

Caracterización del viento y temperatura aparente en los cañones urbanos del centro histórico de Cuenca, Ecuador

ANDRÉS SANTIAGO
BUSTAMANTE
CAMPOVERDE 

Universidad de Cuenca,
Cuenca-Ecuador.
andres.bustamantec@ucuenca.edu.ec

Caracterização do vento e temperatura aparente nos desfiladeiros urbanos do centro histórico de Cuenca, Equador

Characterization of the wind and apparent temperature in the urban canyons of the historic center of Cuenca, Ecuador

Resumen

El estudio tiene por objetivo evaluar el comportamiento del viento y su efecto en la sensación térmica de cañones urbanos del centro histórico de Cuenca. La metodología se basa en la selección de casos de estudio de la unidad funcional del centro histórico para armar modelos simplificados según la relación de aspecto alto/ancho (H/W) y de orientaciones este-oeste y norte-sur. Estos modelos son simulados mediante la aplicación de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), cuyo cálculo usa valores del viento para el mes de mayor intensidad y de acuerdo a velocidades y direcciones predominantes. Los resultados demuestran que la relación geométrica incide en la modificación de la velocidad de viento y por lo tanto varía la temperatura aparente al interior del mismo, que puede incrementar o disminuir hasta 4 °C dependiendo de la relación H/W, orientación y hora del día.

PALAVRAS-CLAVE

Cañones urbanos
Viento
Morfología urbana
Patrimonio
Dinámica de fluidos
computacional
Cuenca-Ecuador

Resumo

O estudo tem como objectivo avaliar o comportamento do vento e o seu efeito na sensação térmica em desfiladeiros urbanos do centro histórico de Cuenca. A metodologia baseia-se na selecção de casos de estudo da unidade funcional do centro histórico para a montagem de modelos simplificados de acordo com a relação altura/largura (H/W) e as orientações Este-Oeste e Norte-Sul. Esses modelos são simulados por meio da aplicação da Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD), cujo cálculo utiliza os valores do vento para o mês de maior intensidade e de acordo com as velocidades e direcções predominantes. Os resultados mostram que a relação geométrica influencia a alteração da velocidade do vento e, portanto, a temperatura aparente no seu interior varia, podendo aumentar ou diminuir até 4 °C dependendo da relação H/W, orientação e hora do dia.

PALAVRAS-CHAVE

Desfiladeiros urbanos
Vento
Morfologia urbana
Património
Dinâmica de Fluidos
Computacional
Cuenca-Ecuador

Abstract

The study aims to assess the wind behavior and its effect on the thermal sensation in urban canyons of the historic center of Cuenca. The methodology is based on the selection of case studies of the functional unit of the historical center to assemble simplified models according to the height/width (H/W) ratio and east-west and north-south directions. These models are simulated through the application of computational fluid dynamics (CFD), whose calculation uses values from the wind for the month of greater intensity and according to prevailing speeds and directions. The results show that the geometric relationship affects the change in wind speed and therefore modifies the apparent temperature inside it, which may increase or decrease up to 4 °C depending on the H/W ratio, orientation and time of day.

KEYWORDS

Urban canyons
Wind
Urban morphology
Heritage
Computational fluid
dynamics
Cuenca-Ecuador

Introducción

Las ciudades de América latina y del caribe son afectadas directamente por el cambio climático, cuyo incremento en la altura del nivel de mar pronostica un incremento térmico de hasta 2 °C, que sumada la extensiva urbanización provocan impactos negativos para los elementos físicos del patrimonio histórico [1]. Pero esos impactos también están asociados a variaciones térmicas como islas de calor en ciudades pequeñas e históricas [2], que a más de contribuir en el daño estructural de los materiales, también ocasionan malestar en el confort urbano.

El estudio del confort urbano considera elementos del clima como el sol y viento, cuya segunda variable puede demandar un estudio más complejo [3]. Esto debido a dos características. Primero, el viento se ve condicionado por el esquema geográfico que puede variar en el perfil montañoso [4]. Por ejemplo, el flujo del viento se modifica en las ciudades próximas a la cordillera de los Andes [5]. Y segundo, el viento en la escala edilicia se ve influenciada por la tipología del paisaje local [7].

En el contexto del paisaje local la variación morfológica se puede centrar en el estudio de los cañones urbanos. Estos elementos constituyen la unidad básica de análisis de una ciudad, cuyo coeficiente geométrico puede resumirse a partir de un descriptor morfológico conocido como relación de aspecto que es el alto de fachada dividido para el ancho de la vía (H/W) [8]. Este descriptor ha servido para evaluar centros urbanos en ciudades de Sudamérica complementado el estudio del clima urbano [9].

En general Tumini (2013) señala que el estudio del clima urbano puede resumirse en técnicas como mediciones in situ, teledetección térmica y modelos matemáticos [11]. La primera técnica hace empleo de variables climáticas como temperatura, humedad relativa y viento obtenidas a partir de estaciones meteorológicas con registros de tiempo prolongado, y mediante equipos móviles para muestreo de datos in situ. La segunda técnica emplea imágenes satelitales que permiten calcular diversas situaciones climatológicas y mapas de interés basándose en el tipo del sensor espacial. La anterior técnica suelo usarse en estudios de mayor escala. Finalmente, los modelos matemáticos para el estudio del microclima han tomado protagonismo por que permiten detallar la geometría urbana en menor escala y el estudio del confort peatonal.

El uso de modelos matemáticos puede abordarse en el estudio de las variables climáticas de interés, como el viento que se puede estudiar mediante el uso de modelación y simulación por Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Esta herramienta se ha utilizado para aplicaciones de estudios de edificación con efecto de túnel de viento tanto en edificios aislados [12], así como para el análisis de cañones urbanos [13]. De lo anterior, los estudios de micro escala pueden ser simulados mediante un amplio repertorio de *software* para evaluar el microclima en cañones urbanos y efectos en las edificaciones.

Tumini hace uso del *software* ENVI-met para simular el comportamiento climático del espacio urbano a micro escala con estudios de caso en la ciudad de Madrid [11]. Por otra parte, Colomer estudia cañones urbanos de la ciudad de Valencia, cuyos criterios de selección considera valores de compacidad para evaluar varias configuraciones morfológicas mediante el modelo *CFD Flow Vector* de Ecotect que destaca la modificación climática [14].

El estudio experimental de Christen [15] para la ciudad de Basel analiza de manera detallada los procesos de intercambio energético y de turbulencia con distintas situaciones morfológicas, para casos tipo calle en diferentes usos de suelo (urbano, suburbano y rural). Tal investigación emplea torres reticuladas metálicas con anemómetros ultrasónicos a distintas alturas que proporcionan información sobre los perfiles verticales para procesos de intercambio de calor así como de energía cinética de turbulencia (TKE). Este último estudio muestra que al nivel de la rugosidad urbana, el comportamiento térmico permanece inestable la mayor parte del tiempo. Además, los casos analizados varían su comportamiento térmico dependiendo de las distintas configuraciones morfológicas y de las situaciones locales de viento [15].

Sumada a las situaciones de viento y de microclima en el tejido urbano, Echave se enfoca en la habitabilidad térmica, estudiando el cañón urbano en situaciones de calle normal, de calle con vegetación, y con tipos de pavimento [16]. Este emplea el *software* Radtherm que simula la radiación y además considera la geometría del espacio y propiedades de los materiales. Este estudio, entre otros aspectos considera a la orientación como un factor fundamental para conseguir más horas de confort.

Por otra parte, el estudio de Rajagopalan, Lim y Jamei en la ciudad tropical de Muar [17] concluye que edificios en altura (torres de hasta 20 pisos) con calles estrechas y caótico desarrollo urbano, pueden ocasionar una reducción en la ventilación de los cañones urbanos y por tanto un incremento en la isla de calor urbana. Para lo cual, mediante el empleo del *software* IES y morfologías propuestas se concluye que la ventilación máxima se puede alcanzar situando las torres en el lado de barlovento, y cuando los edificios se sitúan en forma dispersa para el mejor paso del viento.

Otro estudio de ciudad tropical y húmeda (Barranquilla) considera vegetación y emplea el uso de CFD [18]. Este destaca efectos importantes desarrollados por la presencia del árbol que provocan aceleración y que canaliza el flujo del viento a lo largo de la calle. Además, dependiendo de las configuraciones (con o sin árboles), la velocidad de viento puede mantenerse o variar.

