

Análisis de la isla de calor urbana en el entorno andino de Cuenca-Ecuador

Analysis of the urban heat island in the Andean environment of Cuenca-Ecuador

Andrés Santiago Bustamante Campoverde¹

Resumen

La isla de calor urbana (ICU) se define como la diferencia térmica entre la ciudad y la zona rural. Este fenómeno debido a su importancia se estudia a nivel global, sin embargo en ciudades andinas es limitado su estudio, en donde la geografía condiciona la interpretación de la ICU. En Cuenca la zona urbana está a menor altitud que la zona rural, de tal manera que intensifica el calor urbano. En este sentido, este artículo analiza el calor urbano del cantón Cuenca en períodos extremos definidos como época húmeda y seca entre los años 2015 a 2017 en base de información de la red de estaciones del cantón Cuenca con datos de parámetros climáticos como temperatura, precipitación y humedad relativa. Después se generan mapas de calor con los datos de 10 estaciones urbanas y rurales con rango altitudinal de 2.400 hasta 2.800 m s.n.m. Finalmente se identifica la ICU por períodos y sus diferencias respecto a la estación rural más fría. Los resultados muestran una ICU promedio de 3 °C en el centro urbano para el período húmedo y seco de 2015 a 2017.

Palabras clave: Isla de calor urbana; morfología andina; parámetros climáticos; isotermas; Cuenca.

Abstract

The Urban heat island (UHI) is defined as being the thermal difference between the city and rural area. Due to the importance of this phenomenon it is studied on a global level. However, in Andean cities its geography makes it difficult to interpret the ICU. In Cuenca the urban area is lower than the rural area so the urban heat island effect intensifies. In this sense, this article analyses the urban heat island of Cuenca in extreme periods defined as the wet and dry seasons between 2015 and 2017 based on information obtained from the network of stations of Cuenca with data on temperature, precipitation and relative humidity parameters. After that isotherms are produced with the data from 10 urban and rural stations with an elevation range of 2,400 to 2,800 m a. s. l. Finally the ICU is identified per period and the differences are compared to those of the coldest rural station. Results show an ICU of 3 °C in the urban center for the wet and dry period from 2015 to 2017.

Keywords: Urban heat island; Andean morphology; climatic characteristics; isotherms; Cuenca.

1. Introducción

La isla de calor urbano (ICU) se define como el incremento térmico en la ciudad respecto a la zona rural circundante (Oke, 1987). Este fenómeno incide en el confort ambiental y bienestar de las personas, de tal manera se lo ha estudiado en relación con los impactos en la salud (Heaviside, Macintyre, & Vardoulakis, 2017). Estos impactos dependen de la intensidad de ICU que varían dependiendo del tamaño

¹ Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca, Ecuador. andres.bustamantec@ucuenca.ec

de cada ciudad (Estoque, Murayama, & Myint, 2017) y en la cual se ha estudiado principalmente la ICU en relación con la morfología tanto a escala regional (Palme, Inostroza, Villacreses, Lobato-Cordero, & Carrasco, 2017), así como a escala micro (Bustamante, 2017; Priyadarsini, Hien, & Wai David, 2008; Rosas-Lusset & García, 2013).

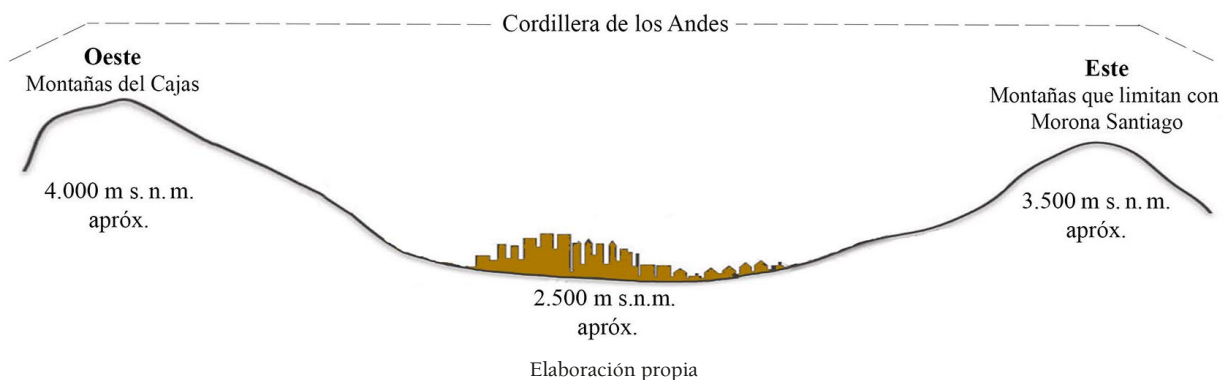
El estudio de la ICU se centra en el análisis de la temperatura ambiente que generalmente usa mediciones in situ o a través de registros de las estaciones meteorológicas. No obstante, para estudiar las ICUs entendidas como el estudio de la temperatura emitida por la superficie, el método más aplicado ha sido mediante el uso de imágenes de satélite (Kotharkar, Ramesh, & Bagade, 2018). Además, teniendo como punto de partida el registro de temperatura ambiente o superficial, una forma de estudiar y representar gráficamente esta variación térmica ha sido a través de la generación de mapas de calor o isotermas con el apoyo de SIG (Sistemas de información geográfica) (Fries, Rollenbeck, Nauß, Peters, & Bendix, 2012).

Por otro lado, la identificación de la ICU ha sido limitada por el hecho de que el calor urbano se evalúa respecto solo a un punto o área rural, cuando la realidad en algunos sitios sugiere una mayor inclusión de sitios de medición, como en el caso de Cuenca donde un mayor número de estaciones rurales pueden completar el estudio, a más de considerar su variada topografía. Adicionalmente, los estudios de clima se han fundamentado como flujos sobre terrenos planos y homogéneos, similar a escenarios lineales cuando en realidad las escalas de estudio en cada territorio pueden ser heterogéneas como en los contextos caracterizados por montaña en donde varía la altitud, de tal manera que estos análisis deben ser afinados (Palacio & Jiménez, 2012).

