



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
MAESTRÍA EN ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA, PRIMERA COHORTE

CARACTERIZACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA POR EFECTOS DE LA MORFOLOGÍA EN LA  
CIUDAD ANDINA DE CUENCA, ECUADOR.

ARTÍCULO CIENTÍFICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE  
“MAGISTER EN ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA”

AUTOR: ARQ. ANDRÉS SANTIAGO BUSTAMANTE CAMPOVERDE

C.I.: 0105103345

DIRECTORA: ARQ. DIANA ALEJANDRA ORELLANA VALDEZ, MSC

C.I.: 0105266373

CUENCA-ECUADOR

2017



Andrés Santiago Bustamante Campoverde, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del artículo científico "Caracterización de la isla de calor urbana por efectos de la morfología en la ciudad andina de Cuenca, Ecuador", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este artículo científico en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 31 de julio de 2017

A handwritten signature in blue ink, reading "A. S. Bustamante Campoverde", written over a horizontal line.

Andrés Santiago Bustamante Campoverde

C.I: 0105103345



Universidad de Cuenca  
Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Andrés Santiago Bustamante Campoverde, autor del artículo científico "Caracterización de la isla de calor urbana por efectos de la morfología en la ciudad andina de Cuenca, Ecuador", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 31 de julio de 2017

A handwritten signature in blue ink, reading "Andrés Santiago Bustamante Campoverde", written over a horizontal line.

Andrés Santiago Bustamante Campoverde

C.I: 0105103345

# Caracterización de la isla de calor urbana por efectos de la morfología en la ciudad andina de Cuenca, Ecuador.

Andrés Bustamante Campoverde (*Autor*).

*Afiliación:* Maestría en Arquitectura Bioclimática. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. andres.bustamantec@ucuenca.ec

Diana Orellana Valdez (*Co-Autor*).

*Afiliación:* Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Tecnológica Indoamérica. Ambato, Ecuador.  
dianaorellana@uti.edu.ec

---

## Resumen

El presente trabajo es de tipo experimental y realiza una comparación de 6 cañones urbanos en el centro histórico de Cuenca para evaluar la incidencia de la morfología urbana en la isla de calor urbano (ICU). En los cañones del estudio se realizan mediciones insitu para explorar datos de temperatura ambiente y velocidad del viento en diferentes días de una semana tipo de alta temperatura y radiación. Estas mediciones se comparan con datos de la estación rural de Llacao para verificar la existencia de la ICU y su comportamiento de día y de noche. Después se evalúan aspectos morfológicos de los cañones urbanos como la relación alto/ancho (H/W), sky view factor (SVF), factor de altura relativa (FHR) y radiación en las superficies horizontales y verticales. Adicionalmente se realiza un análisis de componentes principales entre los aspectos morfológicos, el índice normalizado diferencial de vegetación (NDVI) y el flujo vehicular en el periodo de estudio de 6 h a 18 h para la ICU de día. El estudio identifica que el cañón de Huayna Cápac con un ratio de 0.28, un SVF de 0.66 y orientación norte-sur obtiene una diferencia térmica máxima de 2 °C respecto al cañón de la calle Presidente Córdova de ratio de 1.47, un SVF de 0.34 y orientación este-oeste.

## Palabras claves

Cañón urbano; factor de vista de cielo; factor de altura relativa; isla de calor urbana.

## Abstract

This investigation is experimental and compares 6 urban canyons of the historic center of Cuenca to evaluate the incidence of urban morphology in the urban heat island (UHI). In the inner of canyons are made insitu measurements to explore data of ambient temperature and wind speed in different days of a type week with high temperature and radiation. These measurements are compared with data from the Llacao rural station to verify the existence of ICU in day and night. Then, morphological aspects of urban canyons such as the ratio (H/W), sky view factor SVF, relative height factor (FHR) and the radiation of horizontal and vertical surfaces are evaluated. In addition, a principal components analysis was performed between the morphology parameters, the normalized differential vegetation index (NDVI) and the vehicular flow in the ICU day period. The study identifies that the urban canyon of Huayna Cápac with a ratio of 0.28, a SVF of 0.66 and north-south orientation obtains a thermal difference of 2 °C with regard to the urban canyon of Presidente Córdoba with ratio of 1.47 a SVF of 0.34 and east-west orientation.

## Keywords

Sky view factor; urban canyon; factor height relative; urban heat island

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las grandes problemáticas urbanas del siglo XXI es la generación de la isla de calor urbana (ICU). Este fenómeno se define como el incremento térmico del centro urbano respecto a la zona periférica o rural en una misma ciudad. La ICU está identificada en ciudades altamente urbanizadas, en las que factores como la escasa vegetación, fuentes de calor antropogénico y materiales empleados en construcción son relacionados al incremento térmico de la urbe (Oke, 1981; Perico-Agudelo, 2009). No obstante, el estudio de este incremento térmico se lo aborda desde dos variables. Primero, se estudian los factores meteorológicos; y segundo a través de factores de diseño de la ciudad, como parámetros relacionados a la geometría y materiales de construcción (Rajagopalan, Lim, & Jamei, 2014).

El diseño de las ciudades se identifica en la trama o morfología urbana y esta puede variar. Es decir algunas ciudades son más compactas o más dispersas, otras tienen alta o baja altura edificatoria y además otras presentan mayor o menor vegetación, etc. Además la ICU a nivel urbano se estudia desde dos escalas: a meso escala y micro escala (Oke, 1976). La meso escala supone el rango desde el límite superior de las edificaciones hacia el exterior. Por otro lado, la micro escala se estudia desde el límite superior de los edificios hacia su interior. Para el estudio de esta segunda escala interior se plantea el modelo ideal conocido como cañón urbano (Oke, 1981, 1988, Priyadarsini, Hien, & Wai David, 2008). Este cañón urbano se define como la unidad básica de análisis configurado entre las fachadas y vía.

Este modelo además de considerar elementos estáticos de superficies y vegetación, también puede incorporar cargas antropogénicas, además de la incidencia de radiación, vientos, etc., para un análisis más completo pero más complejo. No obstante, en el cañón podemos identificar otros parámetros asociados a la relación de su morfología que son útiles para evaluarlos frente al clima: la relación ancho-alto ( $H/W$ ), el Sky View Factor (SVF), el Factor de Altura Relativa (FHR) y las propiedades físicas de las superficies del cañón.

El  $H/W$ , es la relación entre la altura (de fachada) y anchos de vía. Esta relación es importante ya que define la incidencia solar. Por lo general la mayoría de estudios establecen la relación de que a un mayor  $H/W$  se tiene mayores temperaturas (Theeuwes et al., 2014). Por otro lado, el SVF determina la porción de cielo visible desde un punto del cañón, y sirve para determinar la facilidad con la que se pierde temperatura. Por lo general se asocia que a mayor SVF, se pierde más fácil calor (Carrasco, Palme, & Gálvez, 2016). Mientras el SVF cambia, también cambia el flujo de radiación desde el punto de observación en cuestión y así la cantidad de radiación recibida. En consecuencia, debido a la relación entre el SVF y el balance de energía, se ha usado este factor en estudios de clima urbano, biometeorología, clima forestal, arqueología, recursos en energías renovables y otras aplicaciones citadas en Hämmerle,

Gál, Unger, & Matzarakis (2014). Por su parte, el FHR se utiliza como un indicador de obstrucción o incidencia del entorno desde un punto de evaluación. Este último puede estar al interior o al exterior del cañón y es útil para definir la incidencia de radiación. Tanto el SVF y el FHR están relacionados directamente a la geometría del cañón.

Adicionalmente, se consideran las propiedades físicas de los materiales. De estas propiedades el albedo es la más importante ya que define la capacidad de reflejar radiación por los materiales (United States Environmental Protection Agency, 2012). Finalmente, a todos los factores mencionados se le debe sumar la orientación de los cañones ya que esto determina la incidencia solar. Hasta el momento estos parámetros morfológicos siguen siendo usados y han sido la forma más certera de resumir la relación del clima con las características morfológicas implícitas en el cañón urbano.

La creciente urbanización refuerza el rol de la morfología urbana que no solo se estudia como una simple aproximación por interpretar la modificación del balance de energía, sino se vuelve un factor especial para mitigar el incremento térmico (Rosas-Lusset & García, 2013) que en la mayoría de casos resulta perjudicial y se asocia al alto consumo energético, concentración de polución en el ambiente y estrés térmico (Konopacki & Akbari, 2002; Rizwan, Dennis, & Liu, 2008). Es así que en el contexto global la morfología supone una vía fundamental hacia posibles soluciones desde el diseño urbano y entendimiento propio de cada contexto.

La morfología urbana tiene un papel indispensable en ciudades cálidas relacionado a un alto consumo de energía por climatización (Nakata-osaki et al., 2015). Este último aspecto de incremento de consumo energético se evidencia en ciudades de la costa del pacífico -tropicales y subtropicales- entre estas Guayaquil, Lima, Antofagasta y Valparaíso, en donde la ICU es identificada en morfologías típicas que van de una baja hasta una alta densificación en altura (M. Palme, Inostroza, Villacreses, Lobato-Cordero, & Carrasco, 2017).

Sin embargo, el tema de la morfología urbana ha sido relegado en ciudades de climas no cálidos y densificaciones bajas y medias en alturas edificatorias. A este respecto se debe tener presente que de forma general los estudios sobre clima en ciudades tropicales o de latitudes bajas es muy reducido (Roth, 2007). Por su parte, la región tropical es una inconfortable zona climática que recibe gran cantidad de radiación solar, altas temperaturas y alto nivel de humedad relativa, y tiene largos periodos de días soleados a lo largo del año (Al-obaidi, Ismail, Malek, & Rahman, 2014).

Este último contexto, puede verse condicionado aún más si consideramos ciudades de la zona andina, en donde existe uno de los gradientes climáticos en dirección este-oeste más marcados del mundo (Garreaud, Vuille, Compagnucci, & Marengo, 2009). Esta modificación climática tiene un condicionamiento por la topografía andina (Urrutia & Vuille,

2009), caracterizada por su variación de altitud y pendiente (Vuille, Bradley, & Keimig, 2000; Vuille, Bradley, Werner, & Keimig, 2003). De las situaciones sin isla de calor en ciudades de los Andes, se ha sugerido la hipótesis de “efecto sumidero de calor” asociado a fuerte brisa de la cordillera de los Andes, que barre la ICU y la desplaza al poniente de la ciudad (Sarricolea Espinoza, 2014).

Ya centrándonos en la ciudad andina de Cuenca se ha identificado la isla de calor con una variación térmica de 2 °C (Guillén-Mena & Orellana, 2016b) y se ha evaluado el espacio público destacando la importancia de la vegetación (Guillén-Mena & Orellana, 2016a) que de hecho es la estrategia más sugerida para mitigar el impacto de la ICU (Rizwan et al., 2008), pero hasta el momento no se tiene un amplio conocimiento del rol de los cañones urbanos.

En este sentido, considerando el limitado conocimiento de la ICU desde efectos de la morfología en Cuenca, resulta necesaria una caracterización de la misma como un aspecto básico que permitirá la generación de propuestas y estudios desde el diseño urbano.

Así, el objetivo del presente estudio es evaluar el aspecto morfológico a través del análisis y comparación de cañones urbanos en un periodo cálido con el fin de determinar las confluencias y divergencias entre ellos, que sirvan como base para la caracterización de la ICU en Cuenca.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en la ciudad de Cuenca que se encuentra al sur de la República del Ecuador atravesada por la cordillera de los Andes, en las coordenadas 2°54'08"S y 79°00'19"O, a una altura de 2 550 msnm, su población es de aproximadamente 400 000 habitantes, y su área urbana corresponde a 84.6 km<sup>2</sup> (Jerves & Armijos, 2016). La ciudad está en la zona climática continental lluviosa (Massimo Palme, Lobato, Castillo, Villacreses, & Almaguer, 2016).

### Delimitación del área de estudio

Se estudió el área urbana central de Cuenca, en la zona específica de la unidad funcional del Centro Histórico (zona azul en la fig. 1) establecida en el Plan de Movilidad y Espacios Públicos (I.Municipio de Cuenca, 2015). Esta unidad funcional supone un punto de partida para incorporar información de ICU que podrían relacionarse a otras temáticas y zonas de la ciudad. Según la base de datos predial de la municipalidad de Cuenca, esta área está conformada aproximadamente de 5000 predios.