Desde otra perspectiva, un estudio con geometrías experimentales de un par de viviendas con ratio H/W menor a 0,3 y mediante un código Fortran y ecuaciones numéricas evalúan el accionar del viento. En este caso se analiza el viento en dirección perpendicular a las geometrías con velocidades simuladas de 1,5 m/s y 5 m/s

que muestran un mayor desprendimiento o vórtice a mayor velocidad de viento [19]. También, Amri y Syukur desde una perspectiva de daños estructurales emplean el *software* Flow Design para evaluar el efecto del viento y la inclinación del techo. Este estudio concluye que los techos con mayor inclinación tienen mayor susceptibilidad a riesgos estructurales [20].

Finalmente, se menciona un estudio local y experimental sobre morfología urbana e isla de calor en Cuenca, Ecuador [9]. Tal estudio trabaja con datos in situ tomados a 3 m desde el suelo, donde las mayores intensidades de viento son próximas a los 2 m/s en el horario de 12 h y 15 h. Además, la incidencia de radiación solar puede tener mayor repercusión en el confort exterior para cañones urbanos de ciudades con clima cálido entre las 12 h y 15 h [21].

Por todo lo anterior, el análisis del cañón urbano asociado al estudio del viento resulta fundamental para valorar el diseño urbano, que puede complementarse en dimensiones como: calidad del aire y confort peatonal [22]; ventilación natural [23]; y para mitigar la isla de calor con base en la exposición del viento local [24].

El efecto del viento debe asociarse al fenómeno térmico, similar a la evaluación por islas de calor o por situaciones del grado de confort. Es decir, el viento debe incluirse para la caracterización de la temperatura de sensación o temperatura aparente. Esto permite asociar el rol de los cañones urbanos del centro histórico de altura baja y homogénea que permiten el paso del viento y la generación de ventilación.

La finalidad de esta investigación es analizar la modificación microclimática del casco histórico de Cuenca en la escala peatonal. De este modo, el presente estudio evalúa la intensidad y dirección del viento en periodos

específicos, para simular estos en cañones urbanos de diferentes configuraciones y orientaciones que permitan caracterizar una condición microclimática a partir de la temperatura aparente.

Área de estudio

La presente investigación se desarrolla en la ciudad de Cuenca ubicada al sur de la República del Ecuador que está atravesada por el sistema montañoso de los Andes, en las coordenadas 2°54'08" Sur y 79°00'19" Oeste (Figura 1a) y con una altitud promedio de 2550 m.s.n.m. Según Köppen y Geiger, el clima de la ciudad se clasifica como Cfb [25] que puede ser templado y cálido con una temperatura media anual de 14,7 °C. La Figura 1a muestra el área de interés en la unidad funcional del centro histórico delimitada: hacia norte con la calle Rafael María Arízaga; al sur con el río Tomebamba; al este con la avenida Huayna Cápac; y al oeste con la calle Coronel Talbot [26]. La anterior delimitación contiene parte de la zona catalogada como patrimonio cultural de la humanidad a finales de 1999, la misma que cuenta con especial normativa que enfatiza el control de la tipología y altura de los bienes inmuebles, y que además se caracteriza por el uso de cubierta con teja (Figura 1b).

La clasificación del tejido urbano a partir de la situación topográfica puede tener la situación plan [27]. El área de estudio de Cuenca destaca tal situación (superficie horizontal) que tiene un alto grado de cobertura de edificaciones formando un tejido regular el que puede romperse parcialmente con la presencia de vegetación en las plazas o parques. Además en algunos casos el tejido urbano se adapta de acuerdo al margen del río Tomebamba como límite sur.

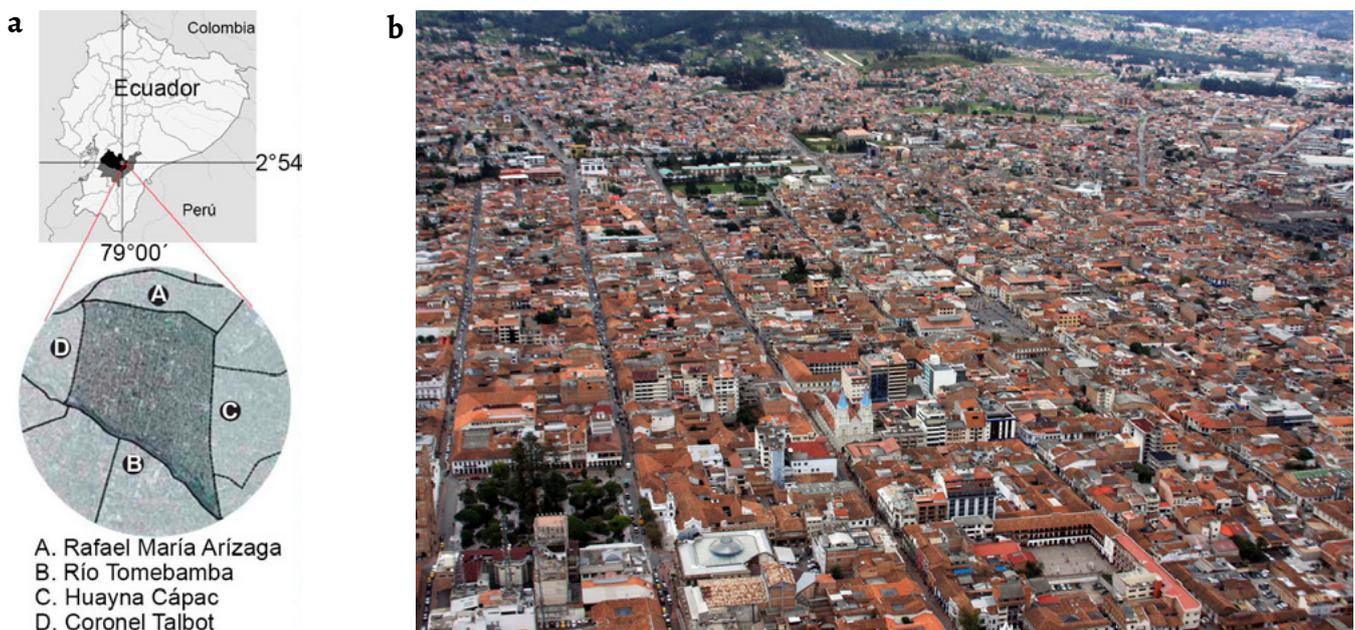


Figura 1. Área de estudio: a) Ubicación de Cuenca en Ecuador y área de estudio; b) Vista del centro histórico de Cuenca hacia el norte de la ciudad. Fotografía: Proyecto Cuenca Ciudad patrimonio Mundial.

Materiales y métodos

Caracterización morfológica

Se mapea la unidad funcional del centro histórico que cuenta aproximadamente con 5000 predios albergados en 170 manzanas, que mediante colores clasifica los niveles de altura por edificación (Figura 2). Además, el área en su extensión posee una altitud homogénea y contiene la estación meteorológica situada en la parte céntrica en un radio de influencia próximo a los 900 m.

Para definir el mapeo como una geometría de acuerdo a medidas horizontales y verticales se hace uso de: la ordenanza local; información de la base predial de la ciudad; y de la herramienta *Google Street View*. Las dimensiones en planta de los bloques o manzanas van de 60 a 100 m. Por su parte las dimensiones horizontales que constituyen los anchos de

circulación, tienen una dimensión promedio de 10 m tanto en las vías norte-sur como en las este-oeste, mientras que las plazas o parques pueden constituir una circulación más amplia que en algunos casos ocupa toda la dimensión de una manzana. Finalmente, para las dimensiones verticales predomina la altura de 2 y 3 pisos (6 a 10 m), sin embargo existen edificaciones que superan los 6 pisos de altura, y las iglesias constituyen los elementos de mayor altura que pueden superar los 40 m en la parte más alta.