Específicamente el contexto climático de los Andes se caracteriza por ser uno de los sistemas montañosos más importantes del mundo que presenta uno de los gradientes climáticos en dirección este-oeste más marcados a nivel global (Garreaud, Vuille, Compagnucci, & Marengo, 2009), cuya modificación climática tiene un condicionamiento por la topografía andina (Urrutia & Vuille, 2009) caracterizada por su variación de altitud y pendiente (Vuille, Bradley, Werner, & Keimig, 2003; Vuille, Bradley, & Keimig, 2000). Es así que una hipótesis para describir el comportamiento de la ICU en ciudades andinas, sugiere el “efecto sumidero de calor” (Figura 1) asociado a la fuerte brisa de la cordillera de los Andes, que barre la ICU y la desplaza al poniente de la ciudad (Sarricolea & Martín-Vide, 2014).

A la anterior delimitación andina se le suma la condición de zona tropical como el caso de Ecuador, ya que entornos cercanos a la línea ecuatorial permanecen más calientes (Estoque *et al.*, 2017) y que a la vez dentro de este territorio se diferencia situaciones de ICU para costa (Palme *et al.*, 2016) y sierra (Bustamante, 2017). En el contexto del cantón Cuenca (Ecuador) si se realiza un corte en sentido este-oeste (Figura 1), se observa que está dentro la Cordillera de los Andes y que se delimita dentro de la misma al oeste por montañas del Cajas y al este por montañas que limitan con la Provincia de Morona Santiago. Esta configuración tipo valle, es decir una geometría con depresión en la superficie terrestre en la parte central donde se asienta la ciudad, es muy común en ciudades andinas o en el caso de Ecuador en donde las ciudades de sierra presentan un esquema similar debido a que la cordillera de los Andes atraviesa todo el territorio de norte a sur.

Figura 1. Esquema andino para un contexto de Ecuador-Cuenca



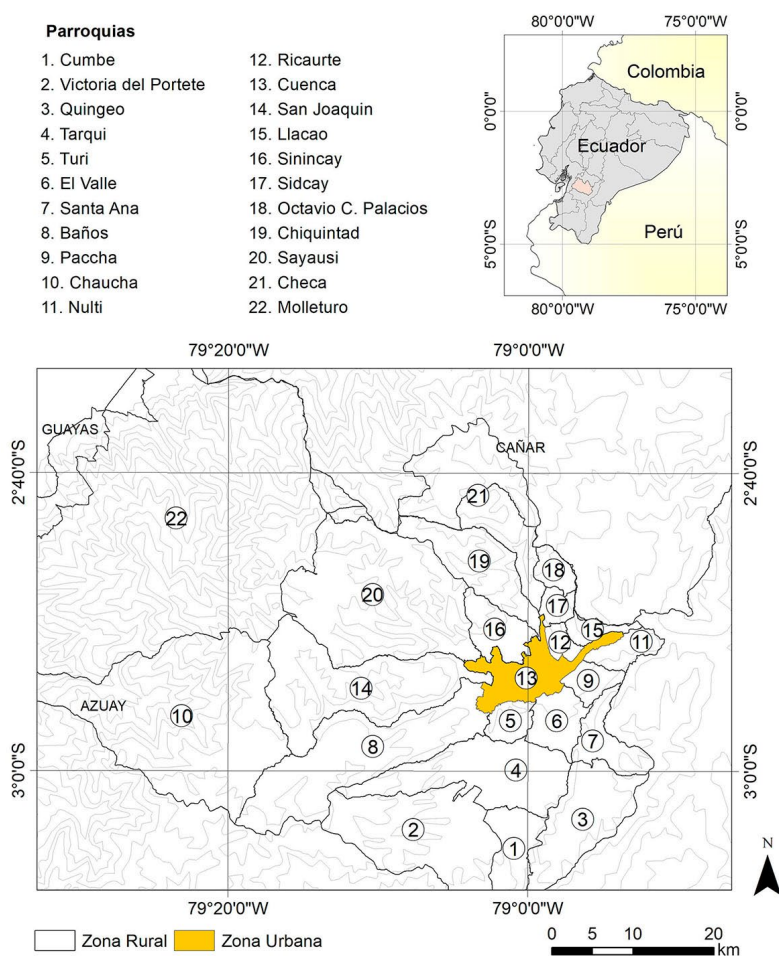
Particularmente, en Cuenca, si bien se ha caracterizado y verificado la existencia de isla de calor para el año de 2014 que muestra una ICU de 2 °C en el periodo nocturno (16 h a 24 h) para temperatura

ambiente, mientras que las diferencias de temperatura superficial supera la temperatura ambiente en las áreas periféricas con una diferencia que oscila entre 5 y 15 °C y entre 2 a 13,5 °C en el área urbana (Guillén-Mena & Orellana, 2016). Además un estudio experimental más reciente se enfoca en la semana más cálida de noviembre para 2017 que compara el centro urbano con la estación rural de Llaqueo de similar altitud e identifica una ICU de 5 °C en el día y una ICU de 3 °C para la noche (Bustamante, 2017). El presente estudio pretende dar seguimiento al fenómeno y ampliar la escala y periodo de análisis del mismo, que a la vez permita interpretar la relación de la ICU respecto al resto del entorno rural con mayor frío y altitud. Es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo analizar la relación del entorno rural y la urbe en base de la ICU en épocas extremas húmeda y seca entre los años 2015 y 2017 mediante la creación de mapas de calor para el cantón Cuenca. Los análisis de mapas de calor expuestos resultan de gran interés para el entendimiento del comportamiento climático en el entorno Andino.

1.1. Área de Estudio

El cantón Cuenca se encuentra ubicado en el sistema orográfico de los Andes en las coordenadas 2°39' a 3°00' de latitud sur y 78°54' a 79°26' de longitud oeste, la zona urbana tiene una altitud promedio de 2.560 m s. n. m. Según la clasificación climática de Köppen-Geiger, la ciudad de Cuenca se cataloga como Cfb que corresponde a un clima de latitudes medias, húmedo y templado (Kottek, Grieser, Beck, Rudolf, & Rubel, 2006). El área total del cantón es de 3.102 km² mientras que el área urbana tiene una extensión 72,82 km² (Figura 2) (Municipalidad de Cuenca, 2015). Para el año 2017, el cantón tiene una población estimada de 603.269 habitantes, mientras el área urbana cuenta con 396.012 habitantes (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017).

