en la Fig. 1, las temperaturas oscilan entre 25 y 28°C. Se nota que los espacios densamente ocupados y por ende con poca vegetación tienen una mayor temperatura superficial que las zonas de la periferia urbana.

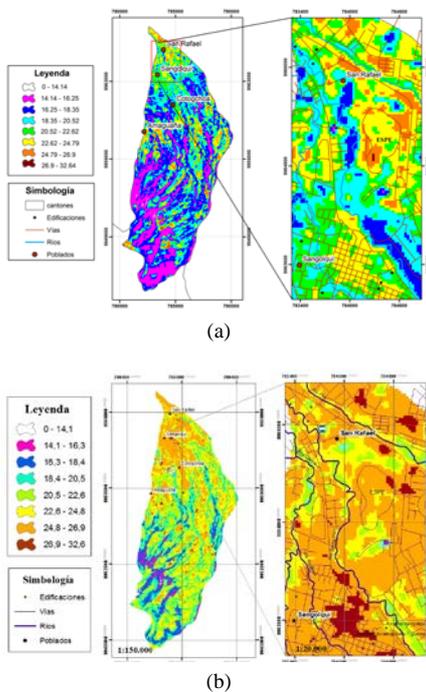


Fig. 1. Temperatura superficial (a) 2001 y (b) 2016

Las áreas con una temperatura relativamente fresca (14-18°C) se han visto disminuidas notablemente, aumentando considerablemente el área de temperaturas altas. Para este estudio se ha considerado como islas de calor a aquellas áreas cuya temperatura sobrepasa los 26°C dando como resultado que estas se hallan en el cantón Rumiñahui en las áreas urbanas de Sangolquí y San Rafael además se encontraron pequeñas islas a lo largo de la parte rural, como se muestra en la Fig. 2 donde se nota la diferencia de islas de calor del año 2001 al 2016.

De la misma manera existen diferencias en cuanto al valor de los índices: en los valores de NDVI de la imagen del año 2001 se encuentra un gran porcentaje de vegetación saludable y en crecimiento, en las zonas urbanas (Sangolquí, Amaguaña, Cotogchoa) se encuentra suelo desnudo con poca vegetación, pero en menor proporción comparado al año 2016 como se muestra en la Fig. 3. En cuanto a los valores de NDWI, existe una mayor presencia de agua en la

imagen del 2001 frente a la del año 2016 mostrado en la Fig. 4, esto es consistente de acuerdo a los valores de vegetación mostrados en ambas imágenes. El NDBI en la imagen del año 2001 es en su mayoría valores bajos, lo que evidencia que existe poca presencia de construcciones mientras que en el año 2016 existe un incremento especialmente en los sectores Sangolquí y San Rafael como se observa en la Fig. 5.