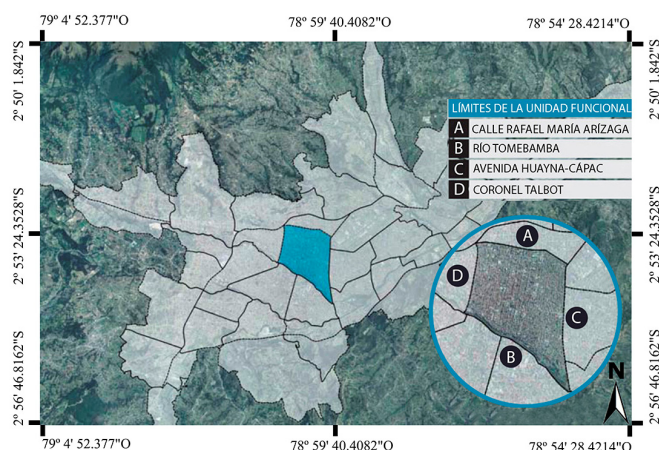


Figura 1: Unidad Funcional del Centro Histórico de Cuenca.  
Fuente: I.Municipio de Cuenca, 2015

Elaboración: propia

### Mapeo de Morfologías del área de estudio.

Luego de determinar la zona de estudio se realiza el mapeo general de morfologías. Se identificaron las alturas de las edificaciones y en base a la cartografía predial proporcionada por la municipalidad de Cuenca se determinan los anchos de vías del área de estudio (ver apéndice A). Identificadas estas dos variables de alto y ancho se pudo definir los valores de ratio H/W, que fueron útiles para seleccionar casos de estudio.

### Mediciones in situ

En la ciudad de Cuenca se observa una diferencia mínima de temperatura de mes a mes con un valor de 1°C. En todo caso la mayor diferencia térmica se da a lo largo del día. Así, resulta difícil predecir la selección de un mes específico por su comportamiento similar a lo largo del año, además de los pronósticos inciertos. No obstante, se justificó un periodo para realizar el experimento.

Para ello se revisan los datos más altos de temperatura y radiación global los años 2014, 2015 y 2016 de la estación urbana del barrio El Vecino de la red de la Universidad Politécnica Salesiana, (2016) y en base de estos registros se propone noviembre de 2016 como el mes más conveniente para el estudio. Finalmente, las mediciones se realizan la penúltima semana de noviembre de 2016, coincidiendo en la semana de la más alta radiación de todo el año según datos de la misma estación.

En este caso definir una norma rigurosa para la toma de datos es limitada debido a las condiciones propias de los cañones urbanos y el período de evaluación. Aunque, las recomendaciones planteadas por (Oke, 2004) son las más utilizadas para la toma de datos en contextos urbanos y donde la consideración más importante es la altura de ubicación del equipo de medición respecto al nivel de calle. Esta metodología para medidas realizadas dentro de áreas urbanas considera que a cada metro que el instrumento este alejado de la calle, su radio de alcance aumenta en cien metros, con esto quiere decir que a mayor altura tendrá mejor lectura de datos. Estudios

contemporáneos que siguen esta guía ubican los instrumentos de medición al interior del cañón urbano ya sea en la mitad si es calle peatonal o en los costados en caso de presentar tránsito vehicular y consideran una altura superior a 1m desde la calle (Cabras, 2014; Luz et al., 2015; Nascimento, Júnior, & Barbosa, 2015)(en nuestro caso se ubicaron a 3m en los segundos pisos, para evitar obstrucción de tránsito y peatonal). Las mediciones se realizan entre semana debido a que estos días presentan más actividad y se relaciona con la ICU (Kim & Baik, 2005). Además, una muestra de días despejados es suficiente para caracterizar la ICU (Sarricolea Espinoza, 2014).

No obstante, la realidad para la toma de mediciones puede cambiar en el sitio de estudio, para ello se deben considerar dos aspectos claves según Nakata & de Souza (2013): Los criterios para la instalación de equipos (tienen que priorizar las condiciones adecuadas para el estudio) y la autorización del residente para la instalación del equipo. De esta forma, se realizan las mediciones en los casos de estudio.

Para evaluar el mayor número de cañones se consideraron datos exploratorios en la semana de estudio que registró el comportamiento de un día completo de cada cañón urbano. Las mediciones coincidieron en días de cielo despejado la mayor parte del día y sin lluvia. Para esto, en los puntos de medición se usaron anemómetros de similares características con sensores de temperatura (rango de -29°C a 70°C y resolución de 0.1°C), velocidad de vientos (rango de 0.6 a 40 m/s y resolución de 0.1 m/s) y humedad relativa (rango de 10-90% y resolución de 0.1%), se estima un margen de error del 1%. Además, se generaron registros cada 10 minutos.

**Intensidad y periodos de evaluación de la ICU**

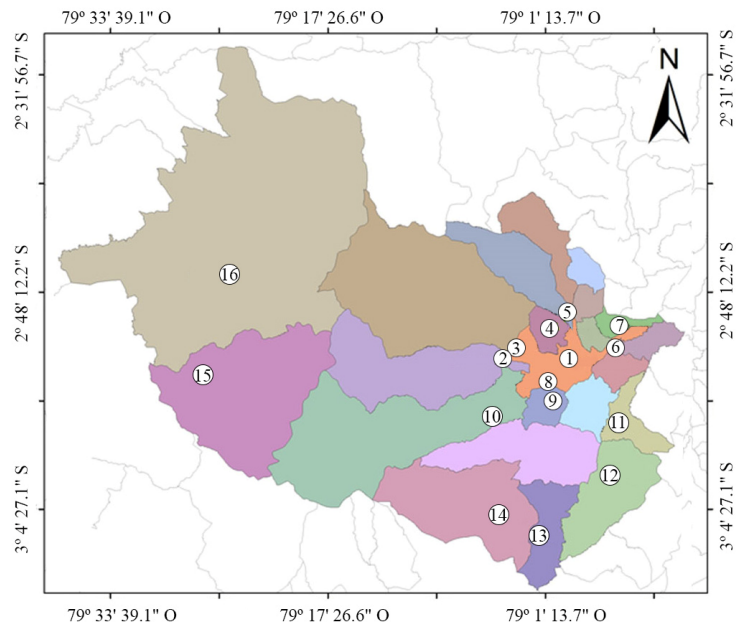
Para evaluar la intensidad del fenómeno de la ICU se utilizó la expresión 1, empleada en varias investigaciones (Chow & Roth, 2006; Oke, 1981, 1988; Steeneveld, Koopmans, Heusinkveld, Van Hove, & Holtslag, 2011):

$$UHI_{máx} = máx. (Turban - Trural) \quad (1)$$

Donde:

- UHI<sub>max</sub> = Intensidad máxima de Isla de Calor
- Turban = Temperatura en la zona urbana
- Trural = Temperatura en la zona rural

En base a la expresión 1, se encontrarán diferencias por cada hora de estudio entre los datos tomadas in situ (urbe) y la estación meteorológica (rural). Se selecciona una estación ubicada en la periferia o en zona rural a una altitud similar a la del área estudiada, debido a que la expresión 1 debe asumirse en un mismo nivel (evitar diferencias térmicas por altitud). Para ello se muestra en la fig. 2, la ubicación de la estaciones con sus rangos de altitud. En este caso se observó que la estación de Llacao es la más próxima en altitud y es rural. Además, en la misma figura se puede observar que a pesar de la cercanía entre los distintos puntos, la variación de altitud es fuerte en la ciudad ya que va desde 1900 msnm hasta los 3500 msnm.



Nº	Estación	Altitud (msnm)
1	El Vecino UPS (U)	2556
2	San Joaquín (R)	2764
3	Sayausí (R)	2727
4	Sinincay (R)	2696
5	Tixán (R)	2725
6	Nulti (R)	2623
7	Llacao (R)	2542
8	Yanuncay CTS (U)	2561
9	Turi (R)	2768
10	Baños (R)	3062
11	Santa Ana (R)	2651
12	Quingeo (R)	2895
13	Cumbe (R)	3179
14	Irquis (R)	2665
15	Chaucha (R)	1929
16	Molleturo (R)	3524

\*Urbana= U, Rural=R

Figura 2: Estaciones Meteorológicas del cantón Cuenca  
Fuente: Universidad Politécnica Salesiana, 2016.

Por otro lado, los periodos de evaluación de la ICU se diferencian de día y noche que coinciden con la actividad humana (Massimo Palme, Lobato, & Carrasco, 2016). Así se estudia de 18 h a 6 h para el periodo nocturno (Nakata & de Souza, 2013). Además, este periodo de 18 h y 6 h coincide con la puesta y salida del sol.

Adicionalmente, para evaluar el confort exterior nos basamos en los límites definidos en el climograma de Guillén-Mena (2014) en base al “índice global de isotermas” adaptado para el nivel térmico 1, en donde se ubica Cuenca que es útil para el estudio.

**Modelos de estudio y evaluación de morfologías**

Después de la selección de los casos de estudio se elaboran los modelos tridimensionales de cada cañón urbano que maneja

el siguiente orden (ver fig. 3). Se hace un levantamiento fotográfico de cada fachada. Estas fachadas son rectificadas con medidas reales a través del software OnSite-photo 2007. La determinación de estas medidas nos permite modelar los tramos en el software Revit 2016. En una última etapa estos modelos son exportados al software Ecotect Analysis 2011.

### Sky View Factor (SVF)

EL SVF es determinante en la entrada y salida de radiación, así como en la ventilación. En un estudio de microescala, este parámetro define la percepción visual externa y se define desde un punto desde la calle, que corresponde a la zona visible de cielo de donde proviene la luz celeste y radiación solar (Carrasco, 2008). El valor del SVF va de 0 con un cielo totalmente cerrado, a 1 con un cielo totalmente abierto.

Para la determinación del SVF, se utilizó el software Ecotect (ver apéndice B) que mediante un procedimiento de cálculo bidimensional el porcentaje de cielo visible se genera a partir de un modelo tridimensional de los cañones estudiados (Tumini & Higuera Garcia, 2016).

### Factor de Altura Relativa (FHR)

Este factor define la influencia del entorno en el acontecer climático. Para esto nos basamos en que un lugar puede estar más bajo o más alto en relación a los demás puntos del entorno, que en este caso serían las demás edificaciones (Carrasco, 2008).

El procedimiento de cálculo considera la relación de ángulo entre la diferencia de altura entre el punto a evaluar y cada punto del entorno circundante y el trayecto horizontal al que esta cada punto del entorno. Si el punto está más bajo se considera negativo y si está más alto es positivo. Para su cálculo se utilizó el procedimiento realizado por Carrasco (2008), que se basa en el modelo del Eixample de Barcelona (Isalgué, Roset, & Coch, 1998) (ver apéndice C).

### Radiación en superficies

La relación entre variables de morfología se complementa con el cálculo de radiación. La radiación que absorben algunas superficies es en base a sus propiedades físicas y por la liberación de su energía que son determinantes en el incremento de la ICU (ver Apéndice D).

Finalmente, esta investigación analizó específicamente la morfología implícita en el cañón urbano, en relación con la temperatura a través de descriptores morfológicos (Carrasco, 2008) como el H/W, FHR, y las relación de radiación y superficies. Sin embargo, se revisa de forma general otros aspectos fuertemente asociados a la ICU.

### Otras variables de ICU en Cuenca

El área de estudio considero la baja vegetación dentro del área de estudio, como factor asociado a la ICU. Para precisar aquello se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

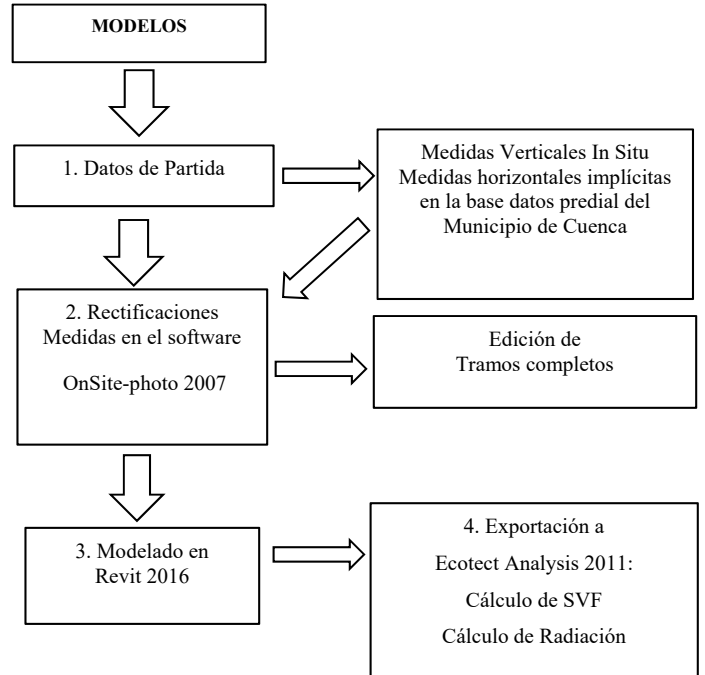


Figura 3: Metodología propuesta para la generación de modelos tridimensionales.

