

# Percepción Remota en el Diseño de Estrategias de planificación Urbana, Caso de Estudio Isla De Calor Urbano del Distrito Metropolitano de Quito

## *Remote Sensing in the Design of Urban Planning Strategies, Case Study Urban Heat Island of the Metropolitan District of Quito, Ecuador*

Diana Paola Baño Saltos, José Gabriel Salazar L, Mónica Susana Delgado

**Resumen** - Este estudio analizó la isla de calor urbana UCI del Distrito Metropolitano de Quito, sobre la base del cálculo de la temperatura superficial de Landsat 7 ETM multispectral y Landsat 8 OLI / TIRS. Se calculan índices de vegetación NDVI y construcciones NDBI, y se establece la relación de estas variables con la superficie de la temperatura mediante la aplicación de la correlación lineal de Pearson. Los resultados indican que las islas de calor son más pronunciadas hacia las áreas rurales donde hay un uso combinado de la tierra entre la construcción horizontal, las industrias y el equipo, en comparación con las áreas urbanas donde prevalece la evolución vertical. El índice de vegetación NDVI presenta una correlación inversa con la temperatura superficial y la tasa de construcciones, correlación directa, mientras que las temperaturas superficiales obtenidas de Landsat 7 y 8 Landsat no son comparables. En general, la caracterización de las islas de calor urbanas se explica mejor a través del análisis de la relación entre la temperatura de la superficie y el uso de la tierra.

**Palabras clave** — Calor urbano de isla, temperatura de superficie terrestre, índice de vegetación de diferencia normalizada, índice de diferencia estándar de construcción.

**Abstract**— This study analyzed the urban heat island (UHI) of the Metropolitan District of Quito with the calculation of surface temperature of multispectral Landsat 7 ETM and Landsat 8 OLI/TIRS. With these images were calculated indices of vegetation NDVI and constructions NDBI, and are established the relationship of these variables with

temperature surface through application of the correlation linear of Pearson. The results indicate that heat islands are more pronounced towards rural areas where there is a combined land use between horizontal construction, industries and equipment, compared to urban areas where there is prevalence of vertical developments. The NDVI vegetation index presents an inverse correlation with surface temperature and the rate of constructions, direct correlation, while surface temperatures obtained from Landsat 7 and 8 Landsat images are not comparable. In general, characterization of urban heat islands is best explained through the analysis of the relationship between surface temperature and land use.

**Index Terms**— Island Heat Urban, Land Surface Temperature, Index of Vegetation of Difference Normalized, Index of Difference Standard of Buildings.

### I. INTRODUCTION

EL crecimiento físico de las ciudades y su expansión demográfica implican una gran demanda de recursos naturales, que sumado a la generación de residuos, provocan impactos en el ambiente, afectando el equilibrio climático del su entorno (ONU Habitat, 2012). El reemplazo de cobertura vegetal por tejido urbano modifica los procesos energéticos e hídricos que influyen en el movimiento de las masas de aire, originando cambios en las condiciones climáticas locales a nivel atmosférico y superficial (Oke, 1987). Alteraciones que provocan un aumento en la temperatura de la urbe, respecto, de las zonas rurales circundantes, fenómeno conocido como Isla

Article history:

Received 26 February 2018

Accepted 28 May 2018

Este trabajo fue apoyado por la Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales.

Diana Paola Baño Saltos, Autor Jr. pertenece a la Universidad Internacional SEK del Ecuador

José Salazar, Autor, dirección de estudio pertenece a la Universidad Internacional SEK del Ecuador.

Dirección, mail [jose.salazar@uisek.edu.ec](mailto:jose.salazar@uisek.edu.ec)

Mónica Susana Delgado, Autor, está afiliado a la Universidad Internacional SEK del Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Universidad de Valencia, su dirección para consultas es: Morlán N49-233 y Cucardas Quito-Ecuador, e-mail: [monica.delgado@uisek.edu.ec](mailto:monica.delgado@uisek.edu.ec), [Susana.delgado@epn.edu.ec](mailto:Susana.delgado@epn.edu.ec), [modelya@uv.es](mailto:modelya@uv.es)

de Calor Urbana (ICU) (Voogt & Oke, 2003). Término empleado por primera vez en 1958 por el inglés Gordon Manley, para referirse a ésta anomalía térmica generada por los centros urbanos (Moreno, 2016).

La presencia del fenómeno de Isla de Calor Urbano, en particular, durante el verano, genera impactos positivos y negativos (EPA, 2016). Entre los positivos, se citan la extensión del ciclo de cultivo de determinadas plantas. En cuanto a los negativos, se incluyen, el aumento del consumo de energía, deterioro de la calidad del aire, alteraciones en la biodiversidad, malestar humano y riesgos para la salud de la población (Sheng et al., 2017; Voogt, 2008).

La cuantificación de la ICU se realiza con base en dos metodologías. La primera, estima la isla de calor de la capa dosel de la capa dosel (ICCD) y de la capa de perímetro (ICCP), por medio de la temperatura de aire (T) con datos provenientes de termómetros instalados en estaciones meteorológicas fijas o en vehículos. La segunda metodología, mide la isla de calor de superficie (ICS) con el empleo de la temperatura de superficie (LST) obtenida de los datos de teledetección satelital o aviones (Sheng et al., 2017; Voogt & Oke, 2003).

Utilizando el segundo enfoque, existen varios estudios que estiman ICS mediante sensores remotos como imágenes satelitales y fotografías aéreas. En este sentido, Roth, et al., (1989), emplearon la radiometría de alta resolución AVHRR de los satélites NOAA para determinar las intensidades de ICU de cinco ciudades costeras del oeste de América del Norte donde establecieron una correspondencia entre el uso de la tierra y los patrones de temperatura, relacionando a las ICU con el grado y tipo de desarrollo urbano. De esta forma estos autores establecieron a las áreas industriales con baja densidad poblacional como zonas más cálidas en comparación a regiones con presencia de vegetación. Oke y Voogt (2003) motivados por las interrogantes metodológicas planteadas por Roth, realizaron una revisión de variables como la naturaleza de la superficie de la imagen, temperatura superficial radiométrica, temperatura real, utilidad de los datos satelitales en modelos climáticos urbanos y la relación entre Islas de Calor Urbano de superficie e Islas de Calor Urbano atmosféricas para evaluar la aplicación de la teledetección térmica en el estudio del clima urbano. Estos autores concluyen que los avances en este campo de estudio se enfocan en el conocimiento de la estructura de superficie, balances energéticos superficiales, determinación de la emisividad, índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y temperatura del aire en y por encima de la capa de vegetación.