Caracterización climática

El estudio del microclima en el centro histórico usa información de la estación M5103 [28] (Figura 2) que está en el radio de influencia inmediato del área estudiada y cuenta con registros horarios de información para los últimos cuatro años. Tal información considera variables de promedios

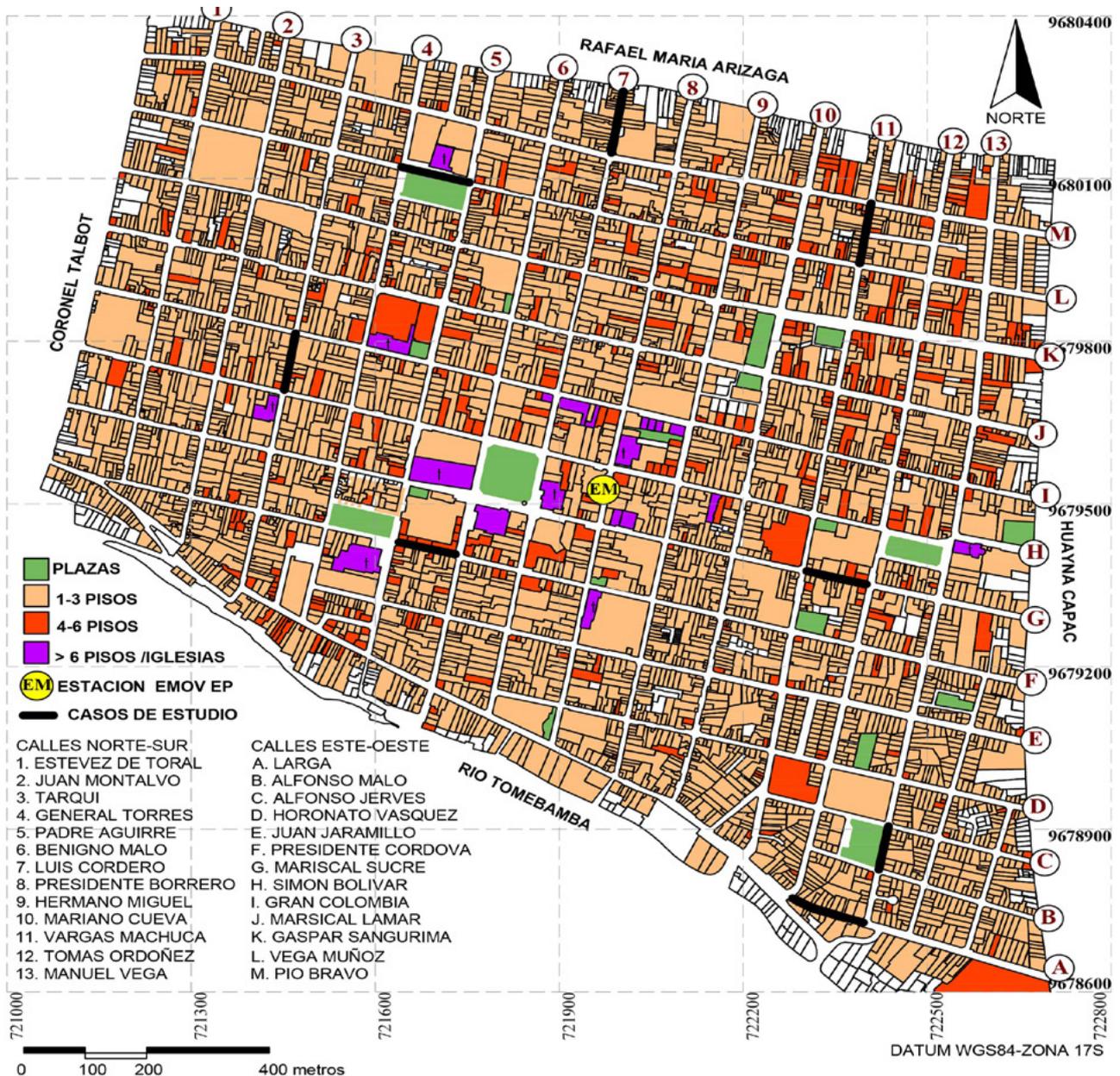


Figura 2. Mapeo de morfología en la unidad funcional del centro histórico de Cuenca.

Tabla 1. Variables climáticas promedio tomadas a 10 m en el período 2015-2018.

Mes	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Viento	
			Velocidad de Viento m/s	Dirección Predominante
enero	15,60	65,39	1,88	E, N*
febrero	15,90	65,78	1,90	E, S, N
marzo	15,65	70,35	1,75	E, S, N
abril	15,49	69,91	1,70	E, N
mayo	15,39	70,64	1,64	E, N
junio	14,86	65,20	1,89	N
julio	14,44	61,79	1,98	N
agosto	14,87	60,31	1,97	N
septiembre	15,13	59,86	1,92	E, N
octubre	15,39	62,30	1,93	S, N
noviembre	15,27	58,82	2,06	S, N
diciembre	15,62	66,48	1,96	N

*E=este, N=norte, S=sur

mensuales como la temperatura, humedad relativa y del viento (Tabla 1). Esta última variable caracteriza el estudio de la morfología porque las direcciones predominantes siguen orientaciones de la trama de estudio tanto en sentido norte-sur como en este-oeste.

Debido a que la variación mensual en la temperatura

no supera los 2 °C y el viento no modifica su intensidad, se requiere una caracterización climática horaria que puede centrarse en el mes de noviembre con mayor intensidad de viento. Para ello se gráfica los valores horarios de las variables: temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección de viento (Figura 3). Estos datos horarios muestran variación

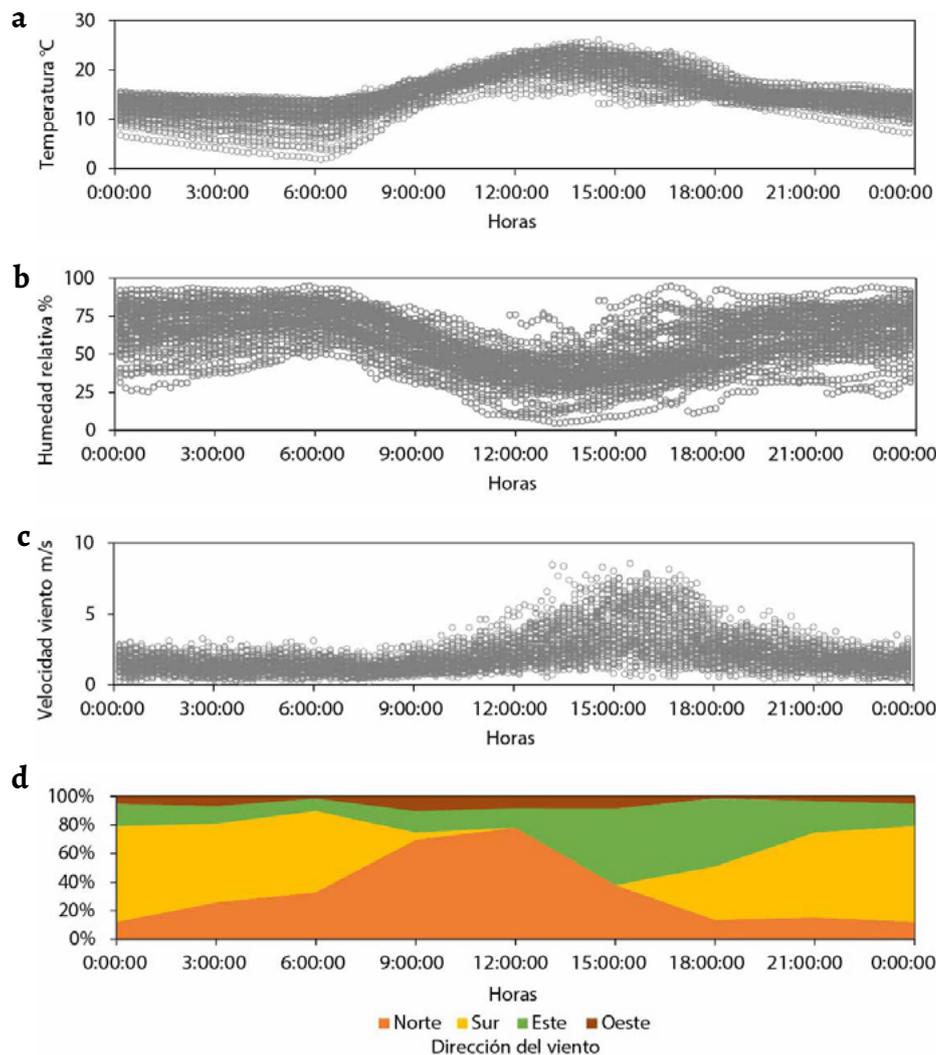


Figura 3. Variables climáticas promedio horarias (2015-2018) para el mes de noviembre: a) Temperatura; b) Humedad relativa; c) Velocidad del viento; d) Dirección del viento. Fuente: elaboración a partir de datos de la EMOV EP.

térmica superior a los 10 °C, y variación de la intensidad de viento en 5 m/s.

Por otra parte, el estudio puede delimitar el periodo de análisis en relación con horas de mayor actividad humana e ingreso y salida de sol, que significa ganancias térmicas. Entonces se aborda el periodo de 6 h a 18 h, mediante horas de análisis en: la mínima temperatura registrada a las 6 h con viento proveniente del sur; la máxima temperatura registrada a las 15 h con viento desde el este; y se evalúa a las 12 h con mayor porcentaje de viento desde el norte (Figura 3d).