Elaboración: propia

El NDVI se determinó mediante la aplicación del software QGIS 2.4 y el uso de imágenes satelitales Landsat 8, sensor OLI/TIRS de resolución 30 m, con fecha 20 de noviembre de 2016 (U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey, 2016). Para el cálculo del NDVI se empleó la expresión 2 citada en López-Pérez, Martínez-Menes & Fernández-Reynoso (2015) y Merg et al., (2011).

$$NDVI = (IRC - R) / (IRC + R) \quad (2)$$

Donde:

IRC= reflectividad en el infrarrojo cercano (Banda 5 NIR), y  
R= reflectividad en el rojo (Banda 4 Red)

El rango de valores de las reflexiones espectrales se encuentra entre el 0 y el 1, debido a que el IRC y el R, son cocientes de la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral. En consecuencia el NDVI varía sus valores entre -1 y 1 (Merg et al., 2011).

Por otro lado, en la zona de estudio se registran niveles altos de contaminación. En la misma área se encuentra la red de monitoreo de la ciudad conformada por la estación automática del Municipio y otras estaciones pasivas. Esta red cubre un área de muestreo de 4 Km<sup>2</sup> con una precisión del 99,8 % que muestra el Índice de Calidad Ambiental (ICA) en tiempo real. De lo anterior se considera a nuestra zona de estudio en un nivel homogéneo de contaminación por estar dentro del rango de muestreo.



En este estudio se considera un ICA general para los tramos de estudio (EMOV EP & Universidad del Azuay, 2017). Sin embargo, el flujo vehicular se precisa en horas del periodo de estudio para cada tramo obtenido de la base de datos de la central semafórica (Dirección de Tránsito, 2017). Así, identificamos una relación entre el flujo vehicular e ICU, ya que el flujo vehicular se considera en estudios de ICU (Massimo Palme, Lobato, & Carrasco, 2016), y su correlación se estudia en (Kammuang-Lue, Sakulchangsattajai, & Terdtoon, 2015)

### Matriz de componentes principales

En el estudio se evaluó todas las variables consideradas en el comportamiento de la ICU. Se realizó un análisis de componentes principales para encontrar variables representativas y sus correlaciones.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Morfologías del estudio

Luego de registrar los anchos de vías y altos de fachada, se elabora el siguiente mapa (ver fig. 4). Los resultados muestran que el 62 % de edificaciones mapeadas son menores a 3 pisos y el 58% de ancho de vías está en el rango de 10 m a 15 m. Se observa que los valores de H/W se encuentran alrededor de 0.28 cuando presentan vías superiores a 15 m y menores a 3 pisos, y se alcanzan valores de H/W de 1.5 en casos de edificaciones mayores a 6 pisos y vías menores a 10 m.

Se estudiaron cañones urbanos con valores opuestos entre ratios altos y bajos y un valor medio entre estos. Entonces, se eligieron tres casos de morfologías por cada orientación norte-sur y este-oeste (ver fig. 5).

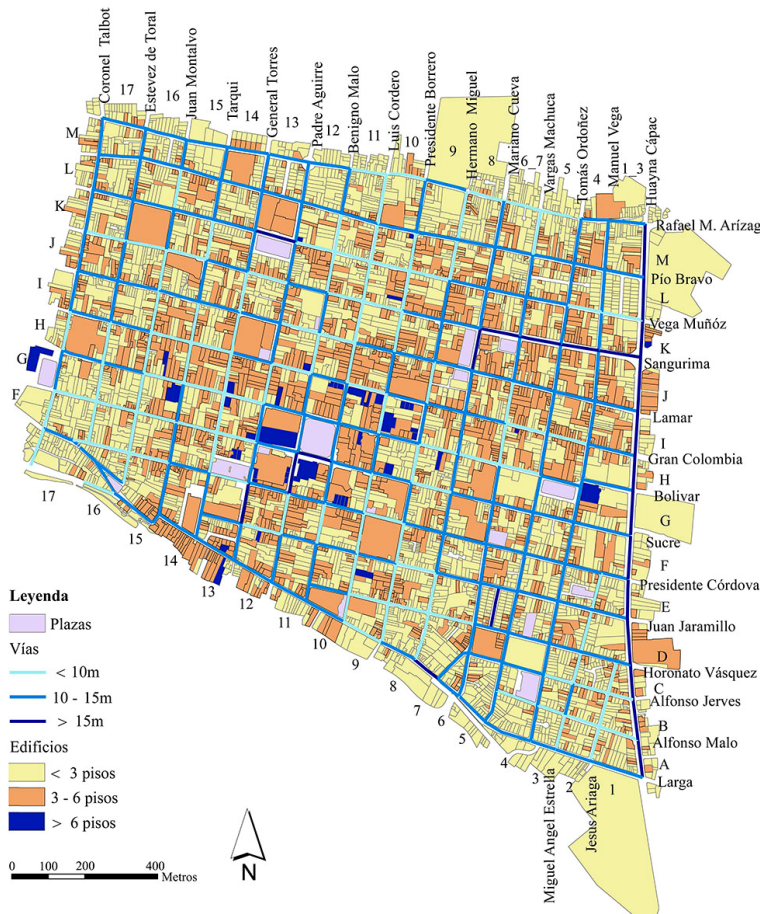


Figura 4: Mapeo de morfologías  
Elaboración: propia

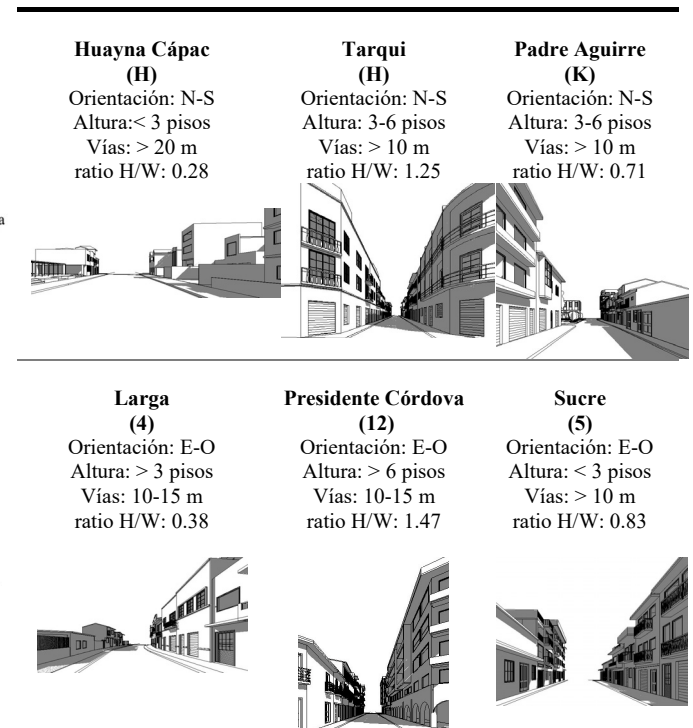


Figura 5: Cañones urbanos del estudio  
Elaboración: propia

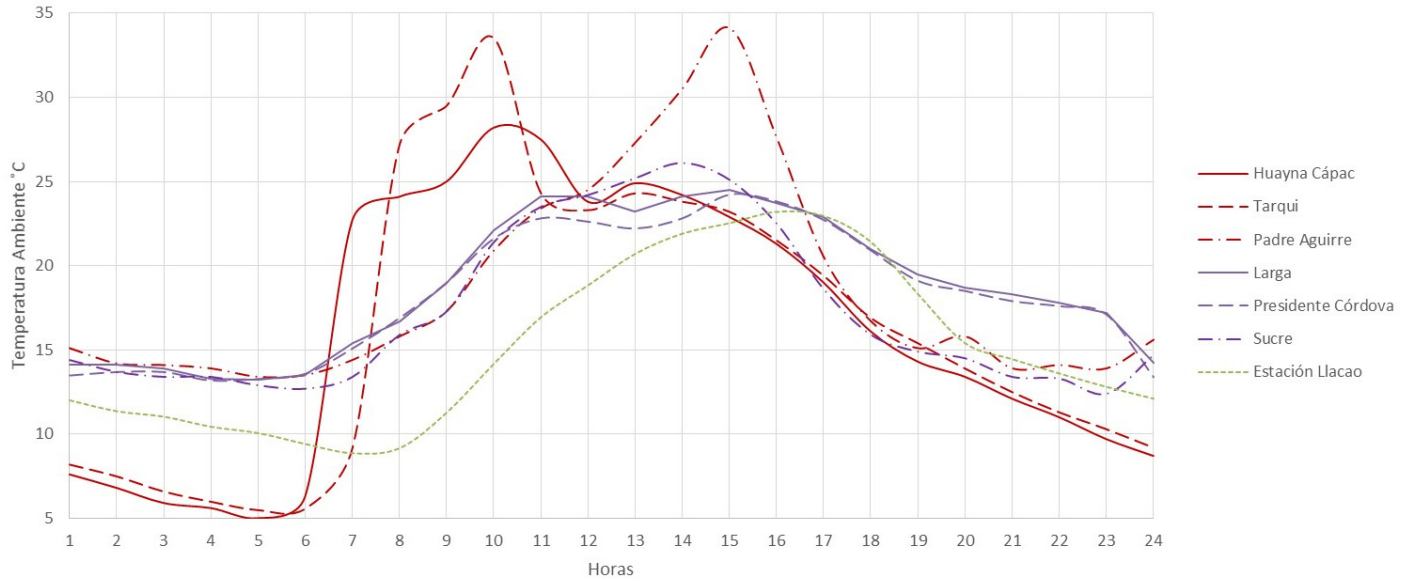


Figura 6: Registro de Temperatura Ambiente en los cañones de estudio.

Elaboración: propia

### Registros de temperatura

Los registros de la temperatura de los cañones urbanos entre rangos de 2500 a 2550 msnm se compararon con la temperatura ambiente de la estación de Llacao (2542 msnm) ubicada en la periferia de la ciudad y de similar altitud con respecto a los casos de estudio.

De forma general se diferencia los tramos norte-sur de los tramos este-oeste con mayores oscilaciones térmicas, además la temperatura de los cañones es siempre mayor a Llacao en periodo de 6 h a 16 h (Ver figura 6). No obstante, los tramos con mayor incremento térmico son los norte-sur en horas del mediodía, que a la vez se enfrían antes del amanecer.

En el caso de Tarqui y Padre Aguirre que son tramos orientados al norte-sur, alcanzan temperaturas máximas a las 10 h y 15h, respectivamente. Además, el tramo de Huayna Cápac es el que se mantiene más caliente desde las 6 h hasta las 12 h. Si bien es cierto, que los tramos norte sur como Huayna Cápac y Tarqui ganan temperatura desde las 6 h hasta las 10 h se debe a que su punto de medición no presentan aberturas como en el caso de Padre Aguirre que en la misma orientación tiene una gran abertura hacia el parque María Auxiliadora desde el oeste, y por tal razón gana más temperatura pasado el mediodía, evidenciando el rol de la morfología. Finalmente los tramos en dirección este-oeste de la calle Larga, Presidente Córdova y Sucre tienen un comportamiento más estable y con menos oscilación que se asemeja al registrado por la estación de Llacao.

La máxima diferencia térmica por hora se da a las 10 h con un valor de 10 °C entre los tramos de Tarqui y Padre Aguirre y una diferencia similar se da a las 15 h entre Padre Aguirre y Huayna Cápac, sin embargo estos son valores puntuales.

### Periodos de evaluación e intensidad de ICU

En la fig. 7 se observa la dispersión de puntos de todos los cañones evaluados durante un período de 24 h con los límites de confort exterior para Cuenca (Guillén-Mena, 2014). Se puede apreciar una correlación compleja entre la temperatura según horas en donde los cañones ganan temperatura desde la 6 h o 7h, luego llegan a máximos de temperatura entre las 10 h y 15 h y finalmente pierden calor entre las 17 h y 18 h.

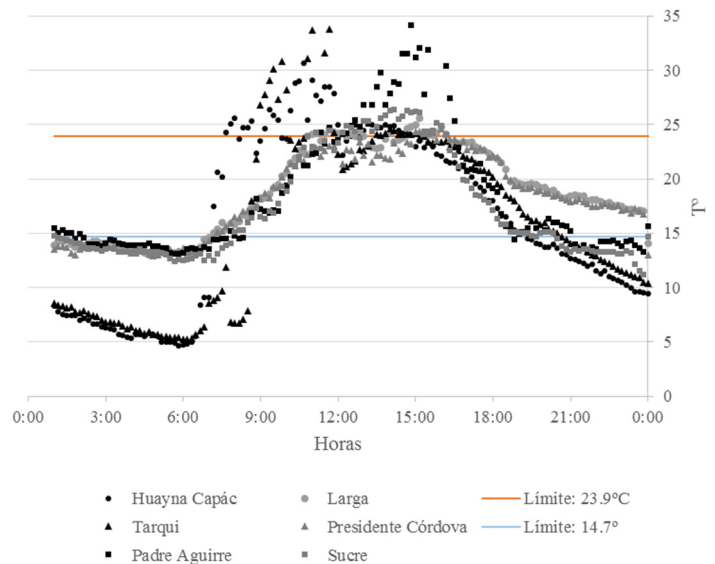


Figura 7: Dispersión de puntos de Temperatura y rangos de confort exterior.