Sheng et al., (2017) en Hangzhou, Zhejiang, China, analizaron las diferentes medidas de ICU mediante datos de temperatura superficial provenientes de imágenes Landsat 5 LST y los valores de temperatura del aire. concluyendo que la ICU cuantificada mediante el uso de imágenes satelitales y la medida en estaciones no son comparables, debido a que la temperatura del aire es una medida directa de la ICU, mientras que, los datos de temperatura superficial proporcionan una medición indirecta tal como Schwarz et al., (2011) afirmaron previamente..

Con el fin de mejorar fiabilidad de los datos arrojados por los sensores, se han empleado otras técnicas como el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI), Índice Normalizado de Agua (NDWI), Índice Normalizado de Construcción (NDBI) y

Índice Normalizado de No Cobertura (NDBal). Gallo et al., (1993), estudio la relación entre temperatura superficial y el índice NDVI, y encontraron temperaturas superficiales más bajas hacia zonas rurales con valores altos de NDVI y, temperaturas altas un NDVI más bajo en áreas urbanas; lo que se relaciona con la aparición de flujos de calor latente y sensible asociados a las características superficiales del terreno. Ling Cheng et al. (2006) al evaluar la relación entre la isla de calor y los cambios en la cubierta de uso de suelo emplearon a un análisis cuantitativo entre la temperatura e índices NDVI, NDWI, NDBI y NDBal encontrando diferencias significativas entre temperaturas asociadas a los diferentes tipos de uso de suelo.

En ese contexto, Yuan y Bauer (2006), al comparar la superficie impermeable con el índice de vegetación NDVI, establecieron una relación lineal entre la temperatura de la superficie terrestre y el porcentaje de superficie impermeable. En la misma línea, Preciado y Aldana (2011) al analizar la isla de calor en la ciudad de Santiago de Cali y su correlación con los índices: NDVI, NDWI y NDBI, evidenciaron, que la disminución de las áreas verdes urbanas y su reemplazo por tejido urbano causa un incremento de temperatura en la urbe.

Por otro lado, en diversos estudios en los que se destacan Ahmed (2017), Silva et al (2018) y Zhaoxinn et al (2018), los cuales realizan estudios en Brasil, Egipto y China, muestran la estrecha relación del efecto de isla de calor algunas variable ambientales y socioeconómicas como temperatura, velocidad del viento, vegetación, uso del suelo, densidad poblacional, densidad de construcciones, entre otras. Para evidenciar estas relaciones se emplean regresiones y correlaciones de las distintas variables con el fenómeno para comprobar su efectiva presencia.

En Ecuador, los estudios sobre climatología urbana, son limitados y no se reportan investigaciones del clima del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) con el uso de técnicas de percepción remota, y sólo se registran estudios referenciales del clima urbano. En este sentido, Serrano et al, (2012), realizan un análisis estadístico de datos meteorológicos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en un periodo de 30 años, determinando la existencia de un microclima generado por el crecimiento urbano, que se traduce en un aumento de 1°C en la temperatura ambiental por la presencia del fenómeno de isla de calor.

El propósito de este estudio es examinar el fenómeno de Isla de Calor Urbano en el DMQ, mediante técnicas de percepción remota, a base del cálculo de la temperatura superficial de imágenes Landsat 7 y su correlación con el índice de vegetación NDVI y construcciones NDBI. En este contexto, busca exponer cómo los procesos de urbanización entre los años 2006 y 2016, han influido en la calidad térmica del aire del distrito, metodología factible de reproducirse. Con base en los resultados, se podrán identificar las zonas que requieren de estrategias de planificación que conduzcan al mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes y que reduzcan los efectos negativos de la ICU.

<i>Administración Zonal</i>	<i>Uso de suelo</i>
<b>Norte</b>	
Calderón	Residencial con presencia limitada de actividades económicas y de equipamiento
La Delicia	Residencial, equipamiento e industrial
<b>Centro Norte</b>	
Eugenio Espejo	Residencial, equipamiento y múltiple
<b>Centro Sur</b>	
Manuela Sáenz	Residencial y equipamiento
<b>Sur</b>	
Eloy Alfaro	Residencial con presencia de actividades económicas y equipamiento
Quitumbe	Residencial con áreas de expansión
<b>Valles</b>	
Los Chillós	Residencial con presencia limitada de actividades económicas y de equipamiento
Tumbaco	

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Área de Estudio

El DMQ está ubicado en la provincia de Pichincha, al norte del Ecuador. Tiene una superficie de 4 235,2 km<sup>2</sup> y alberga al 15,5% de la población nacional con aproximadamente a 2 239 191 habitantes para el año 2010. De sus pobladores, alrededor de 1 619 432 (72,32%) habitan en el área urbana y 619 759 habitantes (27,68%) en el área rural. Su territorio se caracteriza por presentar un contexto geográfico irregular, heterogéneo, con diversidad de recursos naturales, variedad de pisos climáticos y ecosistemas. Geográficamente, se distinguen tres zonas: la seca interandina, interandina y lluviosa interandina. Posee quince tipos de climas y dos estaciones climáticas bien definidas: la seca entre junio y septiembre y la lluviosa de octubre a mayo. Presenta temperaturas que varían entre los -4°C y 22°C, no obstante, en la zona mayormente poblada se promedia una temperatura media de 17°C. Administrativamente, está dividido en ocho zonales operativos conformados por 32 parroquias urbanas y 33 rurales, presentando mayor densidad poblacional las ubicadas en la denominada “mancha urbana”, donde se distinguen distintos modelos de clasificación de estructura para uso del suelo (Tabla 1) (Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial 2012 - 2022).

Con el fin de evaluar el comportamiento de la isla de calor de zonas residenciales, de equipamiento y expansión urbana, se seleccionó como área de estudio a un cuadrante del territorio

(Fig. 1), localizado entre las coordenadas indicadas en la Tabla 2, donde se destacan las Administraciones Zonales de Calderón, La Delicia, Eugenio Espejo y Valle de Tumbaco, lo que ha permitido un análisis del comportamiento de la ICU de 14 parroquias urbanas y 11 rurales.

### B. Adquisición de la información

Se utilizaron once imágenes satelitales de la misión Landsat 7 ETM+ en modo SLC-off, disponibles en el sitio web Earth Explorer ([earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov)) operado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (Tabla 3). Las imágenes están proyectadas a la zona UTM 17 N, localizadas en el Path 10 y Row 60 y corresponden a las que presentan el menor porcentaje de nubosidad para los meses de junio a septiembre de 2006 a 2016.