Análisis del viento y cálculo de la temperatura aparente

La carga de viento que actúa sobre un edificio depende de la velocidad del viento, densidad de masa de aire, ubicación geográfica, forma y altura de los edificios y rigidez estructural. El tamaño, perfil y orientación del edificio hacia la dirección del flujo de viento tienen un impacto en la fuerza de arrastre. Es decir, la energía cinética del viento se convertirá en energía potencial, que tiene la forma de presión o succión en el edificio. Según el tipo de edificio se puede determinar el valor de resistencia a un objeto mediante el coeficiente de arrastre [20, 29], como se menciona en la expresión (1).

$$C_d = \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \quad (1)$$

Donde,

C_d = Coeficiente de arrastre

F_d = Fuerza de arrastre que actúa en la dirección de flujo del fluido (N)

ρ = La densidad del aire para condiciones de agua a temperatura normal (1.2 kg/m³)

v^2 = velocidad del fluido (m/s)

A = Area del objeto que se atraviesa (m²)

El modelo matemático anterior es empleado en CFD, que nos permite visualizar el efecto del viento basándose en la velocidad actuante del sitio, geometría y orientación del edificio estudiado. Primero, se usa el *software* Flow Design que simula el túnel de viento. Tal sistema aplica situaciones de régimen incomprensible de baja velocidad, mediante métodos numéricos y modelos de turbulencia. En cuanto al uso de la interfaz, se siguen recomendaciones como el correcto uso de las unidades, y dimensionamiento del túnel del viento, para la obtención de resultados confiables [30].

En segundo lugar, los valores obtenidos en las simulaciones sirven para definir la temperatura aparente para un clima templado [31]. En este sentido se pueden utilizar dos expresiones, en donde la primera define una situación de sombra, mientras la segunda define una situación con sol (radiación).

La expresión (2) evalúa el efecto del viento en la temperatura aparente para situación en sombra (Tpv).

$$T_{pv} = -2,7 + 1,04 T + 2,0 P - 0,65 v \quad (2)$$

Donde,

T = Temperatura de bulbo seco (°C)

v = Velocidad del viento (m/s) en una elevación de 10 m

p = Presión del vapor de agua (kPa) (humedad)

P se calculó por medio de la fórmula (3)

$$P = \left(\frac{rh}{100} * 6,105 * e^{\frac{17,27 \cdot T}{237,7 + T}} \right) / 10 \quad (3)$$

Donde,

rh = Humedad relativa (%)

Por otro lado, la expresión (4) evalúa el efecto del viento en la temperatura aparente para sol, (Tpv_g), es decir con ganancias solares.

$$T_{pv_g} = -1,8 + 1,07 T + 2,4 P - 0,92 v + 0,044 Q_g \quad (4)$$

Donde,

Las variables T , P y v son las señaladas anteriormente.

Q_g = Radiación neta absorbida por unidad de área de superficie corporal (W/m²)

En las situaciones de la presente investigación, se consideró la radiación para las horas próximas al medio día entre 12 y 15 h que pueden penetrar con facilidad los cañones urbanos. Se usa un valor referencial Q_g de 91 W/m² [31], debido que las ganancias por la superficie de piel son mediante el rostro y extremidades descubiertas y que depende también del albedo de la vestimenta y su capacidad para ganar calor.

Definición de las morfologías y periodos de evaluación

Basándose en las consideraciones anteriores se recrean modelos mediante ordenador con datos de mediciones in situ que definen la vía y las fachadas, y cuya proyección de los edificios permita la evaluación del viento. Los modelos pueden definir diferentes valores del ratio H/W y el ingreso solar según hora de simulación (Figura 4).

En el escenario local, Ochoa de la Torre [32] señala que la trama urbana puede entenderse como un complejo sistema que puede sintetizarse a partir de entender subsistemas como calle, plaza y vegetación. Esta última clasificación puede ayudar a la selección de casos de estudio.

A partir de las consideraciones anteriores se plantea casos de estudio por orientaciones norte-sur (Figura 5) y este-oeste (Figura 6) con longitudes igual al lado de una manzana de acuerdo con ratios H/W de valores inferiores a 0,25 (predominio de lo horizontal) hasta valores de 1,5 (predominio de lo vertical). Las Figura 5 y Figura 6 también consideran la hora de simulación y empleo de T_{pv} y T_{pv_g} . Además, en la Figura 7 se muestran todos los casos estudiados dentro del tejido urbano, los cuales son agrupados por hora de simulación, dirección y velocidad de viento.

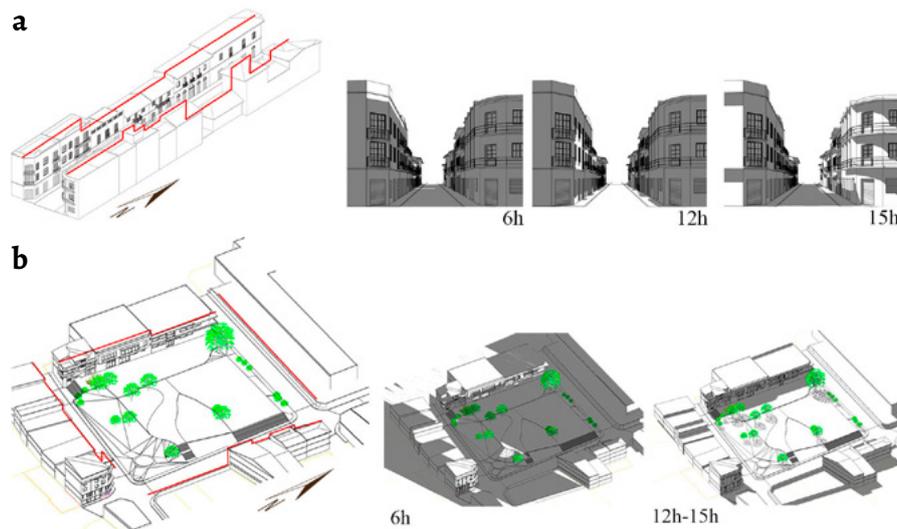


Figura 4. Tipologías de cañón y horas de estudio: a) Cañón tipo calle: a la izquierda variación de morfología por altura y derecha incidencia de radiación por horas; b) cañón tipo Parque: a la izquierda variación de morfología por altura y derecha incidencia de radiación por horas.