Elaboración: propia

En la tabla 1 se muestra la intensidad de ICU de día y noche de los tramos de estudio en relación a la estación de Llaqueo. En el periodo de día la menor diferencia térmica es de 3.8 °C entre área urbana de la Calle Sucre respecto al área periférica, mientras la mayor diferenciación térmica se registra en Huayna Cápac y Padre Aguirre en diferencia de la parte rural hasta 5.8 °C. Además, se identifica un máximo de variación entre los tramos urbanos de 2 °C.

En el periodo nocturno se aprecian dos comportamientos. Por un lado los tramos norte-sur alcanzan la temperatura más baja con diferencias hasta por debajo de 3.8 °C en comparación de la estación rural de Llaqueo. En el caso de Padre Aguirre las condiciones específicas del cañón como la gran abertura hacia el parque de María Auxiliadora en sentido este-oeste podría indicar el porqué de no perder temperatura y mantener por encima del promedio de Llaqueo. Por otro lado, los casos este-oeste en el periodo nocturno todos se mantienen por encima del promedio de Sayausi desde 0.5 °C hasta 2.8 °C.

De las ideas anteriores, más allá de encontrar diferencias térmicas, queda bien identificado el aspecto de orientación. Así, la acumulación de calor prioriza la orientación este-oeste ya que independiente de la morfología siempre tendrá acceso de la radiación solar y esto hace posible que los tramos este-oeste sean más calientes que los nortes sur en la noche.

Finalmente, en base a los límites de temperatura para confort en Cuenca propuestos por Guillén-Mena (2014), se pudo evaluar el comportamiento térmico de los cañones. En base a estos límites se identifica que en los casos de estudio la temperatura de los tramos en el día está dentro de este rango de confort. No obstante, los casos norte-sur tienen una mayor oscilación térmica que superan estos límites tanto en el día como en la noche.

El resultado de ICU por orientaciones se evidencia en la investigación de Palme et al., (2017) que evalúa casos en ciudades de costa del pacífico de sur América, entre estas Guayaquil en donde los tramos estudiados en sentido este-oeste también son más calientes en la noche. No obstante, en el caso de ciudades costeras el efecto de calor no sería útil para ellos. Por otra parte en nuestro caso de estudio convendrían los cañones más calientes en la noche ya que estarían próximos al rango de confort.

Hasta aquí y en base a los resultados encontrados podemos decir que la ICU en la ciudad de Cuenca cubre en buena parte los rangos de confort, y así es un efecto positivo desde el punto de vista térmico.

Tabla 1: Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación de Llaqueo  
Elaboración: propia

Cañones del estudio	T° Período de 6 a 18h			T° Período de 18h a 6 h		
	Cañón	Llaqueo	ICU día	Cañón	Llaqueo	ICU noche
Huayna Cápac	24	16.6	5.8	9.4	13.6	-3.8
Tarqui	23.6	16.6	4.8	9.9	13.6	-3.3
Padre Aguirre	23.3	16.6	5.8	14.56	13.6	1.3
Larga	21.8	16.6	4.4	15.7	13.6	2.8
Presidente Córdova	21.3	16.6	3.9	15.4	13.6	2.55
Sucre	21.2	16.6	3.8	13.81	13.6	0.5

### Registro de vientos

En la fig. 8 se muestra el comportamiento de vientos. Los tramos que registran mayor incidencia de vientos fueron Huayna Cápac en sentido norte-sur y Presidente Córdova en sentido este-oeste. Por otro lado, el tramo de Larga en sentido este-oeste no registra vientos. Además, una observación importante es que las mayores intensidades de vientos se registran en horas cercanas al medio día, que además coinciden con los mayores registros de temperatura. De esta observación, resulta más complicada la interpretación de los vientos, no solo asociado a la morfología, también debido a la temperatura y orientación.

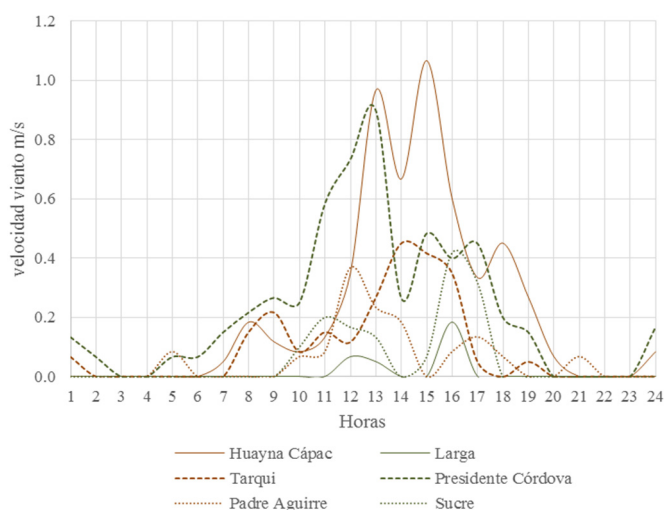


Figura 8: Registro de velocidad de viento en los cañones de estudio.

Elaboración: propia

En el estudio de (Rajagopalan et al., 2014), se muestra que la intensidad del viento depende de la altura a la que se tome las mediciones, así muestra rangos de 1.5 m, 5 m y 10 m. No obstante se muestra que las velocidades de vientos en el interior de las calles son más débiles que en la parte superior y se observan intensidades de 0.01 m/s hasta 1.10 m/s, estos últimos valores son similares a los encontrados en el presente estudio de Cuenca.

Por otro lado, la dirección de viento predominante en el área urbana es hacia el sur (UPS, 2016), no obstante, este comportamiento puede modificarse a nivel del cañón como lo menciona Carrasco (2008) debido a que la orientación del cañón direcciona el viento, de manera que el viento sigue la dirección sur en los cañones norte-sur, y sigue la dirección oeste en el caso de cañones este-oeste.

**Ratio H/W**

La fig. 9 describe una tendencia de todos los casos evaluados en la ICU de día, muestra que a menor ratio mayor temperatura. Sin embargo, en el periodo nocturno sucede lo contrario. Este último resultado coincide con la mayoría de resultados de otros estudios de ICU que muestran que mayor incremento de ICU es directamente proporcional a la relación H/W (Carrasco, 2008). Sin embargo, la mayoría de estos estudios son realizados en latitudes norte.

Adicionalmente, un estudio contemporáneo (Theeuwes et al., 2014) realizado en Rotterdam en una latitud 50°N muestra en su estudio que a mayor ratio hay mayor temperatura, tanto el período de día como de noche. Esta observación es interesante, ya que en el caso de día no coincide ese resultado con el nuestro, pero en el caso de noche se puede observar la misma relación que en estudios el fenómeno de la ICU citado anteriormente.

En el estudio de (Nakata & de Souza, 2013) en la ciudad de São José do Rio Preto para el periodo nocturno se muestra que a mayor H/W mayor temperatura, y en concordancia con el modelo de Oke (1981), aquí se evalúan H/W de 2.5 a 4.5, que a pesar de evaluar 5 puntos (calles) ya obtiene una fuerte correlación. Esta última observación, muestra que para que sean más notorias las diferencias térmicas se deben evaluar un mayor rango de oscilación de H/W, y de allí la importancia de evaluar H/W lo más opuestos.

De lo anterior no se puede generalizar que el efecto sea el mismo en cualquier ciudad. Así un estudio realizado en Cali por (Fernández & García, 2013), llegó a la conclusión de que densidades bajas en edificaciones se llegan a temperaturas más favorables para el confort. En este sentido, si bien el indicador H/W es útil, la escala de edificación tiene un papel importante que de alguna forma muestra que la escala morfológica del área de estudio en Cuenca hasta cierto punto crea una favorable ICU en la zona.

Sumada a las observaciones dichas, y a pesar del rango limitado de H/W ya se encontró una afectación de la morfología para la variación térmica del interior del cañón urbano.

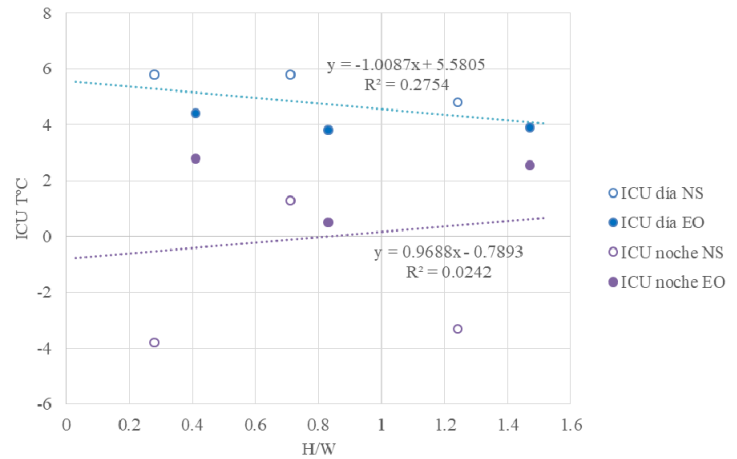


Figura 9: Relación H/W y temperatura  
Elaboración: propia

**Sky View Factor (SVF) y Factor de Altura Relativa (FHR)**

Los valores obtenidos de SVF y FHR se muestran en la fig. 10. Estos factores se relacionan con el punto evaluado, además su representación gráfica muestra la porción de cielo y la orientación de los tramos desde el punto de medición. Los FHR son negativos por estar debajo de las obstrucciones (interior).

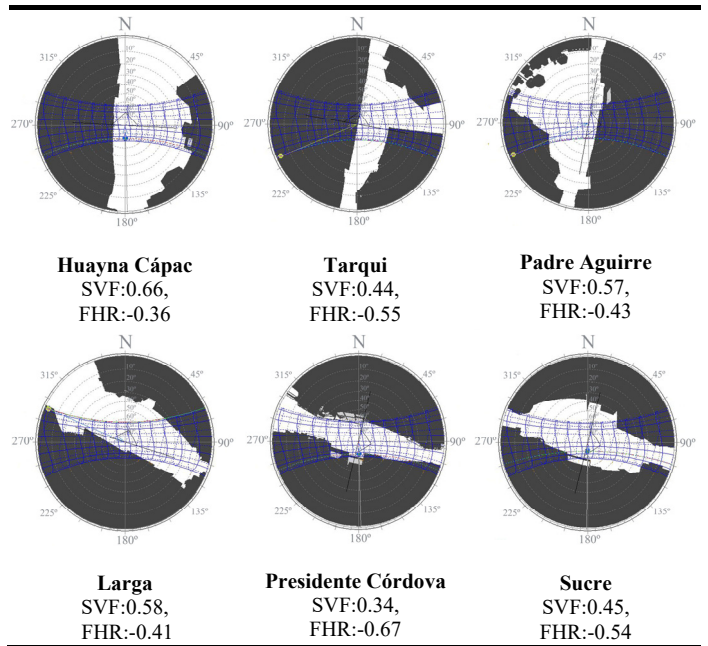


Figura 10: Valores de SVF y FHR  
Elaboración: propia

En el caso de los SVF obtenidos podemos encontrar una relación de que a menor ratio H/W mayor SVF, y se evidencia más claro en el tramo de Huayna Cápac con menor H/W y alto SVF, y en oposición Presidente Córdova con un ratio alto y bajo SVF. A continuación se evalúa los períodos de día debido a que en estas horas es donde se aprecian ganancias por radiación solar y es donde tiene sentido el SVF. Así, la temperatura que alcanza de noche un cañón sería en base del SVF evaluado en el día.

La figura 11, describe una tendencia de todos los casos evaluados en la ICU de día, a mayor SVF existe mayor temperatura (directamente proporcional), además en esta relación se obtiene un  $R^2=0.57$  que ya se considera significativo en muestras pequeñas (Martínez Ortega, Tuya Pendás, Martínez Ortega, Pérez Abreu, & Cánovas, 2009). No obstante, la orientación vuelve a destacar y se observa que los cañones norte-sur están más calientes que los cañones este-oeste en el periodo de día ya que evalúa sobre todo ganancias de radiación solar. Por otro lado, se muestra que en periodo nocturno un mayor SVF enfría más los cañones. Esta última observación, es más compleja relacionar, ya que de todos modos en la noche se enfrían más los cañones norte-sur y el comportamiento de vientos en la noche tampoco es claro.

Por otra parte en la fig. 12 se observa la tendencia de todos los tramos que a mayor FHR (considerando la referencia del signo positivo) existe mayor temperatura (directamente proporcional) en el periodo de día y se obtiene un  $R^2=0.52$  (valor similar al SVF de ICU de día) y también sucede que los tramos norte-sur están más calientes que los tramos este-oeste en el día. De estos dos factores SVF y FHR se observa una similitud en tendencias y valores. Finalmente estos dos últimos factores contienen un valor con información que considera las obstrucciones de todo el entorno a diferencia del H/W que prioriza las obstrucciones en sentido de la orientación que pueda tener.