### C. Preprocesamiento

El ajuste de la información, consistió en eliminar una serie de líneas de error que se presentan en las imágenes del satélite Landsat 7 ETM, modo SLC off. Este defecto, definido por la USGS como “corrector de línea de escaneo” o “gaps”, provoca una pérdida aproximada del 22% de la información de cada imagen (Rodríguez, 2016). Para corregir esta anomalía, se empleó la herramienta Gapfill del paquete informático ENVI 5.1, la cual, interpola datos de la propia imagen, banda a banda para rellenar los datos faltantes, generando un archivo que contiene una nueva imagen sin vacíos. Con las bandas corregidas, se procedió a recortar el área de estudio de las imágenes satelitales, procedimiento realizado con el paquete informático ArcGis 10.1. El proceso descrito fue aplicado para las bandas 3, 4, 5 y 6 VCID\_

1. Tabla 2. Coordenadas de Mercator de la zona de estudio de la ICU del DMQ

<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
9996402	774616
9996856	796347
9976791	775032
9977170	796726

Tabla 3. Imágenes seleccionadas para el estudio de la ICU del DMQ

<i>Día de toma</i>	<i>Mes</i>	<i>Año</i>	<i>Sensor</i>
26	jun	2006	Landsat 7
31	jul	2007	
17	jul	2008	
6	sep	2009	
9	sep	2010	
8	jun	2011	
10	jun	2012	
13	jun	2013	
16	jun	2014	
6	ago	2015	
5	jun	2016	

#### D. Cálculo de la Temperatura Superficial

Para el cálculo de la temperatura superficial de las imágenes Landsat 7 y Landsat 8, se aplicó la metodología descrita en el Landsat Project Science Office (2007) de la NASA. Este procedimiento hace referencia a la aplicación de ecuaciones para la determinación de la temperatura superficial de la banda del térmico, que para el sensor Landsat 7 corresponde a la banda 6 VCID\_1 de 8 bits.

El cálculo de la temperatura superficial presupone de manera previa la conversión de niveles digitales ND a unidades radiancia, proceso que ha sido calculado con la herramienta Raster Calculator del programa ArcGis 10.1, al ingresar los parámetros señalados en el archivo de metadata y se genera una nueva imagen con los valores de radiancia y temperatura superficial de la zona.

Con la ayuda de las imágenes se extraerán indicadores como temperatura superficial, NDVI y NDBI que representan variable ambientales y socioeconómicas como temperatura, densidad de vegetación y densidad de construcciones. Adicionalmente, el análisis de las imágenes realizar tomando en cuenta la división zonal que establece el municipio y que comprende la vocación del suelo los diferentes espacios del municipio.

#### E. Conversión de niveles digitales radiancia Landsat 7 ETM+

Los niveles digitales DN de la banda térmica 6 VCID\_1 de 8 bits se convirtieron a unidades de radiancia espectral watts/m<sup>2</sup> ster μm utilizando coeficientes de cambio de escala proporcionados en el archivo de la metadata. La Ecuación 1 (Landsat Project Science Office, 2007), se utilizó para convertir ND en radiancia:

$$L_{\lambda} = \frac{L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}}{Q_{CALMAX} - Q_{CALMIN}} * (Q_{CAL} - Q_{CALMIN}) + L_{MIN\lambda} \quad (1)$$

Donde  $L_{\lambda}$  es la radiancia espectral en la apertura del sensor en W/m<sup>2</sup> ster μm,  $L_{MAX\lambda}$  radiancia espectral correspondiente al  $Q_{CALMAX}$  en W/m<sup>2</sup> ster μm,  $L_{MIN\lambda}$  radiancia espectral correspondiente al  $Q_{CALMIN}$  (W/m<sup>2</sup> ster μm),  $Q_{CAL}$  imagen en DN (banda 6),  $Q_{CALMAX}$  valor máximo del pixel cuantificado en DN igual a 255 y  $Q_{CALMIN}$  valor mínimo del pixel cuantificado en DN (correspondiente al  $L_{MIN\lambda}$ ), igual a la unidad para productos LPGS y NLAPS (antes del 4/4/2004) y cero para productos NLAPS (después del 4/may/2004).

#### F. Obtención del brillo de superficie captado por el sensor

Los ND de la banda del térmico fueron convertidos de radiancia espectral a temperatura de brillo (referenciada a un cuerpo negro), empleando la ecuación de Planck, (Ecuación 2) (Landsat Project Science Office, 2007) donde se considera una emisividad igual a la unidad.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

Donde, T es la temperatura de brillo superficial en grados Kelvin,  $K_1$  constante de calibración 1 en W/m<sup>2</sup> ster μm (igual a 666,09),  $K_2$  constante de calibración 2 en grados Kelvin (igual a 1 282,71),  $L_{\lambda}$  radiancia espectral en W/m<sup>2</sup> ster μm, ln logaritmo natural.

Los valores de temperatura obtenidos al estar referenciados a un cuerpo negro, deben hacerse correcciones de emisividad acordes a la naturaleza de la cobertura de la superficie (Idrovo & Hernandez, 2009), parámetro que al tratarse de áreas urbanizadas varía entre 0.92 a 0.95 (Voogt & Oke, 2003), considerándose para el área de estudio un valor de emisividad de 0.95. Para el cálculo de la temperatura superficial corregida por emisividad se aplicó la Ecuación 3 (Artis & Carnahan, 1982).

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

Donde,  $T_s$  es la temperatura superficial (K),  $T_B$  temperatura de brillo superficial (K),  $\lambda$  centro de longitud de onda (μm), igual a 11.5 μm (Markham & Barker, 1985),  $\rho$  14380 μm-K ( $\rho = h \cdot c / \sigma$ ), h constante de Planck's (6.626x10<sup>-34</sup>Js), c velocidad de la luz (2.998x10<sup>8</sup> m/s),  $\sigma$  constante de Boltzmann (1.38x10<sup>-23</sup>J/K) y  $\epsilon$  emisividad de superficie. Con respecto a los valores de temperatura superficial, para convertirlos en valores de temperatura en grados Celsius se restó de los resultados obtenidos el valor de 273,15.

#### G. Cálculo de los Índices de Vegetación y Construcciones

Los índices de diferencia normalizada son parámetros que proporcionan información de las propiedades ópticas del suelo y se obtienen a partir de la combinación de valores de reflectividad de pares de bandas (Pérez & Muñoz, 2006). Para conocer la influencia de la vegetación y construcciones en la generación de la isla de calor, se calcularon los índices de diferencia normalizada NDVI y NDBI.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, NDVI, representa la relación entre los valores de los niveles digitales de las bandas visibles del rojo e infrarrojo cercano NIR (Ecuación 4), contraste que permite evaluar el estado de la vegetación (Marini, 2008 en Preciado & Aldana, 2011).