Figura 2. Centro urbano y parroquias rurales del cantón Cuenca



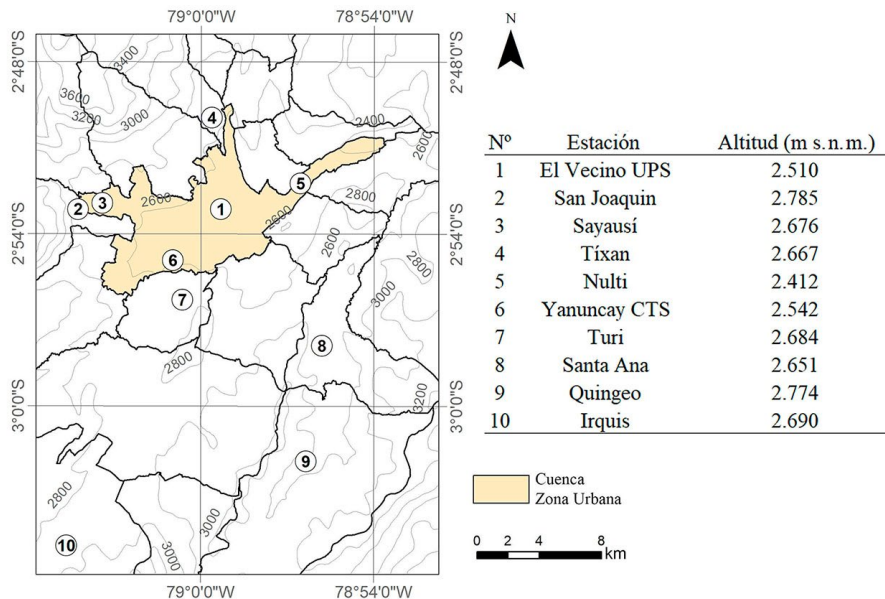
Fuente: INEC, 2017. Elaboración propia

2. Metodología

2.1. Selección de estaciones por altitud

En el cantón Cuenca existen estaciones periféricas que superan la altitud de 3.000 m s. n. m como el caso de Molleturo, mientras que en la zona urbana y su zona contigua concentran un mayor número de estaciones con rangos altitudinales entre 2.400 y 2.800 m s. n. m. Entonces con el fin de evitar errores por influencia importante de altitud se realizó el estudio con las estaciones que son próximas a este último rango de altitud (Figura 3).

Figura 3. Estaciones meteorológicas del cantón Cuenca



Fuente: Universidad Politécnica Salesiana, 2017. Elaboración propia

2.2. Periodos de evaluación para estudio

El registro histórico (1981-2010) de temperatura promedio en toda el área del cantón Cuenca —urbano y rural— muestra un rango de 12,9 °C a 16,6 °C (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2017). De este último rango y para el mismo periodo, el entorno urbano muestra una temperatura media promedio de 16,4 °C, en donde los años 1998, 2009 y 2010 fueron los únicos en alcanzar el promedio de 17 °C, mientras los demás han estado por debajo de este valor, incluyendo los años que van desde 2010 en adelante (Dirección general de aviación civil [DGAC], 2017). De esta manera el promedio de temperatura de estas tres últimas décadas y los años desde 2010 hasta 2017 se han mantenido oscilando entre los 16 y 17 °C, por lo que no se puede generalizar un incremento importante de temperatura, lo que muestra una tendencia de años normales.

De lo anterior también se puede mencionar que no se ha hecho mayor esfuerzo por interpretar el clima rural frente al urbano, lo que conlleva a una interpretación limitada no solo en la zona de Cuenca si no a nivel nacional, con lo que el estudio de ICU definida en un periodo mínimo o experimental permitirá interpretar un acercamiento en la tendencia térmica del entorno rural. Así se consideran dos aspectos fundamentales para la selección de la temporalidad del estudio. Primero, a partir de la consideración de una tendencia de años normales en la zona es válida la evaluación de la ICU en base a una muestra temporal representativa de al menos dos años, en donde se pueda entender el comportamiento de las épocas extremas: época seca y húmeda; y segundo, la investigación se ve condicionada por el hecho de que la información de las estaciones usadas para el estudio, cuentan con información completa disponible desde el año 2015.

Para realizar esta investigación se usó información del registro meteorológico de los años 2015 y 2017 de las estaciones del cantón Cuenca (Universidad Politécnica Salesiana, 2017). El estudio de la

ICU en Cuenca se centró en los periodos definidos como época húmeda y época seca que básicamente se definen por el régimen estacionario de lluvias delimitando las épocas extremas. Para ello nos valemos del registro de datos promedios de temperatura, humedad relativa y precipitación (Tabla 1), en donde la época húmeda tiene una mayor duración que abarca desde octubre hasta mayo que además posee mayor temperatura; mientras que la época seca se desarrolla entre los meses de junio y septiembre y tiene menor temperatura (Universidad Politécnica Salesiana, 2017). El punto de partida para el análisis de la ICU es el comportamiento térmico, así se evalúa estas últimas cuatro épocas para el periodo de 2015 y 2017.

Tabla 1. Promedios de variables para delimitación de época húmeda y seca

Años 2015-2017	época húmeda: octubre 2015 a mayo 2016	época seca: junio 2016 a septiembre 2016	época húmeda: octubre 2016 a mayo 2017	época seca: junio 2017 a septiembre 2017
Temperatura media °C	14,52	12,77	13,83	13,14
Humedad relativa media %	78,75	76,87	80,28	75,08
Precipitación media mm	0,115	0,055	0,144	0,047

Fuente: Universidad Politécnica Salesiana, 2017. Elaboración propia

Definidos las estaciones y periodos de evaluación para la ICU, esta información fue utilizada para la generación de mapas de calor o isotermas y mediante el uso de la expresión de Oke (1981) se identificó el incremento térmico.

2.3. Generación de Isotermas

Para la generación de los mapas de isotermas se empleó el esquema metodológico de Fries *et al.*, (2009) y Fries, Rollenbeck, Nauß, Peters, & Bendix (2012). Así se usó información de las estaciones sobre la temperatura ambiente y considerando su nivel de altitud. Esta información permitió calcular el gradiente altitudinal que mediante interpolación con un modelo digital de elevación (DEM) con resolución de 200 m por pixel (Souris, 2016), definió los mapas de calor mediante el uso del software QGIS 2.4. A continuación se explican los pasos seguidos.

2.3.1. Promedios por época, gradientes altitudinales y deducción

El primer paso consiste que mediante los valores de cotas altitudinales de cada estación y los valores promedios de temperatura se realice una regresión lineal y dé como resultado la expresión de la siguiente forma:

$$T_p = \Gamma \cdot z + (b) \quad (1)$$

Dónde T_p es la temperatura promedio por época del aire (en ° C), Γ la pendiente (la tasa de caída), b la intersección de regresión (la base para el nivel de temperatura) y z la altitud (m).