Así, (Carrasco et al., 2016) indica que estos dos factores, SVF y FHR están fuertemente relacionados y son útiles para describir el contexto climático del cañón evaluado. El estudio de (Carrasco et al., 2016) se realiza en Valparaíso y evalúa orientaciones perpendiculares y paralelas a línea de costa, no obstante en nuestro caso las orientaciones estas alineadas prácticamente norte-sur y este-oeste. Sin embargo, en la ICU relacionado al SVF y FHR encuentra la misma tendencia de que a mayor SVF mayor temperatura, y lo mismo para FHR.

Finalmente, es ampliamente conocido que un mayor SVF permite mayor ganancia de calor en el día aunque permite mayor pérdida en la noche. No obstante, hay que tener presente que el SVF es utilizado en otros estudios de clima, y su peculiaridad consiste en relacionar las obstrucciones de todo el entorno (360°) lo que precisa una mejor información al momento de relacionarlo con las ganancias de radiación, y su capacidad para enfriar o calentar entornos. En adición este factor se asocia con la ventilación que de todos modos es un fenómeno más difícil de evaluar debido a su irregularidad, y al cambio de intensidad en una escala de cañón urbano.

### Superficies y Radiación Absorbida

En el software Ecotect Analysis 2011 se evaluaron los casos de estudio en el periodo diurno de 6 h a 18 h, considerando la semana de estudio del mes de noviembre. Los ficheros climáticos empleados en los modelos se generaron en base de la información de estación meteorológica urbana de El Vecino que reúne la información necesaria para el año de 2016.

De forma general señalamos cuales han sido los materiales predominantes en el área de estudio.

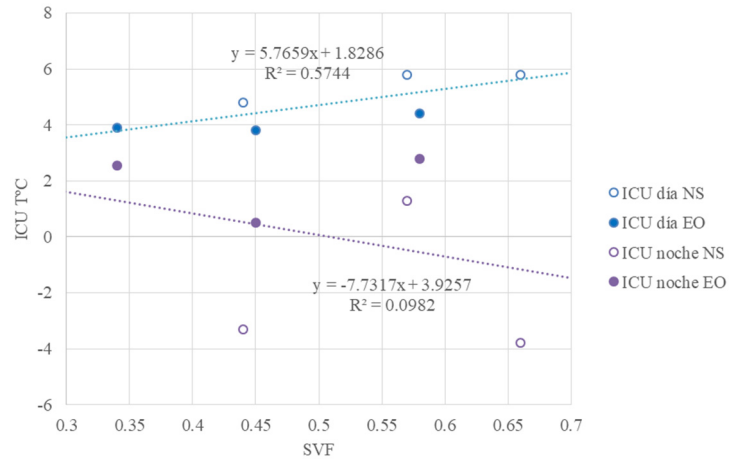


Figura 11: Relación de SVF y temperatura  
Elaboración: propia

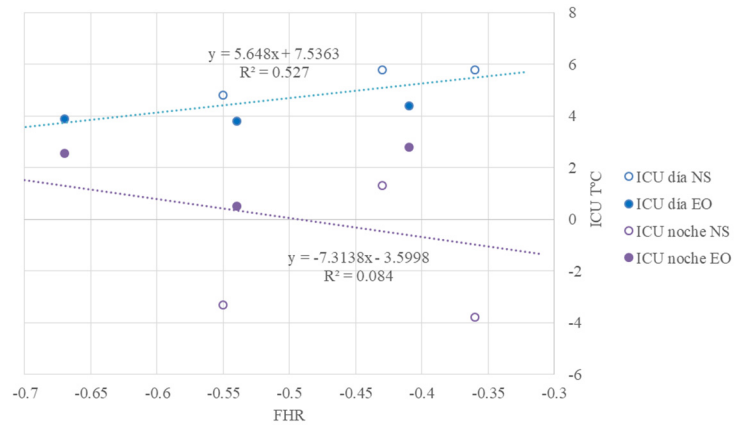


Figura 12: Relación de FHR y temperatura  
Elaboración: propia

A nivel de calzada y de veredas existen pisos de piedra y veredas de piedra y baldosa con excepción de la calzada de Huayna Cápac que es de asfalto. A nivel de fachadas tenemos un predominio de enlucidos y de color tipo pastel (normativa que regula el centro histórico de la ciudad). En el nivel horizontal superior las cubiertas son de teja que forma parte de la normativa especial del centro de la ciudad.

Es importante notar que los valores del albedo según el color van de no reflejantes de valor 0 (negro) a reflejantes de valor 1 (blanco). Los valores promedios de albedo para las superficies del estudio fueron: Superficies de piso: 0.3; Superficies de Fachada: 0.5; y Superficies de cubierta: 0.3; que al menos a nivel de paredes y pisos son similares a los usados en el estudio de Palme et al., (2017).

Finalmente, la fig. 13 muestran todos los cañones y la radiación absorbida en el periodo de 6h a 18h en un día promedio (de la semana de noviembre de 2016 estudiada) en rangos diferenciados desde el valor más bajo (azul) hasta el más alto (amarillo) en Wh/m2 (cantidad de energía recibida durante el tiempo de evaluación).

La definición de un rango estándar de radiación absorbida no se considera, ya que en este caso se hace un análisis en un

periodo particular y para una tipología de materiales puntual. En todo caso se deben analizar los resultados en base de los distintos valores obtenidos por cada cañón. La primera impresión gráfica es que las superficies horizontales absorben más radiación que las verticales.

No obstante, la misma fig. 13 nos lleva a definir relaciones importantes entre radiación con SVF y FHR. La radiación acumulada es mayor en el cañón de Huayna Cápac tanto a nivel de vía (21 113 Wh/m<sup>2</sup>) como a nivel de fachada (8 339 Wh/m<sup>2</sup>) con menor ratio H/W y alto SVF en sentido norte-sur, y por otro lado la radiación es menor en el cañón de Presidente Córdova a nivel de vía (10 431 Wh/m<sup>2</sup>) y fachada (2 958 Wh/m<sup>2</sup>) con un mayor ratio H/W y bajo SVF en sentido este-oeste. Además, el FHR tiene la misma consideración que el SVF, es decir a mayor FHR (considerando el valor positivo como referencia) se absorbe mayor radiación.

Con este último resultado se evidencia que tanto el SVF como el FHR, son indicadores útiles para prever la incidencia solar, y por lo tanto las ganancias en radiación que puedan tener los cañones urbanos en base a su geometría.

Si bien se encuentra una relación clara entre radiación y su geometría, hay que considerar la característica principal de las superficies de los edificios para el calentamiento de las ciudades es el albedo o reflectancia solar según la United States Environmental Protection Agency (2012) y menciona que valores altos de albedo refrescan la temperatura del aire mientras que los valores bajos calientan el mismo.

En el presente estudio las superficies de vías y techos tienen valores bajos de albedo que permiten la mayor absorción de radiación. De la consideración anterior planteamos dos análisis. El primero que al interior del cañón urbano las ganancias significativas por radiación son por calzadas y veredas. No obstante, en el caso de valores mayores de SVF tiene mayor facilidad para dispersar calor. El segundo aspecto y llevado a un límite superior del cañón y a una mayor escala y considerando que cerca del 60% de las áreas urbanas están cubiertas por techos y pavimentos (Akbari, Arthur, & Rosenfeld, 2008) citado en (Al-obaidi et al., 2014) este fenómeno de ICU podría verse amplificado directamente en el límite superior debido a la incidencia por cubiertas que tienen menor albedo y serían las responsables de liberar mayor energía de la radiación absorbida durante la noche.

Además, considerando que Cuenca es de escala pequeña, el valor de radiación depende del tipo de morfología en la ciudad. El estudio de Qin (2015), además de que no encuentra una diferencia considerable entre valores de albedos en dirección norte-sur y este-oeste (similar a lo que sucede en Cuenca), recomienda el uso de pavimentos refractivos en ratios H/W menores a 0.1. Esto tendría sentido para nuestro estudio, solo que como ya se mencionó antes el efecto de la ICU está dentro del rango de límites de confort, en caso contrario debería estudiarse mejor esta proposición.

Finalmente, de los resultados obtenidos también se muestra que las superficies horizontales son prioritarias para refrescar el ambiente antes que las verticales

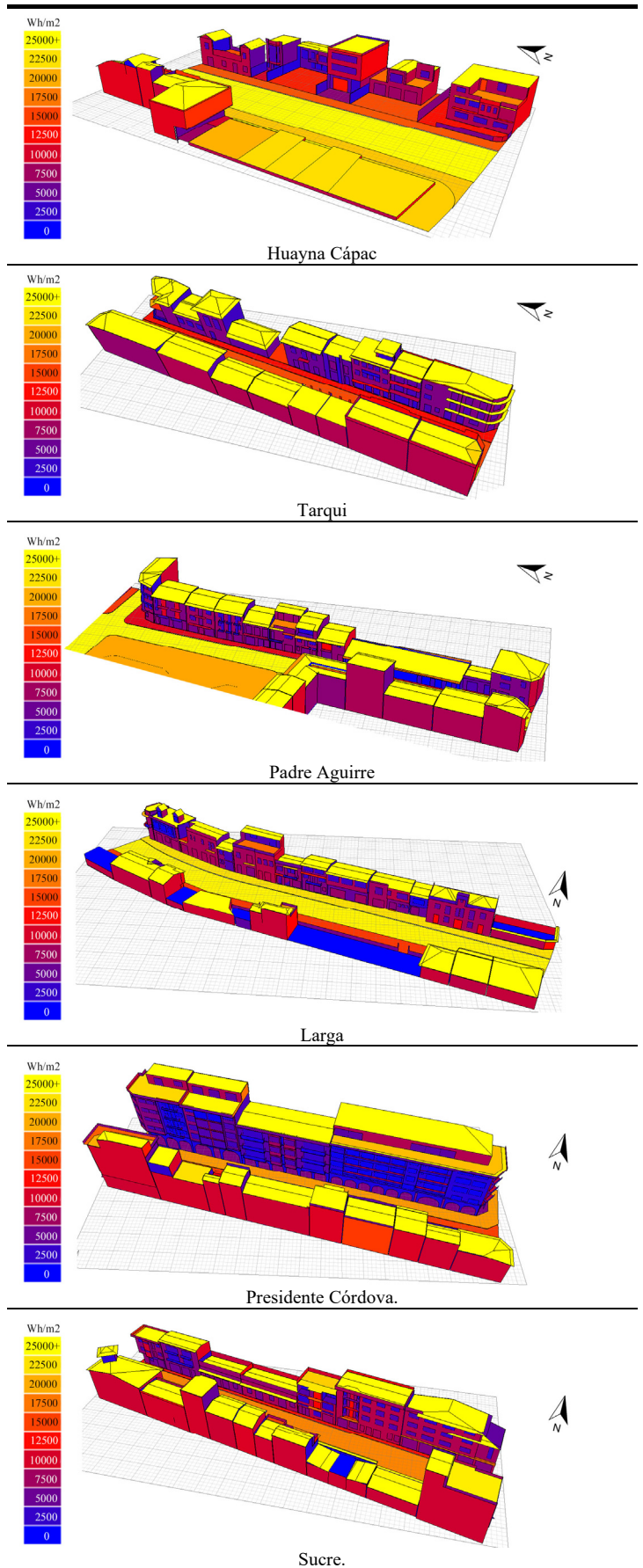
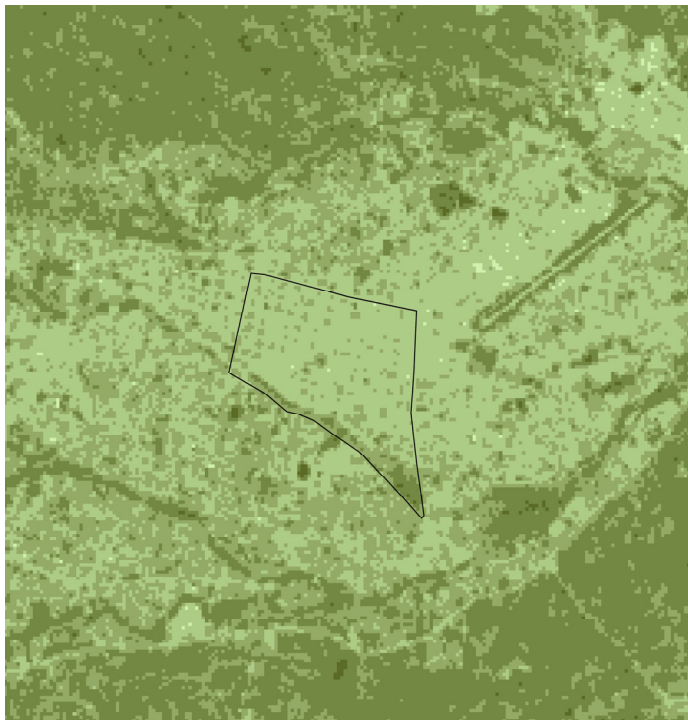


Figura 13: Radiación en superficies horizontales y verticales  
Elaboración: propia

### NDVI

En la fig. 14 se muestra el centro histórico de Cuenca con valores de NDVI de tonos diferenciados y según la escala simplificada de López-Pérez et al., (2015), en base de Merg et al., (2011). Se resalta el área de estudio que muestra menor índice de vegetación respecto a las zonas exteriores. La zona de estudio delimitada en la unidad funcional del centro histórico tiene en promedio un NDVI de 0.09 que significa un suelo sin vegetación (SV). En esta área la presencia de vegetación se identifica en el interior de los predios y en algunas plazas, además del borde del Río Tomebamba que es significativo para este índice en dicha área.