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

Al aplicar la Ecuación 4 (Yuan & Bauer, 2006), se obtienen valores de NDVI en el rango de -1.0 a 1.0, donde valores inferiores a cero no aportan significado desde el punto de vista ecológico, mientras que, valores cercanos a la unidad se asocian con alta actividad fotosintética, y valores bajos implican ausencia de vegetación o poca reflexión de luz del infrarrojo (The Landscape Toolbox, 2016).

En cambio, que, el Índice de Diferencia Normalizada de Construcciones NDBI, refleja la respuesta espectral de las superficies edificadas a través de la relación entre niveles digitales de la banda de onda corta del infrarrojo SWIR y la del infrarrojo cercano NIR, de la aplicación de la Ecuación 5 (Ling Chen et, al. 2006), valores cercanos a cero son característicos de zonas urbanas. (Zha et, al. 2003 en Preciado & Aldana, 2011).

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad (5)$$

**H. Correlación entre temperatura superficial e intensidad de vegetación y construcciones**

Para investigar la influencia de la vegetación y construcciones en la generación de la isla de calor, se recurrió al análisis de Correlación Lineal de Pearson, entre las variables de temperatura superficial e índices de vegetación NDVI y construcciones NDBI, empleando las ecuaciones 6 y 7.

$$S_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{N} \quad (6)$$

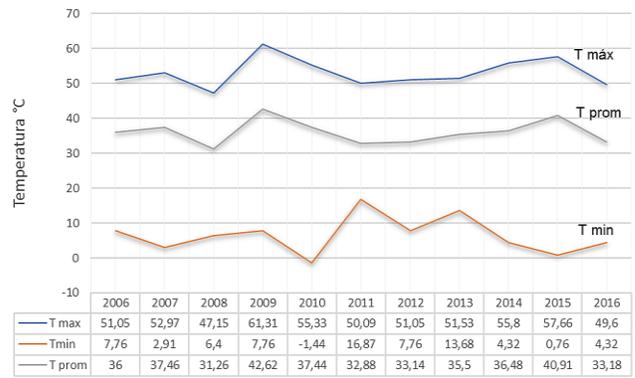
$$Corr_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-k} (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^{N-k} (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

El empleo de estas expresiones implica resultados que varían entre 1 a -1, donde 1 representa una correlación directa positiva entre las variables, el 0 ninguna correlación, y, -1 una correlación inversa total.

**III. RESULTADOS**

**A. Distribución de la temperatura superficial**

En la Figura 2, se representan promedios anuales de temperatura superficial obtenidos del procesamiento de imágenes Landsat 7, los valores máximos y promedios mantienen un comportamiento similar, presentándose gran variabilidad climática entre los periodos: 2007 a 2011 y 2015 a 2016, donde se evidencian marcadas diferencias de temperatura que oscilan desde 4.56 °C a 11,37 °C, con el valor más alto en el año 2009 y el mínimo en el 2008. Entre tanto, los valores de temperatura mínima marcan su punto más alto en 2011 y el más bajo en 2010, situación que pudo presentarse debido a cambios atmosféricos a escala regional o global, por la presencia de modificaciones en los movimientos de masas de aire, producto de la ocurrencia de los fenómenos del niño o la niña.



**Figura 1. Variación de Temperatura Superficial del DMQ**

En el análisis de los cambios producidos en la temperatura del área de estudio, se comparan los datos promedios obtenidos para los años 2006 y 2014, donde se presenta una tendencia similar, entre tanto, para una evaluación anual se consideraron los años 2012 a 2014, periodo en el cual se observa una tendencia de incremento gradual .

En la Figura 3, se observa la distribución de temperaturas Landsat ETM+ para los años 2006 y 2014. De acuerdo a esto, se identifican siete zonas con temperaturas superficiales superiores a 39 °C, localizadas en la parte central y norte de la mancha urbana de la ciudad de Quito, correspondientes a las parroquias: Carcelén, Iñaquito, La Concepción, Calderón, San Antonio de Pichincha, Tababela y Guayllabamba.

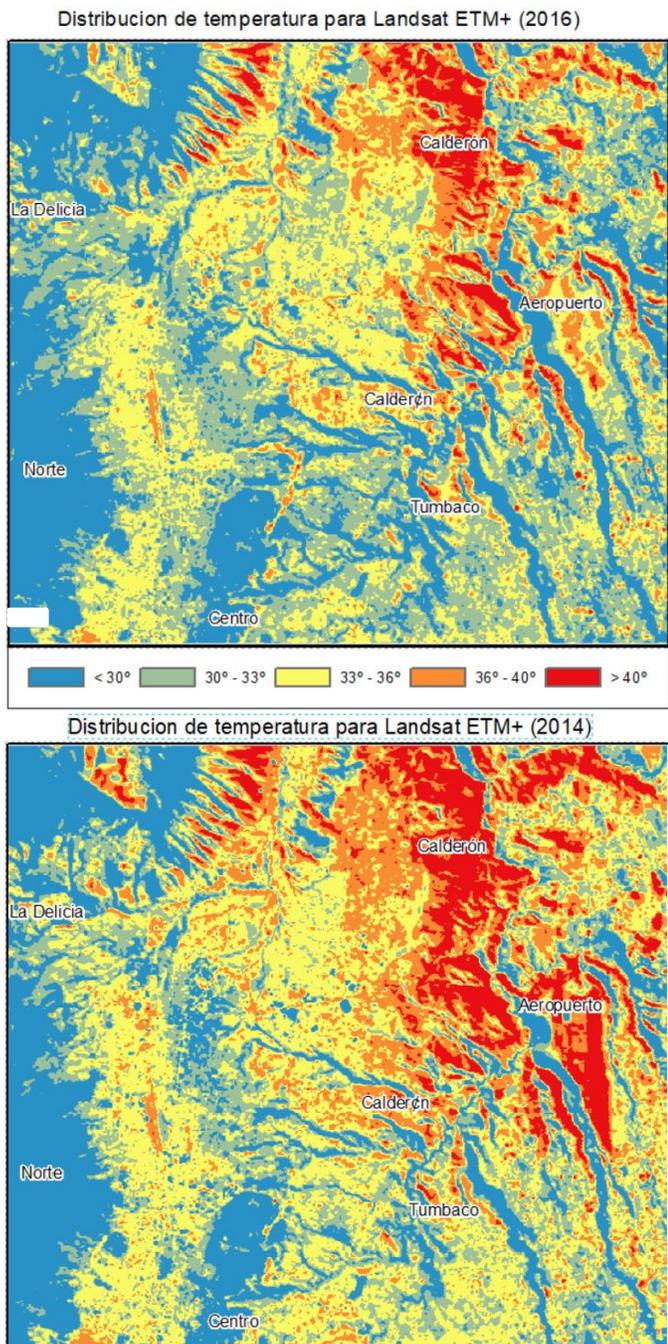


Figura 2. Distribución Temperaturas Superficiales del DMQ

Imágenes de 2006 (Izquierda) y 2014 (Derecha), nótese que para el año 2014 se presenta una mayor intensidad con respecto al año 2006. De estas localidades, no se identifica efecto ICU en el área perteneciente a San Antonio de Pichincha, puesto que en esta zona no se localizan estructuras urbanas ni comerciales, la concentración de calor obedece a características climáticas secas predominantes y presencia de minas de materiales pétreos, que se extienden a lo largo de este territorio, situación que también influye hacia la parroquia Guayllabamba, la cual, pese a pertenecer a un entorno rural presenta alta concentración de calor. Entre tanto, las islas de calor identificadas en los sectores: Carcelén, Ñaquito, La Concepción y Calderón, se relacionan con zonas donde existe predominancia de uso de suelo múltiple coexistiendo residencias, comercios e industrias