De la expresión 1 se pudieron calcular los valores obtenidos de Γ y b , que se muestran en la Tabla 2, además del valor R^2 de cada ecuación de regresión.

Tabla 2. Valores de Γ (la tasa de caída), b la intersección de regresión

Promedio	Γ	b	R^2
Época húmeda 2015-2016	-0,0086	37,6	0,67
Época seca 2016-2016	-0,0083	35,148	0,65
Época húmeda 2016-2017	-0,0076	34,352	0,61
Época seca 2017-2017	-0,009	37,458	0,68

Elaboración propia

El siguiente paso consiste en calcular la temperatura al nivel base (Z_{det}) que en este caso será de 2.400 m s. n. m. por ser el nivel más bajo de la zona estudiada (Figura 3), y se usa la siguiente expresión:

$$T_{Det} = T_{ep} + (\Gamma \cdot (Z_{Det} - Z_{est})) \quad (2)$$

Dónde T_{Det} es la temperatura promedio del nivel base por época (°C), Z_{Det} el nivel de desviación (aquí 2.400 m s. n. m.) y Z_{est} la altitud de la estación climática (m s. n. m.).

2.3.2. Interpolación y restablecimiento de la distribución altitudinal

Después con los valores de T_{Det} se utiliza una interpolación tipo Kriging que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados (x,y) con un valor de referencia z. Entonces el DEM se usa para restablecer la distribución vertical de T para cada píxel invirtiendo la ecuación anterior:

$$T_{(x,y)} = T_{Det} + (\Gamma \cdot (Z_{(x,y)}^{DEM} - Z_{Det})) \quad (3)$$

Donde $T_{(x,y)}$ es el promedio resultante de la temperatura media a una celda de la cuadrícula de posición (x,y), y $Z_{(x,y)}^{DEM}$ es la altitud de la celda de cuadrícula del DEM en una posición (x,y, en m s. n. m.).

2.4. Identificación de la ICU

La expresión (4) de Oke ha sido empleada en varias investigaciones para evaluar la intensidad del fenómeno de la ICU (Chow & Roth, 2006; Oke, 1981, 1988; Steeneveld, Koopmans, Heusinkveld, Van Hove, & Holtslag, 2011):

$$ICU = (T_{urban} - T_{rural}) \quad (4)$$

Donde, ICU es la Intensidad de Isla de Calor en grados centígrados, T_{urban} es la temperatura en la zona urbana y T_{rural} es la temperatura en la zona rural.

Finalmente, los mapas de ICU se obtienen a partir de la diferencia entre los mapas de isotermas que contienen los valores de todas las estaciones del estudio; y la estación más fría que para el presente trabajo es la estación de Quingeo, de tal forma que se puede resumir en la siguiente expresión 5.

$$ICU = (T_{(x,y)} - T_{rural}) \quad (5)$$

Donde, ICU es la Intensidad de Isla de Calor en grados centígrados, $T_{(x,y)}$ es el promedio resultante de la temperatura media a una celda de la cuadrícula de posición (x,y) o la isoterma resultante del área de estudio; y T_{rural} es la temperatura en la zona rural.