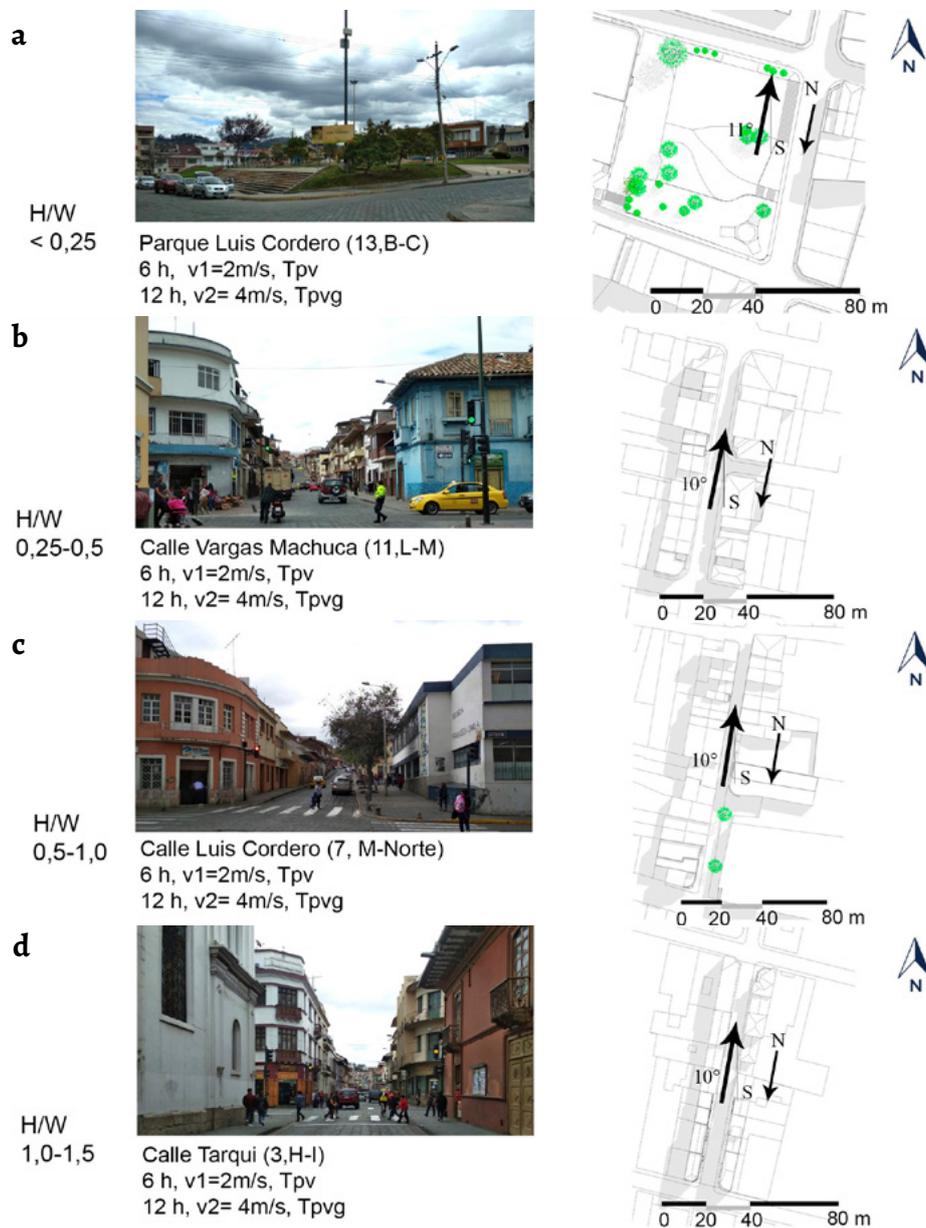


Figura 5. Casos de estudio en el sentido norte-sur. A la izquierda vista de la calle y a la derecha planta: a) Parque Luis Cordero; b) Vargas Machuca; c) Luis Cordero; y d) Tarqui.

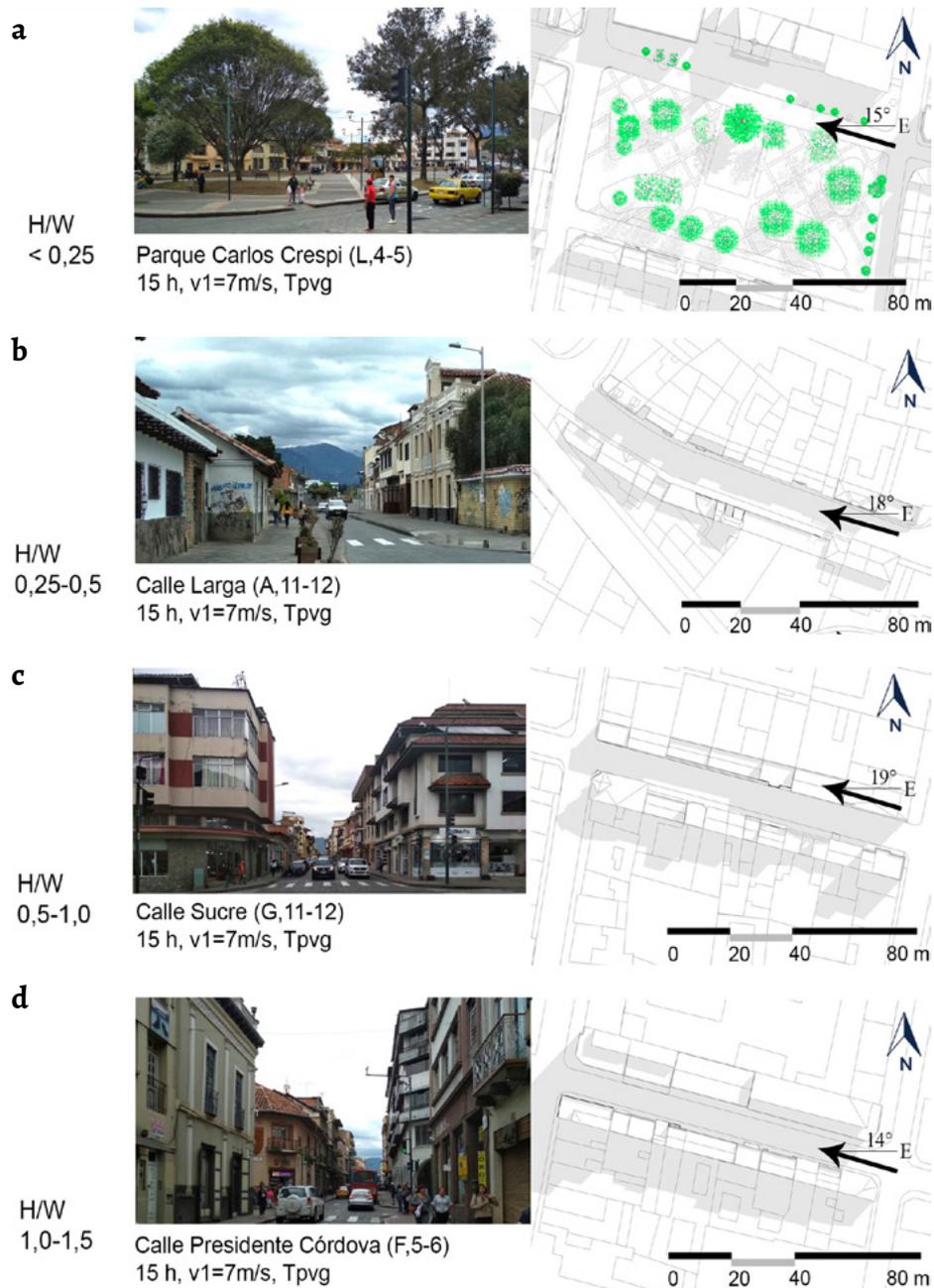


Figura 6. Casos de estudio en sentido este-oeste. A la izquierda vista de la calle y a la derecha planta: a) Parque Carlos Crespi; b) Larga; c) Sucre; y d) Presidente Córdova.

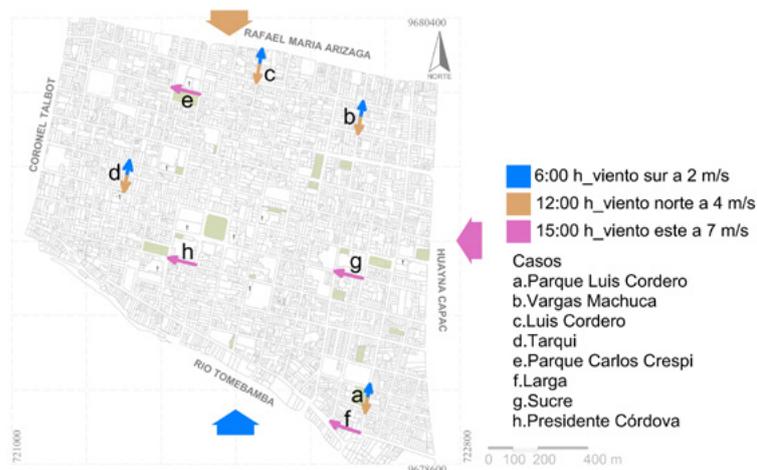


Figura 7. Planta del tejido urbano y casos de estudio según incidencia de viento por horas.

Resultados y Discusión

En el primer grupo de cañones de las 6 h, con orientación norte-sur, velocidades de 2 m/s y viento proveniente del sur (Figura 8) se obtienen los siguientes comportamientos. El parque Luis Cordero (Figura 8a) no mostró el ingreso homogéneo del viento debido a las obstrucciones de edificios y también a la presencia de vegetación que puede alcanzar alturas de hasta 15 m. Además, el parque presenta

un desnivel respecto a las vías de la parte sur que dificulta el paso del viento.