de bajo impacto, mientras que, la isla de calor que se presenta en Tababela, responde a un cambio de uso de suelo debido al equipamiento del actual aeropuerto Mariscal Sucre en el año 2013.

Los valores de temperatura superficial (Tabla 4), indican que en los años 2006 y 2014, en las parroquias Tababela, Calderón y Guayllabamba, se presentó un aumento de temperatura; en cambio, en La Concepción e Ñaquito se produjo una reducción, y, en Carcelén no se observaron cambios.

Tabla 4. Valores de las temperaturas superficiales donde se presentan ICU. Se detallan los valores de la temperatura superficial promedio de los sectores donde se identificaron ICU.

Sector	<i>T promedio °C</i>				
	2006	2012	2013	2014	2006 2014
Tababela	36,59	38,85	38,55	40,49	3,90
Calderón	39,60	37,61	39,29	40,31	0,71
La Concepción	38,13	38,02	37,79	37,69	-0,44
Ñaquito	33,50	33,24	32,62	33,12	-0,38
Guayllabamba	38,97	40,45	38,81	40,99	2,02
Carcelén	37,53	36,93	36,93	37,50	-0,03

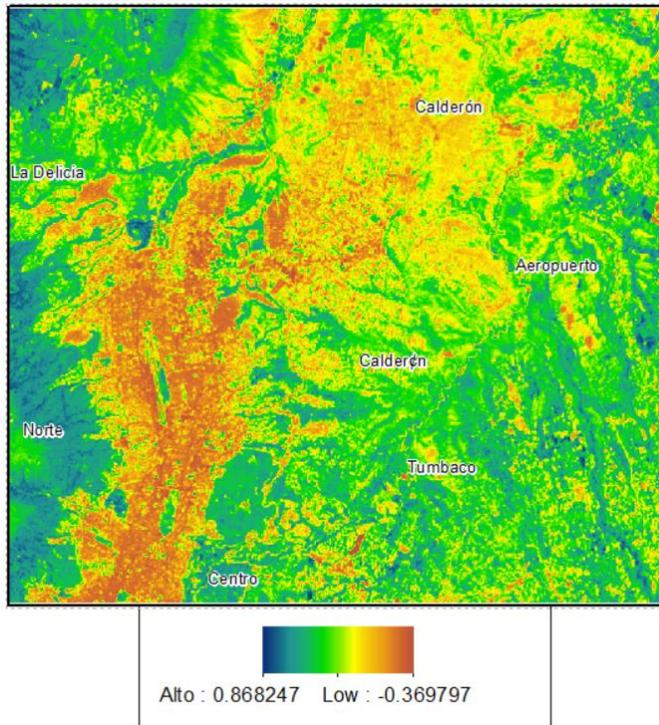
Al comparar los valores de distribución de temperatura con el uso de suelo, se determinó que el aumento de temperatura en la parroquia Tababela, está asociado con la construcción del nuevo aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, que entró en operaciones en febrero de 2013. El mismo año se presentó una disminución de temperatura en La Concepción, debido al cese de actividades operativas en la zona e implantación del Parque Bicentenario. Sin embargo, de este cambio en los usos del suelo del sector, su temperatura superficial, con respecto a Ñaquito, mantiene una diferencia de 4,57 °C, debido a la conservación de grandes superficies impermeables cubiertas por asfalto. Entre tanto, el aumento de temperatura en Calderón está relacionada con la expansión urbana no planificada y el consecuente crecimiento poblacional. Por otro lado, la disminución de la temperatura en Ñaquito es acorde con el mejoramiento del estado vegetativo del Parque Metropolitano que se extiende en gran parte de su territorio.

B. Estimación de los índices NDVI y NDBI

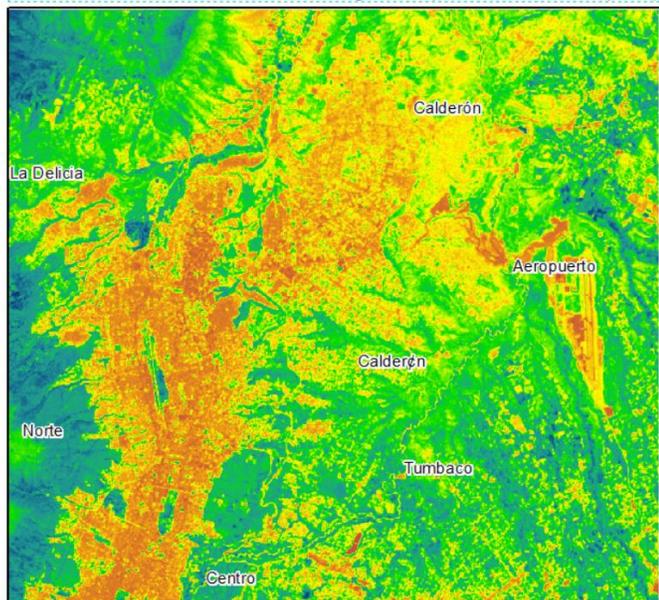
En la Tabla 5 se resumen los valores medios de los índices NDVI (Fig. 4) y NDBI (Fig. 5), estos resultados sugieren cambios en los años 2006 y 2014 en cuanto al estado de la vegetación y construcciones. Se detectó un incremento en el índice de construcciones en las parroquias analizadas, a excepción de La Concepción donde este indicador presenta un decrecimiento, lo que está asociado con el cese de operaciones del antiguo aeropuerto.