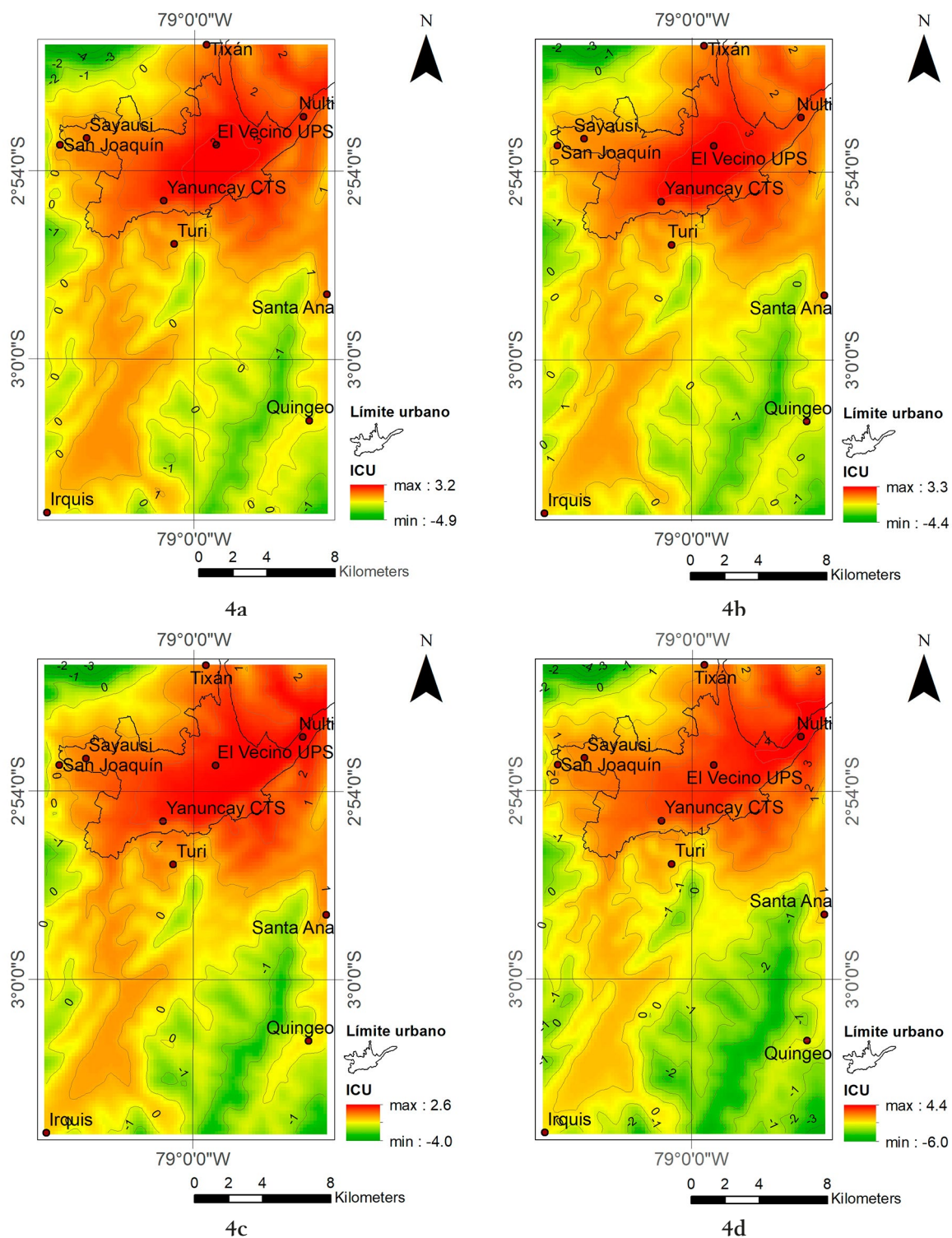
3. Resultados

3.1. Mapas de ICU

En la Figura 4 se muestran los mapas de calor de acuerdo a épocas húmedas y secas con datos de registros diarios y temperaturas medias. En general los mapas de calor muestran a la zona urbana con una mayor temperatura (ver límite urbano en la Figura 4), en donde principalmente las estaciones de El Vecino UPS, Yanuncay CTS y Nulti son las que presentan mayor incremento térmico, además estas estaciones están a una cota altitudinal menor a los 2.600 m s. n. m. de este modo la mayor concentración de calor urbano coincide en la zona urbanizada de la ciudad.

En las épocas húmedas de 2015-2016 (Figura 4a) y época húmeda 2016-2017 (Figura 4c), la estación de El Vecino UPS muestra la mayor concentración de calor y alcanza un máximo de 3,2 °C y 2,6 °C respectivamente, mientras que la mínima concentración de calor respecto a la estación de Quingeo, se da en Santa Ana e Irquis con un valor inferior a 1,2 °C. Por su parte en los periodos secos 2016-2016 (Figura 4b) el incremento térmico se sigue manifestando alrededor de la estación central de El Vecino UPS que en este caso alcanza una ICU máxima de 3,3 °C, mientras que la estación urbana de Nulti para el periodo seco de 2017-2017 (Figura 4d) alcanza una ICU máxima de 4,4 °C. Además en los periodos secos, los mínimos valores de ICU se identifican en la estación de Santa Ana e Irquis. De estos primeros resultados se observa que la ICU tiene mayor intensidad en los periodos secos.

Figura 4. Mapas de ICU: a) época húmeda 2015-2016, b) época seca 2016-2016, c) época húmeda 2016-2017, d) época seca 2017-2017



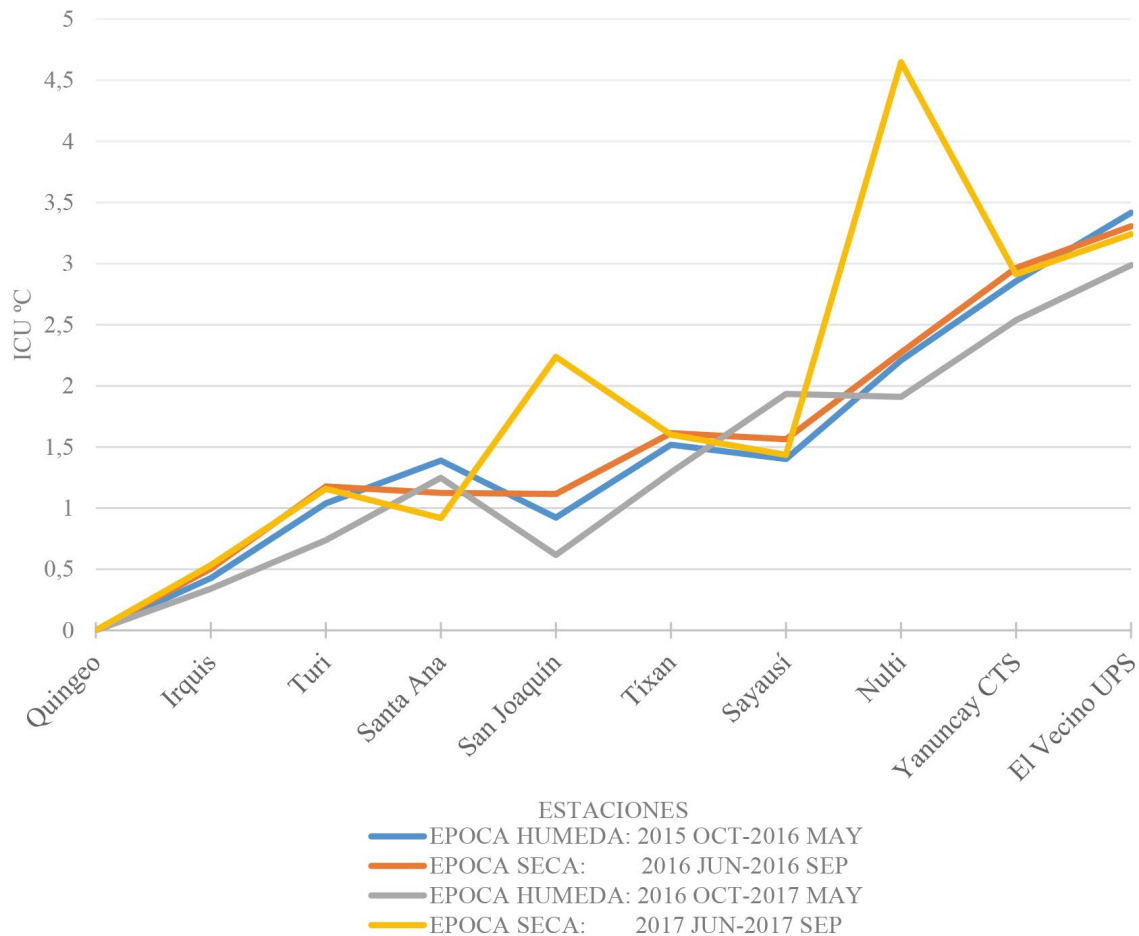
Fuente: Universidad politécnica salesiana, 2017. Elaboración propia

3.2. Tendencia de ICU

La Figura 5 muestra en resumen el incremento de ICU por épocas de estudio que tiene todas las estaciones respecto a la estación de referencia —Quingeo— por ser la más fría y a partir del empleo de la

expresión (4) para el cálculo de ICU. De forma general se observa que existe una tendencia ascendente de incrementos que ordenan la ICU desde lo más rural a lo más urbanizado y que a la vez ordenan desde mayor altitud a menor altitud. Además, en las tres primeras épocas estudiadas (2015 OCT a 2017 MAY), se identifica un comportamiento muy similar. Pero, por otro lado aparece la tendencia de la última época que alcanza una mayor ICU en la estación de San Joaquín alcanzado más de 2 °C, y la estación de Nulti aparece con un valor de 4,5 °C que incluso supera en 1 °C a la estación de El Vecino. A esta último valor de Nulti no lo podemos generalizar para todos los periodos, sin embargo se debe tener presente que Nulti es inferior en 100 m de altitud respecto a El Vecino.