Los cañones tipo calle (6 h) al coincidir su orientación con la dirección del viento, permiten su fácil acceso debido a la homogeneidad en la sección de las calles: Vargas Machuca, Luis Cordero y Tarqui, mostradas respectivamente a la izquierda de las Figura 8b-d. Este encauzamiento del viento se rompe parcialmente cuando existe una circulación lateral o espacio abierto que ocasiona la pérdida de velocidad de

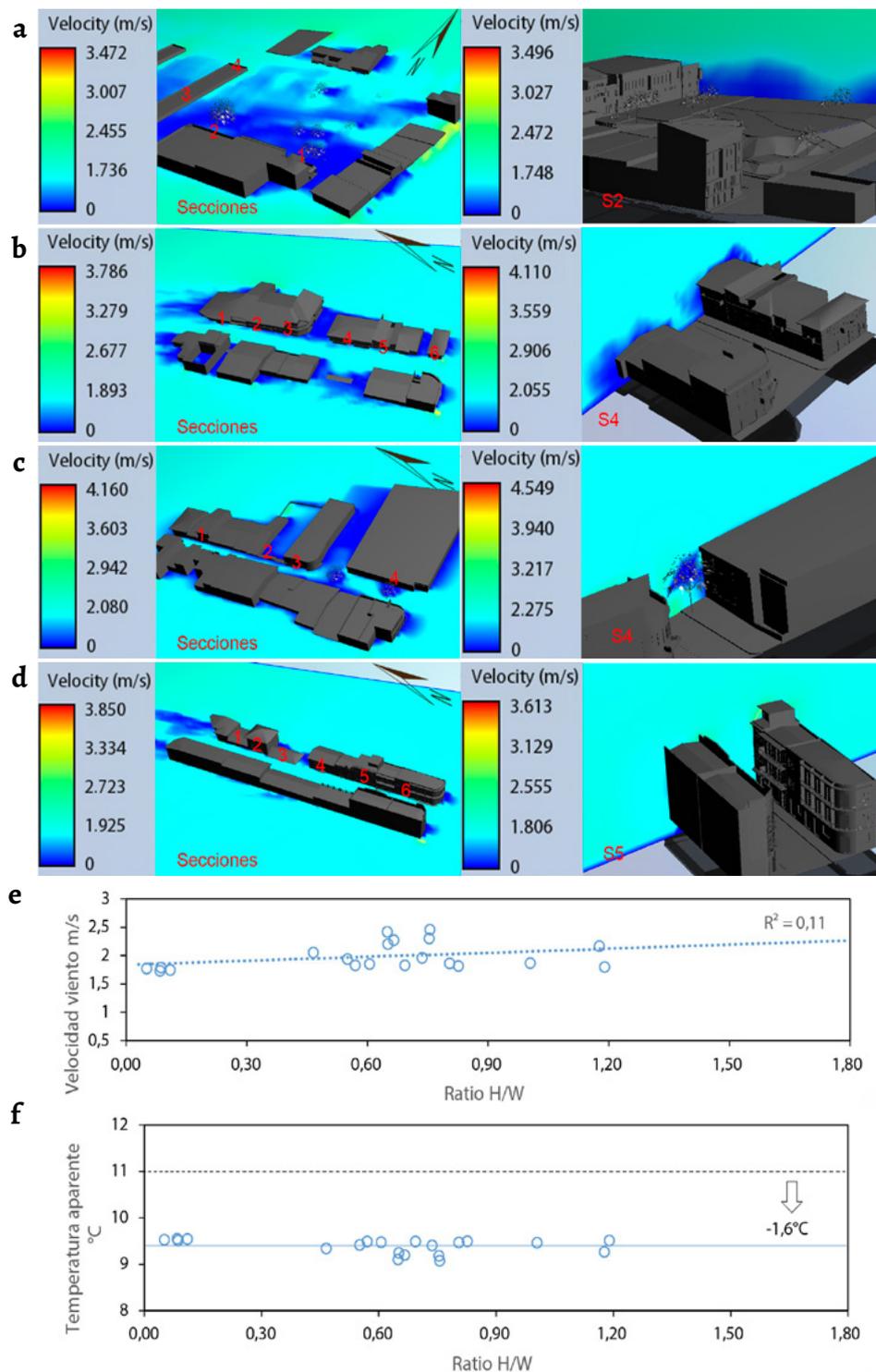


Figura 8. Simulaciones de los cañones urbanos a las 6 h en el sentido norte-sur con viento a 2 m/s desde la dirección sur. A la izquierda corte horizontal y a la derecha un ejemplo de sección vertical respectivamente: a) Parque Luis Cordero; b) Vargas Machuca; c) Luis Cordero; d) Tarqui. e) Velocidad de viento vs H/W; y f) Temperatura aparente vs ratio.

viento hacia el mismo. Tal acción se puede observar en la calle Luis Cordero (Figura 8c).

Las secciones verticales mostradas a la derecha de la Figura 8 ayudan a distinguir el efecto del viento por incrementos o decrementos de la velocidad cuando varía la altura (ratio H/W). Este último comportamiento se ejemplifica para el tramo de la calle Tarqui (Figura 8d) cuya sección en la parte superior y sur de los edificios (3 pisos) supera la intensidad de simulación (2 m/s). También, se observa en general que cuando el viento fluye perpendicular a los edificios o a sus elementos, este

adquiere un valor próximo a cero (color azul oscuro según gráficas). Adicionalmente, el caso Luis Cordero presenta vegetación hacia el lado sur-oeste del mismo, cuya obstrucción delimita una menor sección de paso del viento que modifica su velocidad (Figura 8c).

Finalmente, la Figura 8e muestra que el primer grupo de casos estudiados tiene en promedio un R^2 de 0,11, mientras la Figura 8f muestra que el promedio de temperatura aparente desciende en 1,6 °C respecto a la temperatura en dicha hora (11 °C). Es decir a esta hora el efecto del viento genera enfriamiento.

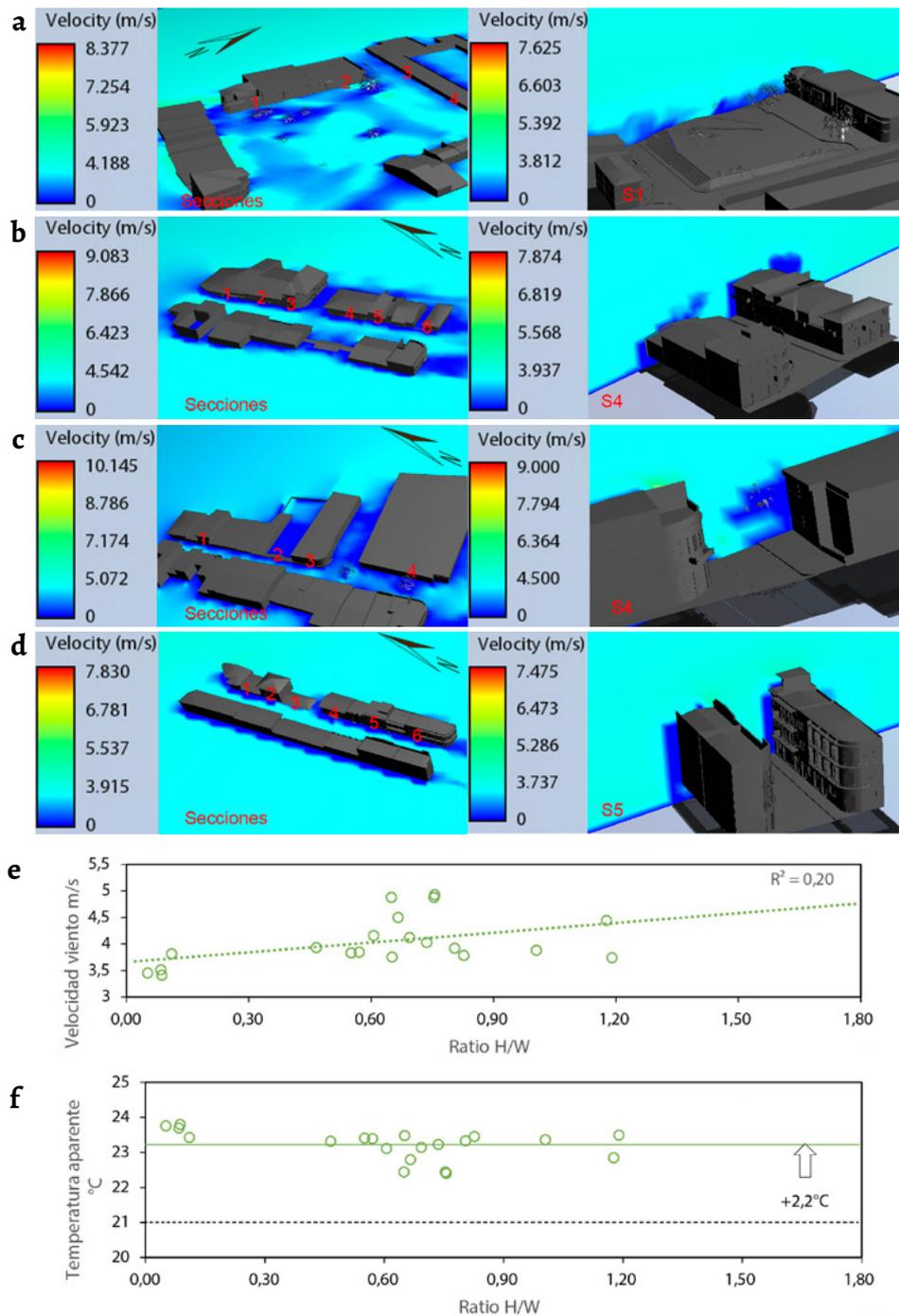


Figura 9. Simulaciones de viento en los cañones urbanos estudiados a las 12 h en el sentido norte-sur con viento a 4 m/s desde la dirección norte. A la izquierda el corte horizontal y a la derecha un ejemplo de sección vertical respectivamente: a) Parque Luis Cordero; b) Vargas Machuca; c) Luis Cordero; d) Tarqui; e) Velocidad de viento vs H/W; y f) Temperatura aparente vs ratio.