En los casos de estudio el NDVI solo se considera la vegetación que está en el cañón urbano. El NDVI es mayor a 0.1 con vegetación ligera (VL) solo en dos casos: en el tramo de Padre Aguirre que está limitando el parque de María Auxiliadora; y en el tramo de Larga que tiene un recinto con vegetación en mitad del tramo (cercanía al Río Tomebamba). Los demás casos tienen un NDVI menor a 0.07 (SV), es decir sin vegetación.



- Unidad Funcional del centro histórico
- Nubes y agua (NA) < 0.01
- Suelo sin vegetación (SV) 0.01-0.1
- Vegetación ligera (VL) 0.1-0.2
- Vegetación mediana (VM) 0.2-0.4
- Vegetación alta (VA) >0.4



Figura 14: NDVI en la zona de estudio  
Fuente: Imágenes Landsat 8, sensor OLI/TIRS, 2016  
Elaboración: propia

### Flujo Vehicular

En la fig. 15 se puede observar que todos los tramos tienen flujos vehiculares por hora diferentes, aunque, Huayna Cápac duplica el valor de los demás cañones. Además, este último cañón fue el que alcanzó mayor temperatura en el día. De la misma figura 15, se puede identificar un comportamiento bien definido en todos los casos desde las 6 h hasta las 8 h donde el flujo vehicular aumenta y se mantiene hasta las 14 h para descender de flujo hasta las 4 h o 5 h que comienzan a ganar flujo vehicular nuevamente. Por otro lado la gráfica de ICA para el mismo periodo comienza a ascender desde las 6h hasta las 9h y se mantiene hasta las 13h, para descender hasta las 13h y ascender otra vez a las 14 h, y luego descender a las 16h.

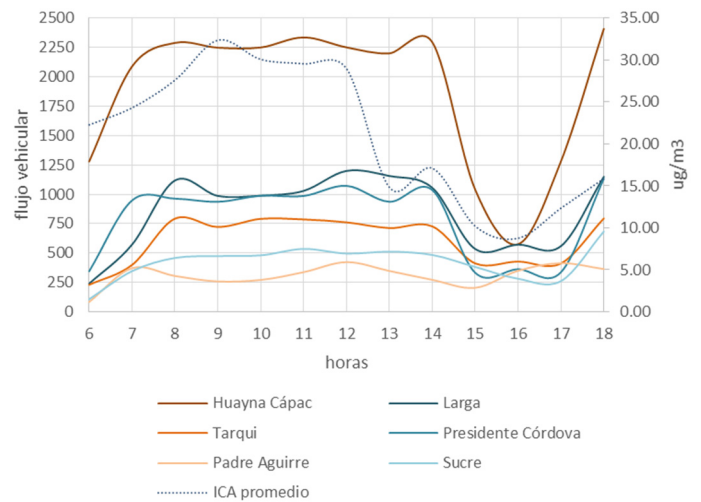


Figura 15: Flujo vehicular de los cañones estudiados e ICA general de la zona de estudio de 6 h a 18 h.  
Elaboración: propia

Finalmente, la tendencia encontrada entre flujo vehicular y temperatura (ver fig. 16) muestra que a mayor flujo vehicular se da mayor temperatura en el periodo de ICU de día con mayor tráfico que noche. Una tendencia muy similar se encuentra en el estudio de Kammuang-Lue et al., (2015) para el periodo de día.

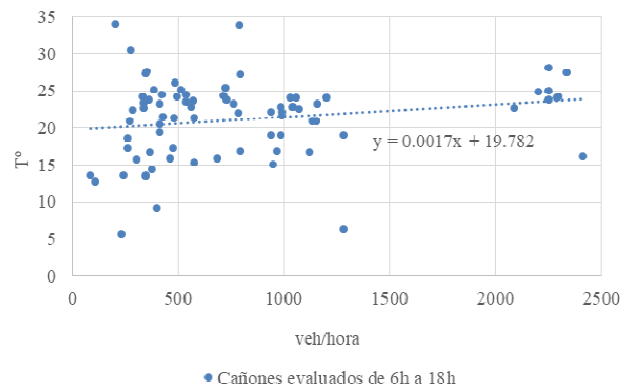


Figura 16: Flujo vehicular de los cañones y temperatura.  
Elaboración: propia

### Matriz de componentes principales

Después del análisis de aspectos morfológicos se consideran los valores promedios de otras variables como: NDVI y tráfico vehicular (ver tabla 2), no obstante, estas últimas sugieren un mayor estudio no realizado en la presente investigación.

En la matriz de correlaciones (ver tabla 3) hacemos la siguiente lectura. El H/W tiene una correlación negativa fuerte con aspectos de morfología como el FHR, SVF. Por otro lado, el SVF y FHR están en una correlación positiva fuerte. Estas dos últimas variables también tienen correlación positiva significativa con radiación en vías y radiación en fachadas. De esta primera observación deriva que los aspectos morfológicos tienen una fuerte correlación.

Además, se observa una correlación significativa entre variables de velocidad de vientos, flujo vehicular y NDVI, aunque estas últimas variables no morfológicas tienen una correlación no significativa con el resto de variables.

La tabla 4 contiene los valores propios y las inercias explicadas por las componentes iniciales en el primer bloque, después el método de extracción en el segundo, y después de la rotación en el tercero. En la misma tabla se observa que las dos primeras componentes tienen más peso a la hora de explicar datos. La primera explica un 56.04 % de la inercia total de la nube de puntos y la segunda un 25.34 % con lo que en total explican un 81.39 % de variabilidad.

Tabla 2: Variables y características relacionadas a la ICU para el periodo de día.

Cañón Urbano	H/W (coef)	FHR (coef)	SVF (coef)	Vientos (m/s)	Radiación Vías (Wh/m <sup>2</sup> )	Radiación Fachada (Wh/m <sup>2</sup> )	ICU día (°C)	NDVI (coef)	Tráfico (veh)
Huayna Cápac	0.28	-0.36	0.66	0.40	21113	8339	5.8	0.060	23583
Tarqui	1.25	-0.55	0.44	0.20	20478	6449	4.9	0.077	7216
Padre Aguirre	0.71	-0.43	0.57	0.10	16185	8276	5.8	0.112	3625
Larga	0.38	-0.41	0.58	0.00	20094	6005	4.4	0.105	10066
Presidente Córdova	1.47	-0.67	0.34	0.40	10431	2958	3.9	0.068	9823
Sucre	0.83	-0.54	0.45	0.10	11237	6311	3.8	0.064	4831

Tabla 3: Matriz de correlaciones

		HW	FHR	SVF	Velocidad Viento	Radiación en Vías	Radiación en Fachadas	ICU día	NDVI	Flujo vehicular
Correlación	HW	1.000	-.974	-.986	.305	-.562	-.714	-.511	-.245	-.500
	FHR	-.974	1.000	.990	-.267	.711	.815	.658	.275	.488
	SVF	-.986	.990	1.000	-.210	.619	.790	.637	.219	.538
	Velocidad Viento	.305	-.267	-.210	1.000	-.113	-.244	.134	-.697	.588
	Radiación en Vías	-.562	.711	.619	-.113	1.000	.606	.639	.256	.348
	Radiación en Fachadas	-.714	.815	.790	-.244	.606	1.000	.819	.254	.223
	ICU día	-.511	.658	.637	.134	.639	.819	1.000	.305	.262
	NDVI	-.245	.275	.219	-.697	.256	.254	.305	1.000	-.616
	Flujo vehicular	-.500	.488	.538	.588	.348	.223	.262	-.616	1.000

Determinante = .000

Esta matriz no es cierta positiva.

Tabla 4: Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	5.044	56.047	56.047	5.044	56.047	56.047	5.031	55.898	55.898
2	2.281	25.346	81.392	2.281	25.346	81.392	2.295	25.495	81.392
3	.900	10.002	91.395						
4	.464	5.151	96.545						
5	.311	3.455	100.000						
6	3.143E-16	3.493E-15	100.000						
7	1.166E-16	1.296E-15	100.000						
8	-1.696E-16	-1.884E-15	100.000						
9	-4.069E-16	-4.521E-15	100.000						

Método de extracción: análisis de componentes principales.



En la tabla 5, se muestran los pesos de cada variable en cada componente antes de la rotación. Estos valores corresponden a los coeficientes de correlación lineal de Pearson entre la componente y la variable implicada. Se observa que las variables FHR, SVF, radiación en fachada y radiación en vías están altamente relacionadas en la primera componente. Sin embargo, H/W tiene una relación fuerte negativa para la primera componente. Por otro lado las variables de vientos y flujo vehicular tienen una correlación alta positiva en la en la segunda componente, en la que además aparece el NDVI con una correlación alta negativa.

A pesar de observar la clara relación de cada componente con las variables, se realizó una rotación varimax para precisar la relación (principio de estructura simple). Así en la tabla 6 se corrobora lo que se había esbozado en la matriz factorial. Se observa que las variables FHR, SVF, radiación en fachadas, radiación en vías e ICU día están altamente relacionadas en la primera componente, que se podrían agrupar en variables relacionadas a la morfología. En la segunda componente se muestra resultados similares a los de la primera matriz antes de rotar que agrupan la velocidad de vientos, flujo vehicular y NDVI, de tal forma que agrupa en otras variables diferentes a la morfología pero que se identifican en el cañón urbano.

Tabla 5: Matriz de componente

	Componente	
	1	2
FHR	.984	
SVF	.964	
HW	-.922	
Radiación en Fachadas	.878	
ICU día	.772	
Radiación en Vías	.766	
Velocidad Viento	-.221	.874
NDVI	.307	-.871
Flujo vehicular	.446	.861

Método de extracción: análisis de componentes principales.  
2 componentes extraídos.

Tabla 6: Matriz de componente rotado.

	Componente	
	1	2
FHR	.983	
SVF	.966	
HW	-.920	
Radiación en Fachadas	.870	-.145
ICU día	.775	
Radiación en Vías	.766	
NDVI	.246	-.891
Velocidad Viento	-.160	.887
Flujo vehicular	.505	.828

Método de extracción: análisis de componentes principales.  
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

### Discusión Final

El mapeo de la zona de estudio y la selección de morfologías fue fundamental para encontrar diferencias en una ciudad de densidad baja en altura. Así el rango de morfologías estuvo entre 0.25 a 1.7 (H/W) y a pesar de este rango limitado se hallaron tendencias importantes en el comportamiento de la ICU. Otros estudios (Cabras, 2014; Nakata & de Souza, 2013) muestran mayores valores para H/W que llegan hasta 4 o 5, en los cuales se define fácilmente la incidencia por morfología. Los cañones evaluados en Cuenca varían térmicamente y el rango edificatorio de esta parte de la ciudad es significativo en la ICU. Así, Fernández & García (2013) muestran que una mayor densidad edificatoria está asociada al incremento térmico de la ciudad.

Si bien se evalúa un periodo de temperatura y radiación alta, no se debe obviar que este comportamiento es similar al que se da durante el año con diferencias mínimas de temperatura entre meses. En este caso se observó una oscilación térmica de hasta 15 grados por día para los tramos norte-sur. Por tal razón, la realidad en Cuenca debe priorizarse en base a un estudio diario antes que mensual, al menos en el comportamiento térmico de ICU.

Se responde a la hipótesis de que efectivamente la morfología modifica el clima e incide en la contribución de la ICU, este aspecto tiene una consideración adicional. La ICU se define como un incremento térmico, y debería evaluarse su efecto positivo o negativo en base a rangos de confort propios para cada zona de interés. En Cuenca se identifica una ICU que puede ser positiva si comparamos con los rangos de confort planteados por Guillen (2014); en el periodo de día los tramos están en el rango de confort, a pesar de que los tramos norte-sur pueden tener incremento térmicos en un periodo de 11h a 15h. Además, se pudo precisar qué unas morfologías pueden ser más perjudiciales que otras, en base a los factores morfológicos estudiados.

Un aspecto fundamental del estudio que condiciona el desempeño térmico de los cañones es la orientación que agrupa los casos de estudio –por orientaciones- a pesar de sus diferencias morfológicas. Esta situación es contraria a la que plantea Cabras (2014), en donde considera a la orientación como un aspecto secundario.