Al analizar el índice de vegetación, se observa un mejoramiento en el estado de la vegetación en La Concepción, Ñaquito y Guayllabamba, debido a la existencia de parques y bosques en estas parroquias; mientras que, en Tababela, Calderón y

Distribución de Índice Normalizado de Vegetación para Landsat ETM+ (2006)



Distribución de Índice Normalizado de Vegetación para Landsat ETM+ (2014)



**Figura 3. Distribución del índice NDVI en el DMQ**  
 Imágenes de 2006 (parte izquierda) y 2014 (parte derecha), nótese que en las áreas correspondientes a bosques y parques marcados con color rojo y amarillo presentan los valores de NDVI más altos

Carcelén, donde no existen áreas verdes, se presenta una condición desfavorable para este indicador. Estos escenarios están asociados al crecimiento demográfico y al alto desarrollo urbano no planificado de Calderón, la expansión urbanística en Carcelén y el cambio de uso de suelo en Tababela.

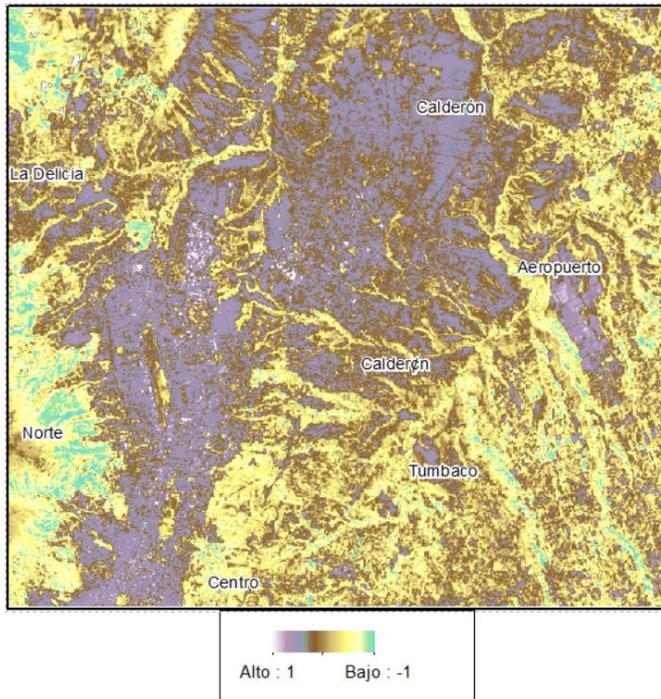
**Tabla 5. Índices NDVI y NDBI de los sectores donde hay presencia de ICU**

Sector	2006		2013		2014	
	NDVI	NDBI	NDVI	NDBI	NDVI	NDBI
Tababela	0,4846	-0,1215	0,3407	-0,0876	0,3671	-0,0837
Calderón	0,3290	-0,0502	0,2922	-0,0204	0,3050	-0,0310
La Concepción	0,2151	-0,0326	0,2177	-0,0307	0,2307	-0,0412
Iñaquito	0,3975	-0,1504	0,3969	-0,1589	0,3993	-0,1513
Guayllabamba	0,3949	-0,1028	0,4140	-0,0961	0,4057	-0,0879
Carcelén	0,3495	-0,0970	0,3251	-0,0824	0,3234	-0,0795

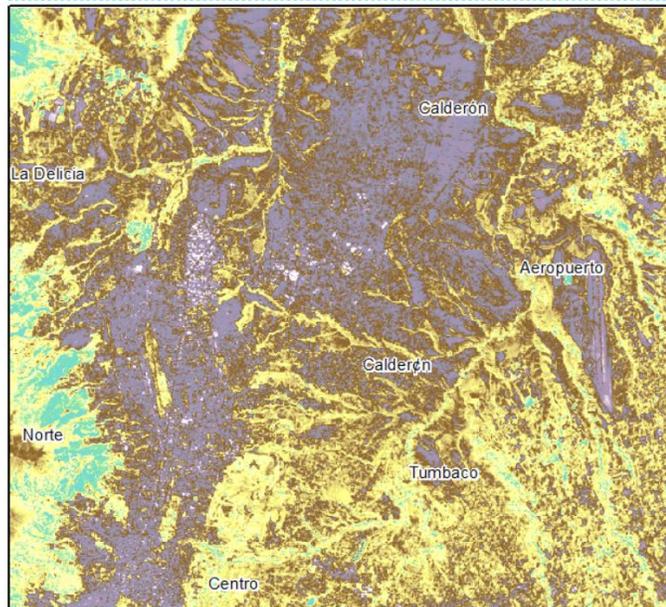
*C. Correlación entre temperatura superficial e intensidad de vegetación y construcciones*

Los valores obtenidos tras aplicar el coeficiente de correlación Lineal de Pearson entre las variables de temperatura superficial e índices de vegetación NDVI y construcciones NDBI (Tablas 6). Las correlaciones presentan niveles de significancia mayor del 95 %. La correlación entre temperatura e índice NDVI, representa una relación inversa moderada con valores cercanos a -0.5, lo que significa que a medida que se fraccionan áreas verdes la temperatura aumenta, correlación que en Calderón y La Concepción presenta valores cercanos a 0, que indican escasa presencia de vegetación o detrimento de la misma. En cambio, la correlación entre temperatura de superficie e índice de construcciones NDBI, muestra un comportamiento directo positivo, en el cual el aumento de temperatura está condicionado por la presencia de construcciones, excepto para La Concepción cuya correlación se aproxima al 0, sugiriendo que el aumento en la temperatura superficial en esta área está asociada al porcentaje de suelo impermeable existente.

Distribucion de Índice Normalizado de Construcciones para Landsat ETM+ (2006)



Distribucion de Índice Normalizado de Construcciones para Landsat ETM+ (2014)



**Figura 5. Distribución del índice NDBI en el DMQ**  
**Imágenes de 2006 (Izquierda) y 2014 (Derecha), nótese que en las áreas**  
**correspondientes a bosques y parques marcadas con color verde**  
**presentan los valores de NDBI más bajos**

**Tabla 6. Correlación temperatura superficial e índices NDVI y NDBI**

Sector	2006		2013		2014	
	Temp/ NDVI	Temp/ NDBI	Temp/ NDVI	Temp/ NDBI	Temp/ NDVI	Temp/ NDBI
Tababela	-0,6270	0,7926	-0,6239	0,7760	0,5809	0,7777
Calderón	-0,2518	0,5111	-0,1824	0,5038	-0,0752	0,3541
La Concepci ón	-0,2981	0,1602	-0,1935	0,0813	-0,1075	-0,0162
Iñaquito	-0,6646	0,6855	-0,7439	0,7438	-0,6816	0,6746
Guayllab amba	-0,5264	0,6623	-0,5357	0,7246	-0,5272	0,7085
Carcelén	-0,5956	0,6671	-0,6039	0,6442	-0,4898	0,5558

**IV. DISCUSIÓN**

El área de estudio seleccionada posee diferentes características en cuanto al comportamiento espectral como: zonas urbanas, rurales, agrícolas, bosques, suelo desnudo o parques; lo que implica que la adopción de un coeficiente de corrección de emisividad uniforme de 0,95 para el cálculo de la temperatura superficial, no incorpora características particulares de cada zona.