Figura 5. Diferencias de ICU por estaciones y épocas



Fuente: Universidad politécnica salesiana, 2017. Elaboración propia

4. Discusión

Resulta fundamental describir el tipo de isla de calor a través de la interpretación del mapa de isothermas. Para sintetizar el comportamiento de este fenómeno se establecen 3 categorías de ICU de forma similar al estudio de (Martínez, 2014), para ello se mencionan intensidades de isla de calor y que en adición diferencian un rango altitudinal:

a) Isla de calor fuerte

Que responde a la que genera precisamente el centro urbano, es decir las zonas urbanizadas de la ciudad que son en resumen las próximas a estaciones más interiores como: El Vecino UPS, Yanuncay CTS y Nulti. Estas estaciones registran el mayor valor de ICU, con incrementos entre 2 y 3 °C por época estudiada. Estos rangos de valor a la vez comprenden un rango de altitud entre 2.400 y 2.600 m s. n. m.

b) *Isla de calor desplazada*

Este segundo rango se caracteriza por ubicarse en zonas con cierto grado de urbanización pero inferior al de la zona central, además de ser las zonas que limitan al centro urbano como: Turi, Santa Ana, San Joaquín, Tixán y Sayausi, que registran valores de ICU entre 1 y 2 °C. Este rango de estaciones exteriores al centro urbano presentan un mayor valor altitudinal que está entre 2.600 a 2.700 m s. n. m.

c) *Isla de calor débil o inexistente*

En este último caso corresponde a las estaciones más externas como Irquis o Quingeo. El incremento térmico de estas estaciones es mínimo y no supera el 1 °C, o como en el caso de Quingeo no se registra ICU, y es la estación más fría que define la ICU del resto de estaciones estudiadas. Este último grupo presenta altitudes próximas y superiores a los 2.700 m s. n. m., con estaciones que están a más de 16 km del centro urbano.

La isla de calor es un fenómeno que depende de varios factores, aunque en la zona andina la consideración de su variación altitudinal y una estacionalidad definida por el régimen de lluvias delimita y direcciona el estudio. Se debe tener presente que el estudio solo utilizó información de 10 estaciones con información completa para los periodos de 2015 y 2017, además que el registro digital de estos datos solo se obtiene desde el 2015. De esta forma se busca obtener ventaja de esta situación para describir de forma general la isla de calor de Cuenca.

Los resultados en Cuenca para periodos anteriores están en un rango similar. La comparación con el estudio de Guillén-Mena & Orellana (2016) mostró una ICU por temperatura ambiente de 2 °C entre la urbe y la zona periurbana. En la presente investigación una comparación análoga se puede dar en una estación periurbana como Sayausi o San Joaquín respecto a El Vecino UPS, que de igual manera alcanza una diferencia de 2° C. De aquí se puede visualizar que el incremento por ICU no ha sido mayor, pero la expansión de la ciudad puede generar presencia de nuevas islas de calor como el caso de la estación de Nulti, que es la que alcanzo el mayor incremento térmico más reciente, pero a la vez es la estación con menor cota altitudinal 2.412 m s. n. m.

Anteriormente se mencionó la utilidad de la expresión de Oke (1981): ($ICU = T_{urban} - T_{rural}$), para situaciones uniformes en altitud. El cantón Cuenca a pesar de su reducida área en comparación a otras ciudades, puede variar de altitud y formar esquemas que pueden ser analizados con relación a la ICU. El primer caso analiza una condición uniforme como una comparación que podría ser entre la estación de El Vecino UPS (urbe) y la de Sayausi (límite urbano). En esta primera comparación a una similar altitud, el volumen de urbanización favorece a El Vecino y así genera una mayor ICU. Una segunda condición corresponde la comparación entre el centro urbano como la estación de El Vecino (urbana) y la estación de Quingeo (rural) en donde la diferencia térmica se incrementa no solo por la mayor urbanización sino también por una diferencia entre altitudes. En definitiva un análisis de ICU en Cuenca al presentar estaciones exteriores a la ciudad con mayor altitud que la urbe corresponde a una situación no lineal.

En el contexto latino, se considera los resultados de la investigación de Sarricolea (2008) en la ciudad de Rancagua del entorno Andino de Chile, en donde concluye que las temperaturas disminuyen hacia la periferia y en especial hacia el sur y poniente, que en este caso muestra un comportamiento similar a los resultados de Cuenca, donde la localidad de Quingeo que esta al sur es la que muestra la temperatura más baja. Los datos de la investigación de Romero & Opazo (2017) para el periodo estival dentro de la ciudad de Santiago corresponde a una distribución de temperaturas altas a través de franjas transversales Norte-Sur, que se registran en los sectores oriente y poniente, esto es análogo a lo que ocurre en el entorno Andino de Cuenca, a pesar de que esta última está más cercana a la zona tropical.

En un contexto diferente al andino, como de Norte América el estudio de Gu & Li (2017), relaciona la intensidad de la ICU y la precipitación, y evidencia a estas dos variables en una correlación estacional, es decir en la época de verano la precipitación tiene una correlación positiva con la intensidad de la ICU, mientras que en la época de invierno la precipitación tiene una correlación negativa con la intensidad de la ICU. En este caso Cuenca no presenta la estacionalidad de una ciudad de latitud norte, pero si puede identificar que en la época húmeda presenta una menor intensidad de ICU y que en la época seca alcanza una mayor ICU.