La aplicación de la fórmula de intensidad de la ICU se asume para una superficie plana de altitud uniforme, en donde la ciudad está en la parte central, y la parte rural o campo se encuentra a sus alrededores. No obstante, en nuestro caso de estudio esta fórmula no se puede aplicar directamente en relación a cualquier área rural, ya que previo a esto se debe seleccionar un área de similar altitud como punto de partida para evaluar el clima. Así la topografía andina sugiere una expresión que se adapte a la variada topografía que incide directamente en las variables climáticas.

El FHR y el SVF son los indicadores que más se relacionan en base a la morfología del cañón. Estos definen y ubican de

forma precisa el punto de evaluación que en este caso coincide con el punto de medición y define la orientación.

En los casos de estudio es inexistente la presencia de área verde, excepto en el tramo de Padre Aguirre y Larga. Los casos estudiados priorizan la selección por morfologías, por tal razón se pudo observar que en el estudio la vegetación y la ICU tienen baja correlación (matriz de correlaciones). Por otro lado el tema de vientos, más allá de identificar su dirección, resulta más importante la intensidad del mismo ya que de alguna forma el cañón le obliga una direccionalidad que al final influye en la ventilación del mismo (Carrasco, 2008).

Si bien se encuentra en la matriz de correlaciones, valores no significativos de NDVI, vientos y flujo vehicular en relación a la ICU, estas se agrupan en la segunda componente como variables no morfológicas que representan un 25.34 % de variabilidad, y dentro de este último porcentaje aparece el NDVI con una correlación alta negativa, mientras que el viento y flujo vehicular muestran correlación alta positiva. Estas últimas variables sugieren un mayor estudio.

Para resumir de forma general los casos estudiados e identificar tendencias en el estudio nos basamos en los dos cañones más diferenciados para la ICU en nuestra área de estudio. El tramo de Huayna Cápac en sentido norte-sur tiene la mayor temperatura, mayor SVF, mayor FHR, el ratio H/W más bajo, el mayor flujo vehicular, la mayor incidencia de vientos, la mayor radiación y un bajo NDVI. Por otro lado en el tramo de Presidente Córdova de sentido este-oeste ocurre todo lo contrario y a la vez estos dos tramos presentan la mayor diferencia de ICU. Si bien los aspectos morfológicos se diferencian de forma clara en estos últimos tramos, el tema de vientos es más complicado de evaluar ya que en ambos casos tienen igual intensidad. Además, el tema de flujo vehicular está mejor diferenciado, a pesar de que los dos cañones presentan el mayor flujo vehicular de todos los casos estudiados.

Una posible limitación puede ser el tamaño de muestra que considera 6 casos de estudio, de lo contrario, un mayor número de muestras limitan la toma de mediciones. Una fortaleza del estudio fue el desarrollo de un pre diagnóstico que cumplió funciones como: precisar los casos opuestos en una morfología de densificación similar. Estos casos opuestos muestran los valores extremos que limitan el rango de las tendencias, de manera que casos adicionales estarían dentro del rango de tendencia. Adicionalmente los modelados tridimensionales cumplen un rol importante que en etapa inicial demanda mayor tiempo por su elaboración, sin embargo en una etapa posterior los análisis requieren un menor tiempo para obtener resultados.

#### 4. CONCLUSIONES

Si bien se evaluó la morfología, la orientación condiciona el comportamiento térmico de los cañones del estudio. De esta manera se observa que los cañones norte-sur se calientan más y pierden más fácil calor. Por otro lado los cañones en el sentido este-oeste tienen un mejor comportamiento tanto en el día como en la noche.

El SVF y el FHR pueden resultar elementos útiles ya que

son factores que reconoce la obstrucción del entorno en 360° en comparación al H/W que reconoce solo determinada orientación. Además, el SVF encontró una tendencia en la ICU, donde un mayor SVF gana más temperatura en el día, pero un mayor SVF también pierde más temperatura de noche.

Las superficies horizontales como pavimentos y cubiertas absorben más radiación por su bajo valor de albedo, así estas superficies tienen más incidencia al momento de liberar calor y contribuir en la generación de ICUs.

Los factores explicados geoméricamente tienen relación con otros factores que modifican el clima, como el flujo vehicular y la vegetación no profundizados en este estudio.

En el caso de Cuenca a partir de este trabajo se ha mostrado la existencia de la ICU, aunque puede ser positiva en gran parte del periodo de día dentro del rango de confort, así como en el periodo nocturno.

Finalmente, un reto que suponen ciudades andinas como Cuenca es plantear instrumentos válidos para evaluar nuestro clima, más específicamente la ICU, que en este caso nos lleva a realizar una fuerte consideración de la topografía andina y de la escala edificatoria frente a los modelos propuestos en ciudades con topografía plana y diferentes escalas edificatorias.

#### AGRADECIMIENTOS

La investigación forma parte del programa de la Maestría en Arquitectura Bioclimática del Centro de Postgrados de la Universidad de Cuenca, la misma que brindó información e instrumentación en el desarrollo del estudio. Se agradece a los dos lectores de revisión que brindaron valiosos comentarios y sugerencias para este estudio; y a las personas propietarias de los inmuebles que facilitaron el acceso para la toma de mediciones.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akbari, H., Arthur, H., & Rosenfeld. (2008). WhiteRoofsCooltheWorld, Directly OffsetCO2 and DelayGlobalWarming. Retrieved from <https://sites.google.com/a/lbl.gov/cool-white-planet/pubs>
- Al-obaidi, K. M., Ismail, M., Malek, A., & Rahman, A. (2014). Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia: A literature review. *Frontiers of Architectural Research*, 3(3), 283–297. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2014.06.002>
- Cabras, E. (2014). *Efectos de la morfología de las calles en el fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de barcelona*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Carrasco, C. (2008). *Morfología y Microclima urbano. Análisis de la forma espacial y materiales como modeladores del microclima de tejidos urbanos mediterráneos costeros. El caso de la ciudad de Valparaíso*. Univesitat Poltécnica de Catalunya.
- Carrasco, C., Palme, M., & Gálvez, M. A. (2016). Factor de cielo visible y el efecto isla de calor en Valparaíso. *Revista*



- Urbano, 34, 26–33. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19849706004>
- Chow, W. T. L., & Roth, M. (2006). Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore. *Int. J. Climatol.*, 26, 2243–2260. <https://doi.org/10.1002/joc.1364>
- Dirección de Tránsito. (2017). Flujo Vehicular por horas de noviembre de 2016 en intersecciones del centro histórico de Cuenca. Cuenca.
- EMOV EP & Universidad del Azuay. (2017). Índice de calidad del aire (EPA). Retrieved from <http://gis.uazuay.edu.ec/ide2015/sistemaepa.php>
- Fernández, J., & García, N. (2013). Caracterización de islas frescas urbanas - IFU- e la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. *Entorno Geográfico*, 9(1), 122–144.
- 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>
- Guillén-Mena, V. (2014). Metodología de evaluación de confort térmico exterior para diferentes pisos climáticos en Ecuador (pp. 2–15). CONAMA.
- Guillén-Mena, V., & Orellana, D. (2016a). La influencia de la vegetación arborea urbana para disminuir el nivel de contaminación y alcanzar el confort climático. *Revista de La Facultad de Ciencias Químicas*.
- Guillén-Mena, V., & Orellana, D. (2016b). Un acercamiento a caracterizar la isla de calor en Cuenca, Ecuador, 1–14.
- Hämmerle, T., Gál, T., Unger, J., & Matzarakis, A. (2014). Different aspects in the quantification of the sky view factor in complex environments. *Acta Climatologica et Chorologica*, 53–62.
- I. Municipio de Cuenca. (2015). Tomo III. In *Plan de Movilidad y Espacios Públicos*. Cuenca. Retrieved from [http://www.cuenca.gob.ec/?q=system/files/PMEP\\_CUENCA\\_2015\\_tomo\\_III.pdf](http://www.cuenca.gob.ec/?q=system/files/PMEP_CUENCA_2015_tomo_III.pdf)
- Isalgué, A., Roset, J., & Coch, H. (1998). *Environmental Evaluation of an Urban Sector. REBUILD: The European Cities of Tomorrow - Shaping our European Cities for the 21st Century*. (Butera et al, Ed.) (Butera et). ETA-Florence.
- Jerves, R., & Armijos, F. (2016). Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 23(1), 25–34. <https://doi.org/10.17163/lgr.n23.2016.03>
- Kammuang-Lue, N., Sakulchangsattajai, P., & Terdtoon, P. (2015). Influences of population, building, and traffic densities on urban heat island intensity in Chiang Mai City, Thailand. *Thermal Science*, 19, 445–455. <https://doi.org/10.2298/TSCI150214085K>
- Kim, Y.-H., & Baik, J.-J. (2005). Spatial and Temporal Structure of the Urban Heat Island in Seoul. *Journal of Applied Meteorology*, 44(5), 591–605. <https://doi.org/10.1175/JAM2226.1>
- Konopacki, S., & Akbari, H. (2002). Energy Savings of Heat-Island Reduction Strategies in Chicago and Houston (Including Updates for Baton Rouge, Sacramento, and Salt Lake City). *Energy*, (February), 1–53. <https://doi.org/LBNL-49638>
- López-Pérez, A., Martínez-Menes, M., & Fernández-Reynoso, D. (2015). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, VI, 121–137.
- Luz, V. D. S., Maciel, C. D. R., Maria, F., Santos, D. M., Cristina, M., Albuquerque, D. J., & Nogueira, J. D. S. (2015). Influência Da Cobertura Do Solo Urbano Nas Variáveis Microclimáticas Na Cidade De Cuiabá-Mt-Brasil, (1), 1–9.
- Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., & Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, VIII(2). Retrieved from [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1729-519X2009000200017&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017&lng=es&tlng=es).
- Merg, C., Petri, D., Bodoira, F., Nini, M., Fernández, M., Schmidt, F., ... Blanco, F. (2011). Mapas digitales regionales de lluvias, índice estandarizado de precipitación e índice verde. *Revista Pilquen*, 11, 1–11.
- Nakata-osaki, C. M., Cristina, L., Souza, L. De, Rodrigues, D. S., Pós-graduação, P. De, & Urbana, E. (2015). Uma ferramenta para cálculo da máxima intensidade da ilha de calor noturna, (1), 1–10.
- Nakata, C., & de Souza, L. (2013). Verification of the influence of urban geometry on the nocturnal heat island intensity. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 286–292. <https://doi.org/10.4090/juee.2013.v7n2.286292>
- Nascimento, T. C. C., Júnior, J. D. S. G., & Barbosa, R. V. R. (2015). Estudo Comparativo Entre Cânions Urbanos Formados Em Ruas Com Diferentes Configurações: Influência Da Verticalização Para O Clima Urbano, (1).
- Oke, T. R. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268–277. <https://doi.org/10.1080/00046973.1976.9648422>
- 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*. 2<sup>nd</sup> ed. London and New York: Routledge. *Journal of Chemical Information and Modeling*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- 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)
- Oke, T. R. (2004). Initial guidance to obtain representative



- meteorological observations at urban sites. *World Meteorological Organization*, (81), 51.  
<https://doi.org/Reporte>
- 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., Lobato, A., & Carrasco, C. (2016). Quantitative Analysis of Factors Contributing to Urban Heat Island Effect in Cities of Latin-American Pacific Coast. *Procedia Engineering*, 169(November), 199–206.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.024>
- Palme, M., Lobato, A., Castillo, J., Villacreses, G., & Almaguer, M. (2016). *Estrategias para mejorar las condiciones de habitabilidad y el consumo de energía en viviendas*. Quito: INER. Retrieved from [http://iner.ec/plataforma/Guia\\_EEE\\_baja.pdf](http://iner.ec/plataforma/Guia_EEE_baja.pdf)
- Perico-Agudelo, D. (2009). El espacio público de la ciudad: Una aproximación desde el estudio de sus características microclimáticas. *Cuadernos de Vivienda Y Urbanismo*, 2, 278–301.
- 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>
- Qin, Y. (2015). Urban canyon albedo and its implication on the use of reflective cool pavements. *Energy & Buildings*, 96, 86–94.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.005>
- Rajagopalan, P., Lim, K. C., & Jamei, E. (2014). ScienceDirect Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city. *Solar Energy*, 107, 159–170.  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.042>
- Rizwan, A. M., Dennis, L. Y. C., & Liu, C. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120–128.  
[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)
- 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. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.21640/ns.v6i11.81>
- Roth, M. (2007). Review of urban climate research in (sub)tropical regions. *Int. J. Climatol*, 27(December 2007), 1859–1873.  
<https://doi.org/10.1002/joc>
- Sarricolea Espinoza, P. (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 Del Norte Grande*, 57(Mayo), 123–141. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000100009>
- Steenefeld, 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>
- Theeuwes, N. E., Steenefeld, G. J., Ronda, R. J., Heusinkveld, B. G., van Hove, L. W. A., & Holtslag, A. A. M. (2014). Seasonal dependence of the urban heat island on the street canyon aspect ratio. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140(684), 2197–2210.  
<https://doi.org/10.1002/qj.2289>
- Tumini, I., & Higuera Garcia, E. (2016). Urban microclimate and thermal comfort modelling: strategies for urban renovation. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 7628(April).  
<https://doi.org/10.1080/2093761X.2016.1152204>
- U.S. Department of the Interior, & U.S. Geological Survey. (2016). EarthExplorer USGS. Retrieved from <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- UPS (Universidad Politecnica Salesiana). (2016). Información Meteorológica del Cantón Cuenca. Retrieved from <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>
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). (2012). A practical guide to cool roof and cool pavements, (January). Retrieved from [http://www.coolroof toolkit.org/wp-content/pdfs/CoolRoofToolkit\\_Full.pdf](http://www.coolroof toolkit.org/wp-content/pdfs/CoolRoofToolkit_Full.pdf)
- 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.