En cuanto, al uso de índices de diferencia normalizada para evaluar la relación entre temperatura superficial, vegetación y construcciones, se obtuvo una mejor correlación entre temperatura e índice de construcciones, no obstante, para las zonas donde se presentan grandes extensiones de territorio cubiertas por superficies impermeables o construcciones de tipo horizontal, esto es, en las parroquias La Concepción y Calderón, no se presenta correlación entre las variables analizadas, por tanto, se infiere que, la evaluación de Islas de Calor Urbano se relacionaría mejor a través de una clasificación supervisada donde se distingan los componentes de la superficie.

Los resultados obtenidos indican que en las parroquias donde se presenta el fenómeno de ICU requieren del diseño de estrategias de mitigación que incorporen elementos de orden ambiental enfocados a la creación de una red verde urbana, que considere el mejoramiento de las condiciones existentes y un mejor planeamiento y control para el diseño urbano futuro tanto a nivel urbano como rural del distrito.

**V. CONCLUSIONES**

El análisis de Isla de Calor Urbano del Distrito Metropolitano de Quito, con el fin de conocer la influencia de uso de suelo,

vegetación y construcciones en la generación de este fenómeno, genera las siguientes conclusiones: (1) A través de la determinación de la distribución espacial y temporal de la temperatura superficial se identificó que este fenómeno está presente en seis parroquias del Distrito Metropolitano de Quito, tres urbanas: Carcelén, La Concepción e Ñaquito y tres rurales: Tababela, Calderón, y Guayllabamba; (2) la presencia de islas de calor en zonas urbanas del DMQ están asociadas a procesos de zonificación de viviendas de tipo vertical; (3) en las zonas rurales la ICU se relaciona con la presencia urbanizaciones de tipo horizontal, estructuras de equipamiento de uso múltiple y falta de espacios verdes, presentándose temperaturas más elevadas que en las zonas urbanas; (4) en el año 2013 cuando se produjo un notable cambio en el uso de suelo por la reubicación del aeropuerto Mariscal Sucre, en la parroquia La Concepción se produjo una disminución de la temperatura superficial en  $-0,44\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mientras que en Tababela se registró un incremento de  $3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; lo que es consecuente con los valores de los índices de vegetación y construcciones, que en el primer caso tras el cese de operaciones del antiguo aeropuerto se produjo un mejoramiento en las condiciones vegetativas de las áreas verdes existentes, mientras que para Tababela se produjo un decremento acompañado de un elevado aumento en el índice de construcciones (5) el Indicador de Vegetación Normalizada NDVI presenta una correlación inversa con la temperatura superficial, lo que significa que, a medida que se fraccionan áreas verdes la temperatura aumenta, lo que también es coincidente con la falta de espacios verdes en las parroquias de Calderón, Carcelén y Tababela (6) el Indicador Normalizado de Construcciones NDBI muestra un comportamiento directo positivo con la temperatura superficial, condicionando su incremento a la presencia de construcciones; (7) la caracterización de las Islas de Calor Urbanas se explica mejor a través del análisis de la relación entre la temperatura superficial y el uso de suelo. (8) la falta de planificación y control en el desarrollo urbano especialmente donde predominan viviendas de poca altura muy adosadas modifican las condiciones en cuanto a su temperatura superficial requiriéndose estrategias de mitigación, tales como la planificación a partir de bio-geografía, geo-estadística o análisis de espacios con espectrometría. (9) Se debe profundizar el estudio de los factores que influyen o alteran el clima urbano. Al respecto este estudio brinda un primer acercamiento a esta problemática la cual debe ser complementada con otras investigaciones que nos brinden mayores luces sobre el fenómeno y sus posibles soluciones.

#### REFERENCIAS

- [1] Ahmed, S. (2017). Assessment of urban heat islands and impact of climate change on socioeconomic over Suez Governorate using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*
- [2] Artis, D., & Carnahan, W. (1982). Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12, 313-329.
- [3] Dai, Z., Guldmann, J. M., & Hu, Y. (2018). Spatial regression models of park and land-use impacts on the urban heat island in central Beijing. *Science of the Total Environment*, 626, 1136-1147.
- [4] EPA United States Environmental Protection Agency. (18 de 11 de 2016). Obtenido de <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-impacts>
- [5] Gallo, K., McNAB, A., Karl, T., Brown, J., Hood, J., & Tarpley, J. (1993). The use of a vegetation index for assessment of the urban heat island effect. *International Journal of Remote Sensing*, 14(11), 2223-2230.
- [6] Ibrobo, M., & Hernández, F. (2009). Islas de calor urbano ICU. Obtenido de <http://giper.univalle.edu.co/productos/ISLAS%20DE%20CALOR%20URBANO%20ICU.pdf>
- [7] Landsat Project Science Office. (2007). *Landsat 7 Science Data User's Handbook*. Recuperado el 4 de 11 de 2016, de Goddard Space Flight Center, NASA, Washington, DC: [http://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7\\_Handbook.pdf](http://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7_Handbook.pdf)
- [8] Landsat Project Science Office. (29 de Marzo de 2016). Department of the Interior U.S. Geological Survey. Obtenido de *Landsat 7 Science Data User's Handbook*: [https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsers\\_Handbook.pdf](https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsers_Handbook.pdf)
- [9] Ling Chen, X., Mei Zhao, H., Xiang Li, P., & Young Yin, Z. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104, 133-146.
- [10] Marini, F. (10 de julio de 2010). Análisis del estado de la vegetación en el área de influencia de la EEA Bordenave mediante imágenes satelitales. Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, (Argentina) :[http://www.inta.gov.ar/bordenave/contactos/autores/fabian/indice\\_verde\\_area\\_INTA\\_bordenave.pdf](http://www.inta.gov.ar/bordenave/contactos/autores/fabian/indice_verde_area_INTA_bordenave.pdf)
- [11] Markham, B., & Barker, J. (1985). Spectral characteristics of LANDSAT Thematic Mapper sensors. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 697-716.
- [12] Moreno, M. d. (15 de Octubre de 2016). Bibliografía sobre Climatología urbana: la "isla de calor", I. Obtenido de <http://www.raco.cat/index.php/RevistaGeografia/articulo/download/46055/56860>
- [13] Oke. (1987). *Boundary Layer Climates* (2nd ed.). Obtenido de <http://bayanbox.ir/view/6693893538424427706/T.-R.-Oke-Boundary-Layer-Climates-Second-Editio-BookFi.org.pdf>
- [14] ONU Habitat. (12 de 11 de 2012). Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe. Rumbo a una nueva transición urbana. Brasil: Programa para las Naciones Unidas para Asentamientos Humanos. Obtenido de [http://www.un.org/es/events/habitatday/pdfs/ONU-HABITAT\\_brochure.pdf](http://www.un.org/es/events/habitatday/pdfs/ONU-HABITAT_brochure.pdf)
- [15] Pérez, C., & Muñoz, Á. (2006). *Teledetección Nociones y Aplicaciones*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- [16] Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial 2012-2022. (30 de Noviembre de 2011).
- [17] Preciado, M., & Aldana, A. (2011). Análisis de presencia de islas de calor en Santiago de Cali empleando técnicas de teledetección. *Ventana informática* (24), 95-114.
- [18] Rodríguez, N. (4 de 12 de 2016). *Gabrielortiz.com*. Obtenido de [http://www.gabrielortiz.com/%5Cdescargas/Articulo\\_SLC\\_Off\\_Project\\_7\\_07.pdf](http://www.gabrielortiz.com/%5Cdescargas/Articulo_SLC_Off_Project_7_07.pdf)
- [19] Rodríguez, J., & Olivella, R. (2011). *Introducción a SIG y Geotelemática*. En P. e. al, *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática*. Barcelona: Carrera edición, S.L.
- [20] Roth, M., Oke, T., & Emery, W. (1989). Satellite-derived urban heat island from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *Remote Sensing*, 10(11), 1699-1720.
- [21] Schwarz, N., Lautenbach, S., & Seppelt, R. (2011). Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures. *Remote Sensing of Environment*, 115, 3175-3186.
- [22] Serrano, S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., & Villacís, M. (2012). Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. *LA GRANJA, Revista de Ciencias de la Vida*, 16(2), 23-47.
- [23] Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador. (19 de Noviembre de 2016). INAMHI Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/la-institucion/>
- [24] Sheng, L., Tang, X., You, H., Gu, Q., & Hu, H. (2017). Comparison of the urban heat island intensity quantified by using air temperature and Landsat land surface temperature in Hangzhou, China. *Ecological Indicators*, 72, 738-746.