El segundo grupo de cañones de las 12 h, con orientación norte-sur, velocidades de 4 m/s y con viento proveniente del norte (Figura 9), señala los siguientes resultados.

En el caso del parque Luis Cordero la vegetación sigue aportando una obstrucción importante, mientras que el acceso del viento al interior del parque fluye con menos dificultad (Figura 9a), ya que ahora proviene desde el norte cuyo desnivel es menor respecto al sur.

Por su parte en las calles: Vargas Machuca, Luis Cordero y Tarqui, el viento penetra sin dificultad el interior del mismo, como se muestra respectivamente a la izquierda de las Figura 9b-d. Conjuntamente, en las secciones verticales mostradas a la derecha de las Figura 9b-d, se encuentra un comportamiento similar al descrito en el primer grupo de 6 h, pero con la característica de que se obtiene velocidades mayores al medio día.

La Figura 9e muestra que el segundo grupo de análisis (12 h) obtiene en promedio un R^2 de 0,20, en tanto que en la Figura 9f muestra que el promedio de temperatura aparente aumenta en 2,2 °C, respecto a la temperatura en dicha hora (21 °C). Esta segunda tendencia señala que el efecto del viento es inferior frente a las ganancias térmicas por radiación.

El último grupo de cañones (15 h) simuló casos en la segunda dirección característica de la zona de estudio (este-oeste) con velocidad de viento de 7 m/s y procedencia este. El cañón tipo parque (Carlos Crespi) mostrado en la Figura 10a, destaca la vegetación cuyos elementos alcanzan alturas de hasta 20 m, y al estar distribuidos en la superficie del parque provocan dificultad en el acceso del viento al interior. Además, en este caso la presencia de desniveles es mínima hacia el lado de la vía principal este-oeste.

Los casos tipo calle (este-oeste): Larga, Sucre y Presidente Córdoba, (izquierda de las Figura 10b-d) mostraron un flujo de viento constante en el cañón, mientras que las secciones verticales presentaron intensidades de viento superiores a mayor altura, como en la calle Presidente Córdoba (Figura 10d).

Finalmente, la Figura 10e muestra que el tercer grupo de estudio (15 h) tienen en promedio un R^2 de 0,44, mientras que la Figura 10f muestra que el promedio de temperatura puede ascender (4,6 °C) y descender (4,3 °C) respecto a la temperatura en dicha hora (21 °C). Este último grupo muestra las tendencias de los grupos anteriores para enfriamiento y ganancia térmica.

Después de haber descrito las gráficas de simulación de viento, se resume un primer análisis de la relación entre la geometría e intensidad del viento. En general, se muestra una tendencia en los tres grupos de estudio que el viento puede intensificarse cuando la geometría tiene mayor verticalidad (mayor ratio H/W). Además, no se muestra una correlación fuerte entre la velocidad del viento y el ratio H/W, pero la correlación tiende a incrementarse a medida que aumenta la velocidad de viento (a 2 m/s tiene un R^2 de 0,11, a 4 m/s un R^2 de 0,2 y a la velocidad de 7 m/s adquiere un R^2 de 0,44).

Por otra parte, la caracterización del microclima del entorno histórico de Cuenca empleó la temperatura aparente

a partir del efecto del viento. Esta expresión consideró: temperatura ambiente, velocidad de viento, humedad relativa y ganancias térmicas por radiación según horas de estudio. Los resultados de temperatura aparente se resumen en enfriamientos o calentamientos.

El primer comportamiento, muestra a cañones que se enfrían por el efecto del viento, pero sin ganancias por radiación. Este fenómeno se da en los casos simulados a las 6 h y 15 h, en donde los primeros disminuyen la temperatura en promedio de 1,6 °C, mientras el grupo de las 15 h con una mayor velocidad de simulación alcanza un decremento de hasta 4,3 °C para los casos tipo calle ($H/W > 0,25$). Así, la primera tendencia mostró que una mayor intensidad de viento disminuye la temperatura (sensación térmica).

El segundo comportamiento, muestra el incremento de calor cuando las ganancias por radiación son mayores, o porque la intensidad de viento no es suficiente para disminuir tal sensación. Esto se observó en los casos evaluados de 12 h y 15 h con temperaturas similares. El grupo de las 12 h mostró una menor intensidad de viento, pero facilita el ingreso solar de forma que se produce un incremento en la sensación térmica en promedio de 2,2 °C. Por su parte, en el caso de las 15 h, en el cañón tipo parque con ratio H/W menor a 0,25 también facilita las ganancias de radiación provocando un incremento térmico de 4,6 °C en la sensación térmica.

Los comportamientos anteriores sugieren que las obstrucciones por morfología en cañones tipo calle pueden tener un mejor control térmico que también dependerá de la orientación, mientras que los espacios abiertos como plazas pueden tener menor control en horas próximas al medio día. De forma seguida, la presente investigación de Cuenca se puede comparar con otros estudios señalando similitudes y diferencias en la metodología y resultados.

Tumini [11] utiliza el software ENVI-met y el software Ecotect y gráfica los resultados de perfiles de viento y temperatura para casos de Madrid tanto en condiciones de verano como invierno. Este primer estudio destaca el periodo más crítico en verano y en horas cercanas a las 15 h en donde los cañones con bloques de edificaciones con menor paso libre impiden el fluir del viento, y por lo tanto la disipación del calor acumulado. En el caso de Cuenca las horas de mayor temperatura también coinciden en este periodo, aunque este comportamiento de clima con incrementos térmicos al medio día puede ser similar en todo el año.

Colomer [14], mediante el uso CFD Flow Vector de Ecotect evalúa el viento en tipologías morfológicas. Para ello considera una velocidad de viento de 3 m/s con dirección este, que muestra un fácil acceso de viento cuando el cañón sigue la dirección de procedencia del fluido. Pero cuando el viento entra perpendicular a los cañones disminuye de velocidad. El anterior estudio también muestra que la velocidad del viento es superior en perfiles de simulación a 20 m del suelo. En el caso de Cuenca, se tiene cuidado de evaluar solo casos que sigan la dirección del viento,