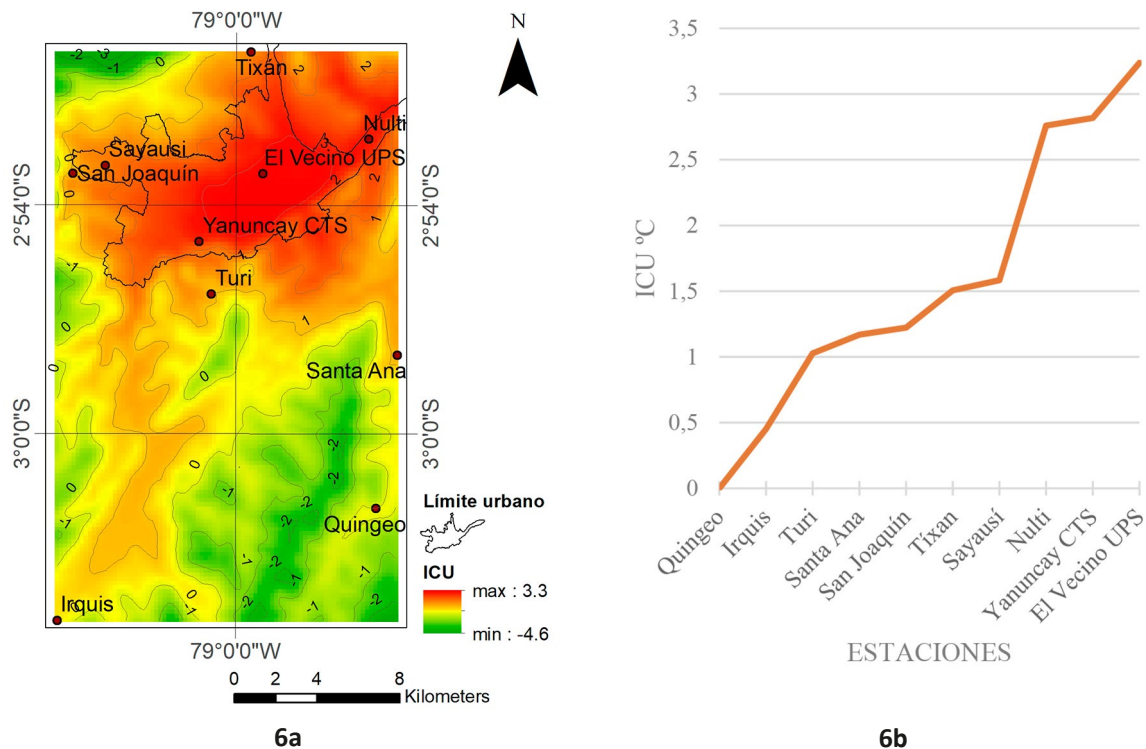
En esta investigación se muestra que cuando se evalúa el incremento térmico no es suficiente para interpretar el clima general, ya que este se ve afectado por otras variables que pueden ser más complejas de estudiar como: el clima regional, la topografía, la impermeabilización de la superficie natural (Ferrelli,

Bustos, & Piccolo, 2016), tomando sobre todo mucha importancia las variables asociadas a modificación por contenido de agua como la precipitación y humedad. En todo caso el análisis de ICU en los Andes implica como punto de partida el conocimiento de la altitud que modifica el clima en general.

5. Conclusiones

Finalmente se presenta la distribución de la isla de calor en la ciudad de Cuenca para el período de los años 2015 y 2017 (Figura 6a), así como los valores de ICU por estaciones respecto a la estación de Quingeo en forma ascendente (Figura 6b).

Figura 6. a) Isoterma promedio época 2015-2017, b) Diferencias promedio de ICU en periodo 2015-2017 por estaciones



Fuente: Universidad politécnica salesiana, 2017. Elaboración propia

La isla de calor se distribuye de la siguiente manera:

- 1) El centro de máxima intensidad se da en la zona urbana consolidada alrededor de la estación de El Vecino, y alcanza una diferencia de 3,24 °C respecto a la estación más fría de Quingeo. El segundo foco de calor inmediato se da con la estación de Yanuncay CTS que alcanza una diferencia térmica de 2,82 °C respecto a Quingeo.
- 2) A partir de este centro urbano de calor la ICU de Cuenca va expandiendo paulatinamente hacia las afueras de la urbe hacia los sentidos este-oeste y norte-sur.
- 3) En el primer sentido la estación de Nulti muestra un foco de calor muy similar a los del centro consolidado que en este caso alcanza una diferencia de 2,76 °C. Hacia el sentido oeste podemos observar que los centros de Sayausi y San Joaquín también presentan su propia ICU, aunque en menor medida y no superan los 2 °C de incremento con respecto de la estación más fría. En el segundo sentido norte-sur, hacia el norte la estación de Tixán, y hacia el sur Turi, Santa Ana e Irquis tiene menor intensidad de ICU.
- 4) Si bien se definieron épocas extremas para una mejor caracterización de la ICU, al estudiar estas se observó que tienen diferencias térmicas que pueden ser importantes ya que superan los 3 °C, además el presente análisis fue realizado en un rango altitudinal que no varía en más de 500 m s. n. m. y muestra la importancia del rango altitudinal.

- 5) A partir del mapa promedio de isla de Calor de Cuenca se concluye que la mayor intensidad de ICU presenta las siguientes características: se distribuye en la zona central urbanizada y con menor altitud, tiene un eje este-oeste, y manifiesta mayor valor en la época seca.

Adicionalmente la zona rural de Cuenca representa una categoría de estudio importante conocida como islas frías o frescas cuyo entendimiento es útil para mejorar la calidad ambiental de la ciudad (Fernández & García, 2013). De forma general el monitoreo de estos eventos climáticos será fundamental para mitigar y prevenir riesgos ambientales (Córdova, 2011). Finalmente, se debe tener presente que la ICU se ha profundizado mayoritariamente en ciudades de costa (Palme *et al.*, 2017), así este trabajo con una vertiente local, trata de ser uno de los primeros en Ecuador que dé prioridad al análisis de ICU en la Sierra.