APÉNDICE

**A. Promedios de vías y alturas**

El área de estudio resultó con un número alto de edificaciones y por esta razón se utiliza la siguiente estrategia para el registro de alturas. Este registro se hace con fotografías por cada tramo a través de recorridos en Google Street View (ver Fig.A1). Este proceso demanda al menos dos construcciones fotográficas por cada tramo. De esta forma la fotografía indica el número de pisos, sin embargo, no se puede generalizar un tamaño estándar de piso. En los casos de estudio se pudo verificar que en algunos casos el nivel de piso puede variar desde los 2.7 m hasta 5 m. Para ello se estableció una malla guía de un alto aproximado de 1,7 m similar al alto de una persona (proporción empleada en Arquitectura) en el software AutoCAD, 2016. para definir la variabilidad de cada piso. Así, se clasifican edificaciones en rangos generales del estudio de tres pisos (aprox. 10 m), de tres a seis pisos (aprox. 20m), y mayores a 6 pisos (mayores a 20 m).

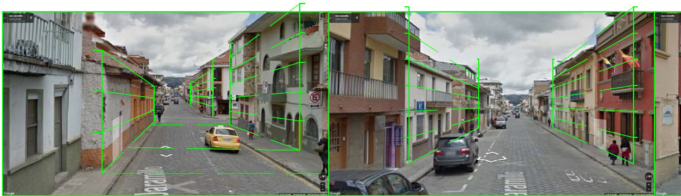


Figura A1. Altura de edificaciones en AutoCAD, calle Juan Jaramillo.

Los datos de alto se adjuntan en la base de datos predial disponible del municipio de Cuenca que ya incluye las medidas horizontales. Los anchos de vía se contabilizan en cada tramo que varía entre 90 m y 100 m, y se consideran sus distintas secciones para establecer un promedio representativo en cada tramo como se muestra en la Fig. A2 y empleando la expresión (1). En el caso de cada tramo las alturas de fachada también se promedian para tener un valor por tramo. Estas operaciones se realizan en una hoja de cálculo de Excel.

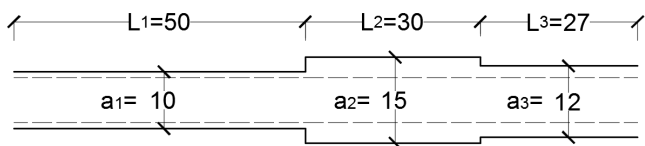


Figura A2. Variación de ancho en vía a lo largo de un tramo. Elaboración: propia

$$x = \sum_{i=1}^n \frac{a_i L_i}{L_i} = \frac{a_1 L_1 + a_2 L_2 + \dots + a_n L_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n} \quad (1)$$

Dónde: x= promedio de ancho de vía  
a= ancho de vía en tramo parcial  
L= largo de vía en tramo parcial

Los datos de alto y anchos de vía de cada tramo determinan el ratio H/W para cada cañón configurado en el área de estudio. Los valores de ratios H/W mayores a 1 muestran un predominio de H, mientras que ratios H/W más cercanos a 0 muestran un predominio del ancho.

**B. Cálculo de sky view factor**

Este proceso se realiza mediante mascarar de sombreado en el software Ecotect Analysis 2011, que utiliza un método simple de latitud/longitud en el que el cielo se divide en segmentos verticales (ángulos de altitud) y radiales (líneas azimutales). En la fig. B1 se representa el ángulo azimutal de cada elemento (tabla de sombreado) y este se calcula para los 360 grados completos; y se representa el ángulo de altitud de cada elemento (tabla de sombreado) y este se calcula para un total de 90 grados. Para el análisis numérico, la cúpula del cielo se divide en segmentos con valores de sombreado almacenados para cada celda individual.

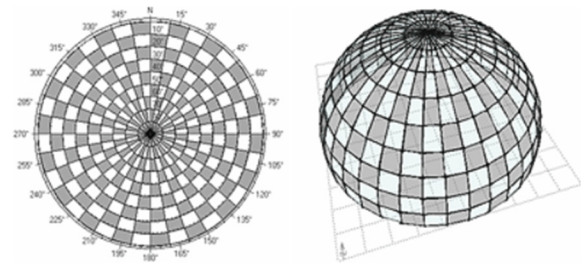


Figura B1. Ángulo azimutal y ángulo de altitud

Lo anterior, explica el modelo de cálculo, sin embargo se puede incluir obstrucciones, que en este caso sería los edificios y otros elementos como árboles. Este procedimiento supone un hemisferio que rodea algún punto y las áreas de bloqueo solar se determinan proyectando líneas desde este punto hasta cada vértice sobre las siluetas de los objetos circundantes, intersectando este hemisferio imaginario. Cualquier área de sombra en el diagrama resultante representa un área de sombreado, donde un objeto bloquearía la luz del Sol cuando está detrás de él (ver fi. B2).

Otra forma de visualizar el oscurecimiento es trazar sombras en un diagrama de Sun-Path. Este proceso es similar a mirar desde el suelo hacia arriba en el cenit del cielo. Si se toma una fotografía con una lente de ojo de pez, se observa que algunas partes de la cúpula del cielo son totalmente visibles, mientras que otras están oscurecidos por los edificios circundantes, los árboles y otras obstrucciones. Así, cuando el Sol está en las partes obstruidas del cielo, el punto desde donde se mira debe estar en la sombra.

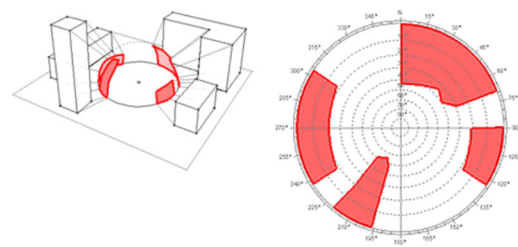


Figura B2. Área de sombra en rojo generada por edificios circundantes respecto a un punto.

### C. Cálculo de FHR

Según el procedimiento del modelo climático del Eixample de Barcelona (Isalgué et al., 1998) y empleado por (Carrasco, 2008) se realizó el cálculo para los 6 casos de estudio. A continuación se muestra el realizado en el cañón de Presidente Córdova.

Primero se debe de realizar una circunferencia con centro en el punto de medición (ver fig. C1). Esta circunferencia debe ser lo suficientemente amplia para que las líneas desde el centro se extiendan a los 8 puntos que dan información del contexto, donde la línea 1-5 está en sentido norte sur y la línea 3-7 en sentido este oeste. Las líneas 2-6 y 4-8 son bisectrices del cruce de las 1-5 y 3-7. Cada línea se corta con la línea de fachada, y estas medidas serán las horizontales. Por otro lado las medidas verticales son el alto del edificio menos el alto del punto evaluado.

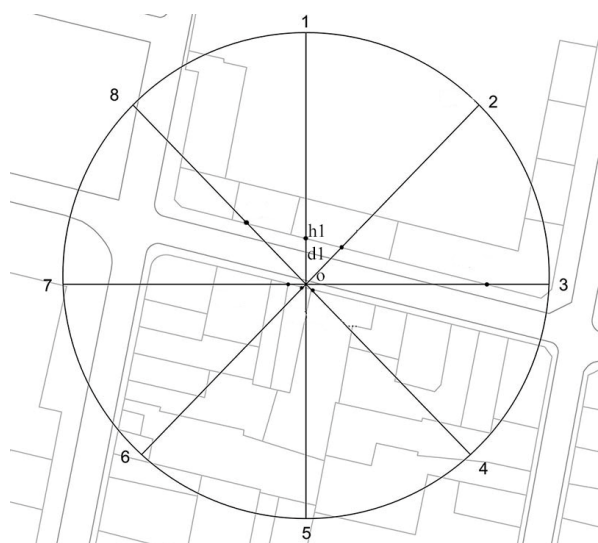


Figura C1. Contexto del cañón de Presidente Córdova

Finalmente se evalúan la relación de ángulo descrito entre altos y anchos mediante la función tangente. Este proceso, se simplifica mediante la tabla C1.

Tabla C1. Ejemplo de cálculo de FHR para el cañón de Presidente Córdova.

Elaboración: propia

Punto	Altura a (m)	Distancia d (m)	Tangente	arc tg	arc tg (a/d)/90°	Gráfica de FHR
1	13.47	11.38	-1.18	-49.80	-0.55	
2	13.47	12.7	-1.06	-46.68	-0.51	
3	19	44.88	-0.42	-22.94	-0.25	
4	10.21	1.65	-6.18	-80.82	-0.89	
5	10.21	0.9	-11.34	-84.96	-0.94	
6	10.21	1	-10.21	-84.40	-0.93	
7	10.21	3.6	-2.83	-70.57	-0.878	
8	19.84	20.94	-0.94	-43.45	-0.48	
Promedio				-60.45	<b>-0.67</b>	

### D. Cálculo de Radiación

Previo a la generación de modelos se rectificaron las siguientes fachadas: Huayna Cápac (10), Tarqui (14), Padre Aguirre (16), Larga (17), Presidente Córdova (15), y Sucre (17), que al final de este proceso se genera 89 fachadas rectificadas. Estas fachadas con medidas sirven para elaborar los modelos tridimensionales desde Revit 2016, y se exportan en formato Green Building XML al software Ecotect Analysis 2011. Ya en el Ecotect, se deberá cargar el fichero para la ciudad de Cuenca, que en este caso se generó en el software Meteororm. Un último paso será identificar las materialidades de cada superficie con valores preestablecidos en Ecotect. (ver Fig. D1)

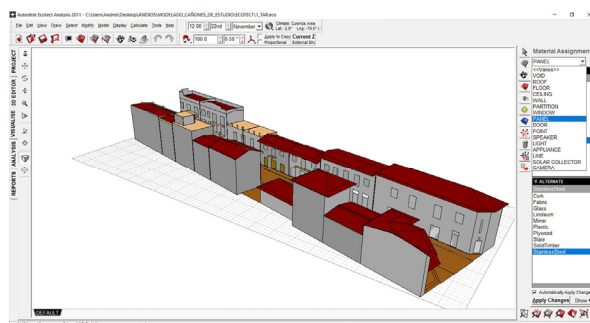


Figura D1. Modelado en Ecotect, calle Tarqui.

Es importante señalar que la insolación se refiere sólo a la cantidad de energía que cae realmente sobre una superficie, que no se ve afectada en modo alguno por las propiedades superficiales de los materiales o por ningún efecto refractivo interno. Las propiedades del material sólo afectan a la cantidad de radiación solar absorbida y / o transmitida por una superficie. La incidencia de la radiación (A), la fracción de la superficie actualmente en sombra de la otra geometría circundante (Fshad), la fracción del cielo difuso realmente visible desde la superficie (Fsky) y, si una superficie es parcialmente adyacente a otra zona, el área de superficie realmente expuesta a la radiación solar (ExposedArea). Estos factores afectan la radiación normal del haz (Ebeam) y difusa (Ediffuse) de forma diferente, de manera que:

$$E_{incident} = [(E_{beam} \times \cos(A) \times F_{shad}) + (E_{diffuse} \times F_{sky})] \times ExposedArea$$

Una vez que la cantidad de insolación se ha calculado para una superficie, es posible calcular cuánto de esa radiación se ha absorbido o transmitido. Estos valores dependen de las propiedades del material asignadas a la superficie. Esto es, por supuesto, donde las cosas se complican porque no hay significados estrictamente definidos para las diferentes propiedades y que a menudo interrelacionan.

La radiación solar absorbida (Wabsorbed) se ve afectada por la absorción solar asignada a un material opaco (Fabs) y su valor de transparencia (Ftrans). El componente transmitido se ve afectado nuevamente por la transparencia del material (Ftrans) así como por las ventanas, el coeficiente de sombreado (SC) y los efectos de la refracción (Frefract), tales que:

$$W_{absorbed} = W_{inpositivo} \times (1 - F_{trans}) \times F_{abs}$$