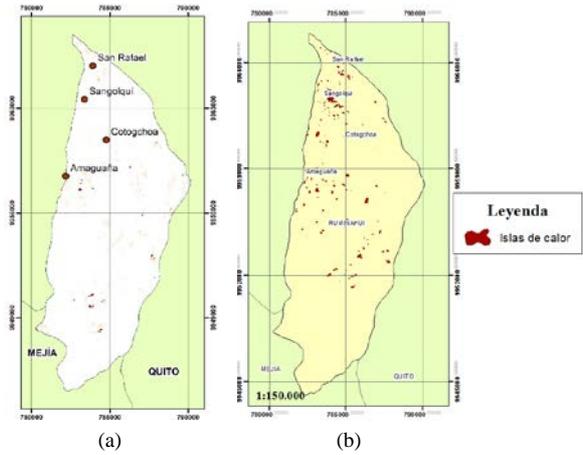


Fig. 2. Islas de calor (a) 2001 y (b) 2016

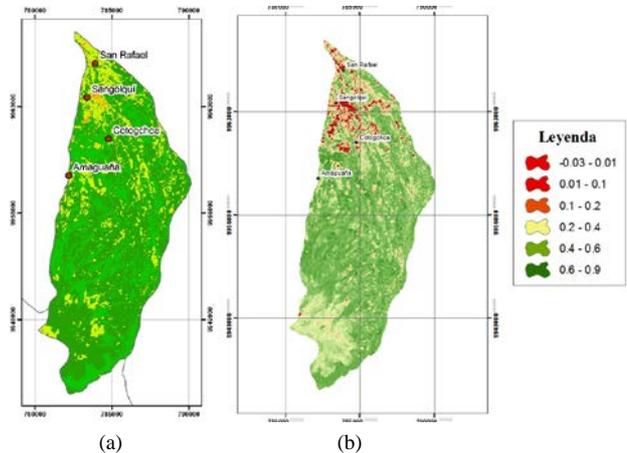


Fig. 3. NDVI: Índice Diferenciado de Vegetación Normalizada (a) 2001 y (b) 2016

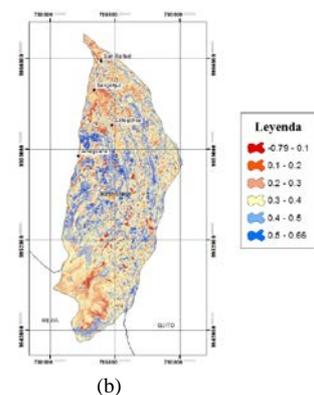


Fig. 4. NDWI: Índice Diferenciado de Agua Normalizada (a) 2001 y (b) 2016

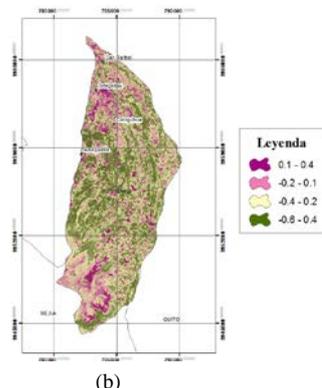


Fig. 5. NDBI: Índice Diferenciado de Construcciones Normalizadas (a) 2001 y (b) 2016

B. Análisis Estadístico

Con los datos depurados se realizó el análisis de correlación entre las variables temperatura e índices, y su fuerza de correlación se evaluó de acuerdo con los valores establecidos en [14]

En la imagen del año 2001, entre temperatura superficial y NDVI el coeficiente de correlación fue de $-0,95$, lo que indica una excelente correlación inversa entre las dos variables, entre temperatura superficial y NDWI la correlación dio un valor de $-0,67$ lo que indica que existe una correlación regular inversa; por último, entre temperatura superficial y NDBI dio un valor de $0,68$, es decir una correlación regular directa.

En cuanto a la imagen del año 2016 la correlación se mostró notablemente más fuerte dando como resultado un coeficiente de correlación de $-0,92$ entre Temperatura y NDVI. En cuanto de NDWI se obtuvo un coeficiente de correlación aceptable de $-0,85$ y con respecto a NDBI se obtuvo un coeficiente de correlación aceptable de $0,87$. Las relaciones de proporcionalidad se mantienen iguales que en la imagen del año 2001 entre las variables e índices.

IV. CONCLUSIONES

La distribución espacial de la temperatura superficial en el Cantón Rumiñahui, indica que existe presencia de islas de calor en los sectores de Sangolquí y San Rafael tanto en el año 2001 como en el año 2016, cabe recalcar que en el año 2001 su porcentaje era $0,12\%$ equivalente a $16,7$ Ha mientras que en el año 2016 aumentó al $0,25\%$ lo que equivale a aproximadamente 34 Ha del área total del cantón. El NDVI y NDWI muestran una relación inversa con la temperatura, es decir, mientras la vegetación y agua presentes en el sector sean bajos, mayores temperaturas se encuentran en el mismo. Esta relación de proporcionalidad se muestra estable para las dos fechas tomadas pero en cuanto al NDWI para el año 2016 la correlación se mostró más fuerte. El NDBI tiene relación alta con la temperatura superficial, al aumentar el índice de construcciones la temperatura también incrementa, en el cantón existe aumento del dosel urbano y reducción de vegetación al pasar los años, este es un claro ejemplo del cambio en el uso del suelo. Con la obligatoriedad del desarrollo de planes de desarrollo y ordenamiento territorial para los gobiernos autónomos, el desarrollo de este proyecto aporta como un insumo para el desarrollo de una planificación urbana sostenible del cantón Rumiñahui.