- [25] Silva, J. S., da Silva, R. M., & Santos, C. A. G. (2018). Spatiotemporal impact of land use/land cover changes on urban heat islands: A case study of Paço do Lumiar, Brazil. *Building and Environment*, 136, 279-292.
- [26] The Landscape Toolbox. (30 de 11 de 2016). Obtenido de [http://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote\\_sensing\\_methods:norm\\_malized\\_difference\\_vegetation\\_index](http://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote_sensing_methods:norm_malized_difference_vegetation_index)
- [27] Voogt, J., & Oke, T. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370-384.
- [28] Yuan, F., & Bauer, M. (2006). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 12.
- Zhao, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Application of Background Information Database in Trend Change of Agricultural Land Área of Guangxi. *International journal of remote sensing*, 583-594.



**Diana Paola Baño Saltos First A.** Autor El autor nació en la ciudad de Guaranda, Ecuador en el 1985. Es ingeniera civil por la Universidad Central del Ecuador y cuenta con una maestría en Gestión Ambiental por la universidad Internacional SEK. En el ámbito profesional, el autor trabaja en la Contraloría General del Estado como auditora técnica de obras. Por su trabajo cuenta con experiencia en el control de proyectos de ingeniería en agua potable, alcantarillado,

tratamiento de aguas residuales y saneamiento ambiental. Adicionalmente, está interesada sobre los efectos de la expansión urbana en la salud humana, en específico en el campo de la contaminación térmica y la gestión de aguas residuales y residuos



**José Gabriel Salazar I.** Autor nació en Quito, Ecuador en 1982, Graduado de Ingeniería Geográfica por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y con una Maestría en Estudios Sociambientales por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.

En el ámbito profesional, el autor ha participado en proyectos relacionados con el manejo de los recursos naturales y estudios sociales en instituciones como Ministerio del Ambiente, Instituto Geográfico Militar, Instituto Nacional de Meteorología e

Hidrología, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, entre otras. De igual manera, cuenta con experiencia en la producción de productos cartográficos para instituciones públicas y privadas.

En la actualidad, es docente investigador de la Universidad Internacional SEK de Ecuador en el Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. Entre sus campos de interés están los sistemas de información geográfica, las tecnologías de la información, el manejo de recursos naturales y el cambio climático.



**Mónica Susana Delgado.** El autor nació en Quito, Ecuador en 1975, Graduada de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional, con un Master en Sistemas de Información Geográfica por parte de la Universidad de Salzburgo, una Maestría de Gestión Ambiental en la Universidad Internacional SEK, y Una Maestría en Administración Ambiental en proceso de reconocimiento.

Desde el año 1997 fue asistente de investigación para el proyecto AARAM, dentro de la temática Dimensiones Humanas y Gestión de Riesgos Naturales y Antropogénicos. A partir del año 1999 trabajó en el laboratorio de ingeniería ambiental de la facultad de ingeniería Civil y Ambiental de la EPN, ahora CICAM. De 2001 a 2015, trabajó como consultor independiente en Medio Ambiente y Gestión de Riesgos, e Hidrología. Especialista Geomático 3 en el Instituto Espacial Ecuatoriano antiguo CLIRSEN, y luego se desempeñó como director de investigación en INAMHI, Asesor de proyectos para funcionarios de la Secretaría de Gestión de Riesgos.

En cuando a la práctica docente, desde 2004 profesor parcial en la Universidad de las Américas, iniciando la primera promoción de ingeniería ambiental, hasta el año 2014. Fue profesor a tiempo completo en la EPN, y desde el año 2017 profesor en la Universidad Internacional Sek. Es co-autor de tres libros en la temática de Gestión de Riesgos Naturales, OT aplicada a la gestión del Riesgos Naturales, Análisis de Inundaciones y Cambio Climático. Co-autor para el ministerio del ambiente del Perú de la Obra Períodos Secos y Húmedos en las cuencas Perú – Ecuador como parte del SENAMHI – INAMHI.

Sus intereses de investigación incluyen procesos y aplicaciones en Gestión de Riesgos, tanto naturales como Antropogénicos. Se desempeña en la temática investigativa de efectos de la contaminación, toxicología, bio-informática aplicada, Sanidad ambiental, Geomática.

Contribuye con proyectos de Caracterización del Riesgo: identificación de amenazas por fenómenos geológicos, hidrometeorológicos, sociales, sanitario ecológico y químico tecnológico; Identificación de vulnerabilidades en función de determinantes sociales, ambientales, enfermedades crónicas transmisibles y no transmisibles, así como la ubicación geográfica de infraestructura en zonas de amenaza alta y media. Definición de escenarios de riesgo que relacione las amenazas y vulnerabilidades identificadas.