Referencias

- Bustamante, A. (2017). *Caracterización de la isla de calor urbana por efectos de la morfología en la ciudad andina de Cuenca, Ecuador*. (Tesis de Maestría). Universidad de Cuenca. Recuperado de <http://dspace.ucuencia.edu.ec/handle/123456789/27976>
- Chow, W. T. L., & Roth, M. (2006). Temporal Dynamics of the urban heat island of Singapore. *International Journal of Climatology*, 26, 2243–2260. <https://doi.org/10.1002/joc.1364>
- Córdova, K. (2011). Heat Island Impacts and Urban Heat Islands in the Environment and Human Health. Comparative Seasonal Analysis: Caracas, October 2009, March 2010. *Revista Terra*, 27(42), 95–122. Recuperado de <http://www.redalyc.org:9081/articulo.oa?id=72121706005>
- Dirección general de aviación civil [DGAC]. (2017). Registro histórico de Temperatura ambiente de la estación meteorológica Mariscal Lamar de Cuenca.
- Estoque, R. C., Murayama, Y., & Myint, S. W. (2017). Science of the Total Environment Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, 577, 349–359. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.195>
- Fernández, J., & García, N. (2013). Caracterización De Islas Frescas Urbanas –Ifu– En La Ciudad De Santiago De Cali, Colombia Urban Fresh Islands Characterization in the City of Cali, Colombia. *Entorno Geográfico*, (9), 122–144. Recuperado de <http://entornogeografico.com/index.php/EntornoGeografico/article/view/78>
- Ferrelli, F., Bustos, M. L., & Piccolo, M. C. (2016). Modificaciones en la distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa como resultado del crecimiento urbano: el caso de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Revista de Climatología*, 16, 51–61. Recuperado de <http://www.climatol.eu/reclim/reclim16d.pdf>
- Fries, A., Rollenbeck, R., Göttlicher, D., Nauss, T., Homeier, J., Peters, T., & Bendix, J. (2009). Thermal structure of a megadiverse andean mountain ecosystem in southern Ecuador and its regionalization. *Erdkunde*, 63(4), 321–335. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2009.04.03>
- Fries, A., Rollenbeck, R., Nauß, T., Peters, T., & Bendix, J. (2012). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152, 17–30. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.08.004>
- Garreaud, R. D., Vuille, M., Compagnucci, R., & Marengo, J. (2009). Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(3–4), 180–195. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.032>
- Gu, Y., & Li, D. (2017). A modeling study of the sensitivity of urban heat islands to precipitation at climate scales. *Urban Climate*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.12.001>
- Guillén-Mena, V., & Orellana, D. (2016). Un acercamiento a caracterizar la isla de calor en Cuenca, Ecuador. En *CONAMA2016* (pp. 1–14). Madrid. Recuperado de <http://www.conama2016.org>
- Heaviside, C., Macintyre, H., & Vardoulakis, S. (2017). The Urban Heat Island: Implications for Health in a Changing Environment. *Current Environmental Health Reports*, 15–17. <https://doi.org/10.1007/s40572-017-0150-3>

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2017). Isotermas Medias Anuales de la serie histórica 1981-2010. Recuperado de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/gisweb/ISOTERMAS_SERIE_1981_2010/PDF/ISOTERMAS_SERIE_1981_2010.pdf
- Kotharkar, R., Ramesh, A., & Bagade, A. (2018). Urban Heat Island studies in South Asia: A critical review. *Urban Climate*, (December 2017). <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.12.006>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Martínez, J. M. (2014). Estudio de la isla de calor de la ciudad de Alicante. *Investigaciones Geográficas*, 62, 83–99. <https://doi.org/10.14198/INGEO2014.62.06>
- Municipalidad de Cuenca. (2015). Plan de movilidad y espacios públicos. En *Tomo I* (p. 540). Recuperado de <http://www.cuenca.gob.ec/?q=content/plan-de-movilidad>
- Oke, T. R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 1(3), 237–254. <https://doi.org/10.1002/joc.3370010304>
- Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates*. 2ª ed. Recuperado de http://www.academia.edu/16752781/T._R._Oke_-_Boundary_Layer_Climates_1988_.PDF
- Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11(1–3), 103–113. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)
- Palacio, C. A., & Jiménez, J. F. (2012). Climatología Urbana y de Montañas. *Dyna*, 79(175), 61–69. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/496/49624956010/>
- Palme, M., Inostroza, L., Villacreses, G., Lobato-Cordero, A., & Carrasco, C. (2017). From urban climate to energy consumption. Enhancing building performance simulation by including the urban heat island effect. *Energy and Buildings*, 145, 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.069>
- Palme, M., Villacreses, G., Lobato, A., Cordovez, M., Macias, J., & Soriano, G. (2016). Estimating the Urban Heat Island Effect in the City of Guayaquil. En B. Beckers, T. Pico & S. Jimenez (Eds.), *An International Conference on Urban Physics*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/308255787_Estimating_the_Urban_Heat_Island_Effect_in_the_City_of_Guayaquil
- Priyadarsini, R., Hien, W. N., & Wai David, C. K. (2008). Microclimatic modeling of the urban thermal environment of Singapore to mitigate urban heat island. *Solar Energy*, 82(8), 727–745. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.02.008>
- Romero, H., & Opazo, D. (2017). Ondas e islas de calor en los barrios de Santiago: Un fenómeno no registrado por los termómetros oficiales. En *Os Desafios da Geografia Fisica na fronteira do conhecimento* (pp. 2652–2659). <https://doi.org/10.20396/sbfga.v1i2017.2454>
- Rosas-Lusset, A., & García, V. M. (2013). La influencia de la configuración de los cañones urbanos en el confort del peatón. *Revista Electrónica Nova scientia*, 6(1), 228–253. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.21640/ns.v6i1.81>
- Sarricolea, P. (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología*, 8, 71–84. Recuperado de <http://www.climatol.eu/reclim/reclim08f.pdf>
- Sarricolea, P., & Martín-Vide, J. (2014). El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de Componentes Principales. *Revista de Geografía Norte Grande*, 57(Mayo), 123–141. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000100009>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES]. (2017). Sistema Nacional de Información. *Proyecciones y Estudios Demográficos*. Recuperado de <http://sni.gob.ec/proyecciones-y-estudios-demograficos>
- Souris, M. (2016). *savgis*. Recuperado de <http://www.savgis.org/ecuador.htm#DEM>
- Steenveld, G. J., Koopmans, S., Heusinkveld, B. G., Van Hove, L. W. A., & Holtslag, A. A. M. (2011). Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116(20), 1–14. <https://doi.org/10.1029/2011JD015988>

- Universidad Politécnica Salesiana. (2017). Información metereológica del cantón Cuenca. Recuperado de <http://redenti.ups.edu.ec:8086/iner/>
- Urrutia, R., & Vuille, M. (2009). Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 114(2), 1–15. <https://doi.org/10.1029/2008JD011021>
- Vuille, M., Bradley, R. S., & Keimig, F. (2000). Climate Variability in the Andes of Ecuador and Its Relation to Tropical Pacific and Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies. *Journal of Climate*, 13(14), 2520–2535. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2)
- Vuille, M., Bradley, R., Werner, M., & Keimig, F. (2003). 20th Century climate change in the tropical Andes: Observations and model results. *Climatic Change*, 59, 75–99. https://doi.org/10.1007/978-94-015-1252-7_5