REFERENCIAS

- [1] M. Moreno y J. Serra, "El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica," *GeoCritica*, vol. XXI, n° 1.179, 25 Nov. 2016.
- [2] IPCC, "Cambio climático 2007; Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II, III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático," Ginebra, Suiza, 2007.
- [3] OMM, "Statement on the status of the global climate in 2009," Ginebra, Suiza, 2010.
- [4] EPA, "Urban Heat Island Basics, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies", Environmental Protection Agency, U.S., [Online], Terra, 2009.
- [5] M. Preciado y A. Aldana, "Análisis de presencia de islas de calor en Santiago de Cali empleando técnicas de Teledetección.," Manizales-Colombia, 2011.
- [6] J. Barsi, "Validation of a Web-Based Atmospheric Correction Tool for Single Thermal Band Instruments," p. 2, 2005.
- [7] V. Caselles, "Desarrollo de una ecuación operativa para el cartografiado de emisividad," *Teledetección*, pp. 2-5, 2001.
- [8] NASA, 2017. [En línea]. Available: https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/atm_corr/atm_corr.pl.
- [9] E. Chuvieco, *Teledetección Ambiental*, Barcelona: Planeta, 2010.
- [10] F. Marini, "Análisis del estado de la vegetación en el área de influencia de la EEA," 2008.
- [11] SNIA, "SNIA," 2016. [En línea]. Available: http://dlibrary.snia.gub.uy/maproom/Monitoreo_Agroclimatico/INDI_CES_VEGETACION/NDWI/. [Último acceso: 10 5 2017].
- [12] B. Gao, "A normalized difference water index for remote sensing of vegetation," *Remote Sensing of Environment*, pp. 257-266, 1996.
- [13] D. Montgomery, *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*, Wiley, 2006.
- [14] D. Montgomery, *Probabilidad y Estadísticas aplicadas a la Ingeniería*, New York: John Wiley, 2011.
- [15] SNI, "Cifras generales 2010," p. 2, 2010.
- [16] K. Córdova, "Spatial Geotechnology applied to urban climate studies: Thermal analysis of urban surface and urban land use in the city of Caracas," *Urban Climate News*, pp. 15-21, 2011.
- [17] United Nations, "World urbanization prospects," 2009.
- [18] M. E. Sosa, "Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico.," Universidad Central de Venezuela, 2004.
- [19] M. Preciado y A. Aldana, "Análisis de presencia de islas de calor en Santiago de Cali empleando técnicas de teledetección.," Manizales (Colombia), 2011.
- [20] M. Moreno, "Estudio del clima urbano de Barcelona: la «isla de calor»,," 1993.
- [21] C. Carreras y J. Martín, «Modificaciones térmicas en las ciudades. Avances sobre la isla de calor en Barcelona.», *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, vol. 17, pp. 51-77, 1990.
- [22] M. Noro y R. Lazzarin, «Urban heat island in Padua, Italy: simulation analysis and mitigation strategies.», *Urban Climate*, vol. 14, pp. 187-196, 2015.
- [23] I. Stewart, "A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature," *International Journal of Climatology*, vol. 31, n° 2, pp. 200-217, 2011.
- [24] C. Palacios, V. González, S. Zambrano y M. Coello, "La Forma Espacial de la Isla de Calor en la Ciudad de Guayaquil," *Investigatio*, n° 9, p. 93, 2017.