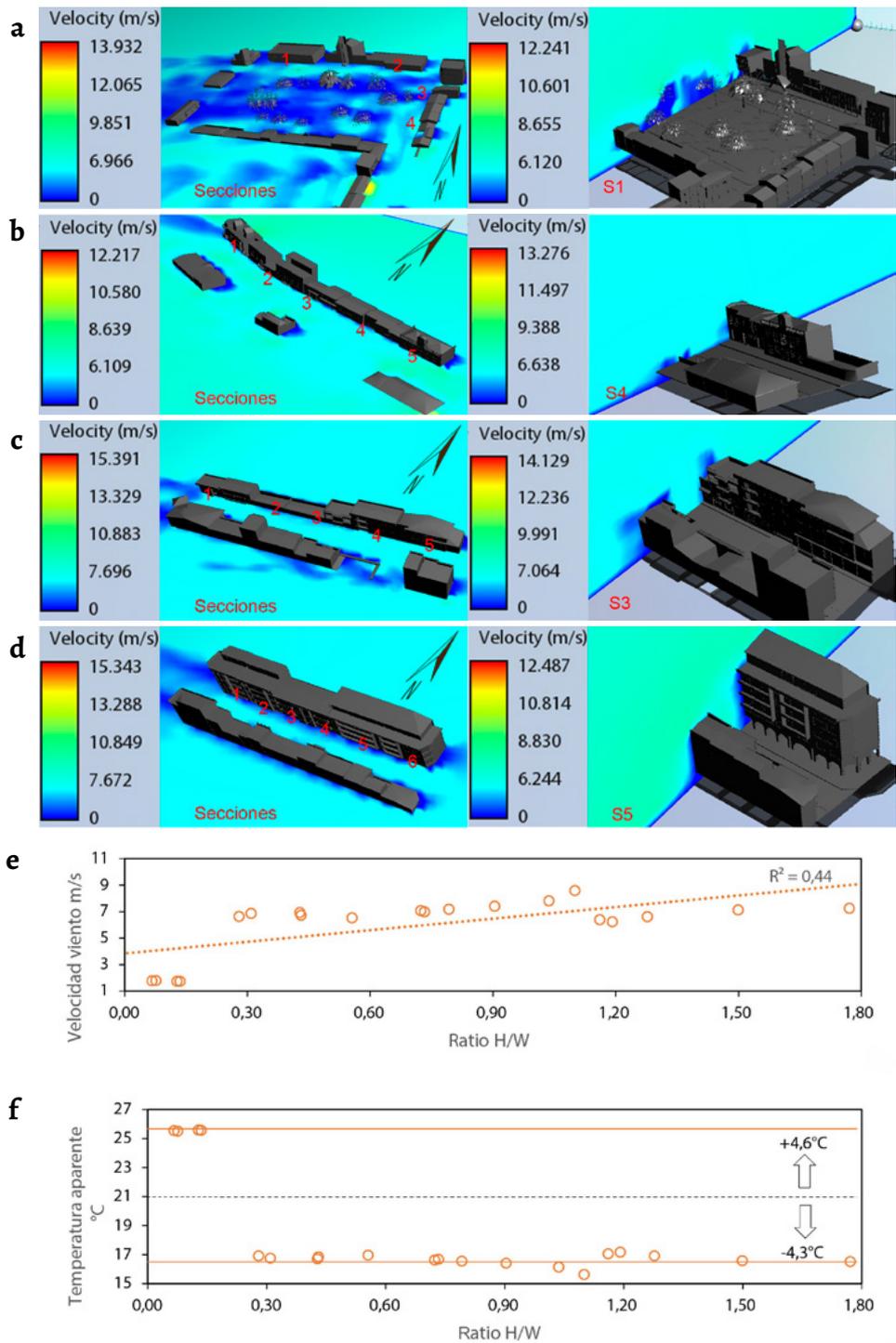


Figura 10. Simulaciones de viento en los cañones urbanos estudiados a las 15 h en el sentido este-oeste con viento a 7 m/s desde la dirección este. A la izquierda el corte horizontal y a la derecha un ejemplo de sección vertical respectivamente: a) Parque Carlos Crespi; b) Larga; c) Sucre; d) Presidente Córdova; e) Velocidad de viento vs H/W; y f) Temperatura aparente vs ratio.

ya que resulta limitado la evaluación del efecto desde una dirección opuesta a los cañones urbanos. Además, se encuentra una similar tendencia de que el viento puede incrementarse mientras esté a mayor altura del suelo (perfil de simulación).

Por su parte Ambrosini [2], emplea el *software* ENVI-met, para simulaciones con viento promedio de 3 m/s y dirección norte que coincide con la dirección de morfología nortesur. Este estudio muestra que la distribución del viento es

menor cerca de los obstáculos en áreas pequeñas, mientras que en los espacios abiertos adquiere mayor velocidad que varía entre 0,2 m/s y 4,3 m/s. Esta tendencia de incrementos de la velocidad en espacios abiertos es similar para el caso de Cuenca, aunque el incremento de velocidad al interior de las morfologías es evidente cuando se aumenta la velocidad de simulación.

El estudio de Salvo [19], destaca un aspecto puntual para el estudio de Cuenca de que a mayor velocidad existe un

mayor desprendimiento de viento. Esto puede observarse en el efecto de las primeras edificaciones cuyas fachadas laterales están perpendiculares al sentido del viento y que al entrar en contacto modifican el flujo que incide sobre las siguientes edificaciones.

Para el estudio de Christen realizado en Basel [15], los resultados de los perfiles individuales de viento muestran una fuerte dependencia con la dirección del viento y estructuras de los edificios cuya forma del techo juega un papel importante en la incidencia del viento. Así los techos planos muestran un vórtice primario claro que se caracteriza por una mayor velocidad de viento en calle en comparación con el flujo de los techos inclinados. El centro histórico de Cuenca se caracteriza por la presencia de cubiertas inclinadas, sin embargo gran parte de las edificaciones evitan el efecto del mismo por los remates superiores, además de que no se puede apreciar cubiertas de inclinaciones pronunciadas. Por otra parte esta situación sugiere un mayor análisis para el caso de Cuenca, ya que básicamente se evalúa el efecto del viento al interior del cañón.

El estudio de Echave [16] para la ciudad de Madrid menciona que el tránsito peatonal junto a la fachada sur mejora la condición de confort, aunque el efecto de la vegetación mejora las condiciones de habitabilidad. En Cuenca la mayor variación térmica se da en los casos orientados este-oeste y cuyas fachadas de circulación son norte y sur. De esta forma el tránsito por las fachadas norte o sur son solo convenientes en horas de suficiente ventilación. Sin embargo, para evitar la radiación directa se deberá transitar por las fachadas este u oeste considerando la incidencia solar. Por otra parte, no se puede evaluar el efecto de habitabilidad a partir de la vegetación, pero se observa que esta última puede ser importante para limitar la acción del viento.

El estudio de Rajagopalan, Lim y Jamei [17], destaca que una mayor altura en las edificaciones obstruye el efecto del viento, que puede mermar la ventilación y ocasionar incrementos térmicos como islas de calor. A diferencia, de este estudio el centro histórico de Cuenca no dificulta el paso del viento porque esta zona se sigue caracterizando por su baja altura en edificación. Sin embargo, al interior de los cañones se puede identificar un efecto menor del viento para ventilar los mismos, lo que podría provocar incrementos térmicos o islas de calor.

La presente investigación de Cuenca con información de la estación principal del área de estudio permite estudiar intensidades máximas y direcciones de viento por horas para simular los modelos simplificados. Esta información referida al viento sigue la tendencia que la mayor hora de intensidad del mismo está próxima a las 15 h [9]. Además, se destaca el estudio de Rosas-Lusett [21] que advierte que entre las 12 h y 15 h se puede provocar un malestar ocasionado por el fácil acceso solar (situación a cuidar en las zonas cercanas al trópico).

Si bien el presente estudio de Cuenca se enfocó en las obstrucciones por edificaciones, también destaca a través

de los limitados casos la importancia de la vegetación como elementos de obstrucción similar a edificios. El estudio de Rodríguez Potes destaca esta última idea [18]. Por otra parte, Ochoa de la Torre [32] sugiere que el control del viento paralelo a las calles es limitado, mientras que el control del viento en las plazas se maneja con vegetación. También, señala que el viento al seguir la misma dirección del cañón produce un “encauzamiento” que puede provocar un efecto de ventilación. Este último comportamiento se observa en los casos de Cuenca, aunque este efecto puede ser mayor, si se incrementa la intensidad de viento.

Todo lo anterior muestra que las simulaciones (CFD) tanto en los cañones tipo calle como parque tienen similitud en correlaciones y tendencias, a pesar de que las condiciones de morfología difieran por entrantes y salientes definidas por las alturas de los edificios. También, se recrea a escala la morfología inmediata de cada cañón evaluando el ratio H/W. Además, los casos de parque con situaciones de desnivel y presencia de vegetación pueden complicar el estudio.

Finalmente en la Figura 11, se muestra una gráfica resumen de los casos de estudio en los que se destaca la sección evaluada en relación con la hora de simulación, dirección de viento e incidencia solar; elementos que sirven para obtener el promedio de la temperatura aparente en cada situación.

Conclusión

El presente estudio analizó un aspecto del microclima del centro histórico a través del viento, como un elemento poco abordado en esta zona sensible de la ciudad. Por otro parte, se estudia la geometría implícita en los cañones urbanos que contribuyen la modificación de la intensidad del viento y por tanto la variación de la temperatura aparente.

El estudio del cañón urbano constituye la unidad básica de análisis para escala peatonal que definido por sus obstrucciones morfológicas explícitas en sus dimensiones geométricas y junto a su disposición (orientación), son aspectos básicos para valorar criterios de diseño urbano, que deben delimitarse para cada contexto climático.

El esquema metodológico empleado ha mostrado ser adaptable a los casos estudiados, es decir ofrece la ventaja de evaluar simultáneamente la geometría de cañones urbanos mediante el uso de CFD, que básicamente exige datos de la intensidad y dirección predominante de viento. Además, se guarda un mismo nivel de altitud dentro del área de estudio para que los datos de la estación local puedan ser representativos en las simulaciones.

Basándose en los resultados cuantitativos se puede señalar que: los cañones norte-sur de las 6 horas muestran una disminución térmica no menor a 2 °C, mientras que los cañones de 12 horas muestran un incremento mayor de 2 °C. Así estos dos primeros casos muestran una oscilación térmica en 2 °C. Por otro lado, los cañones este-oeste de las

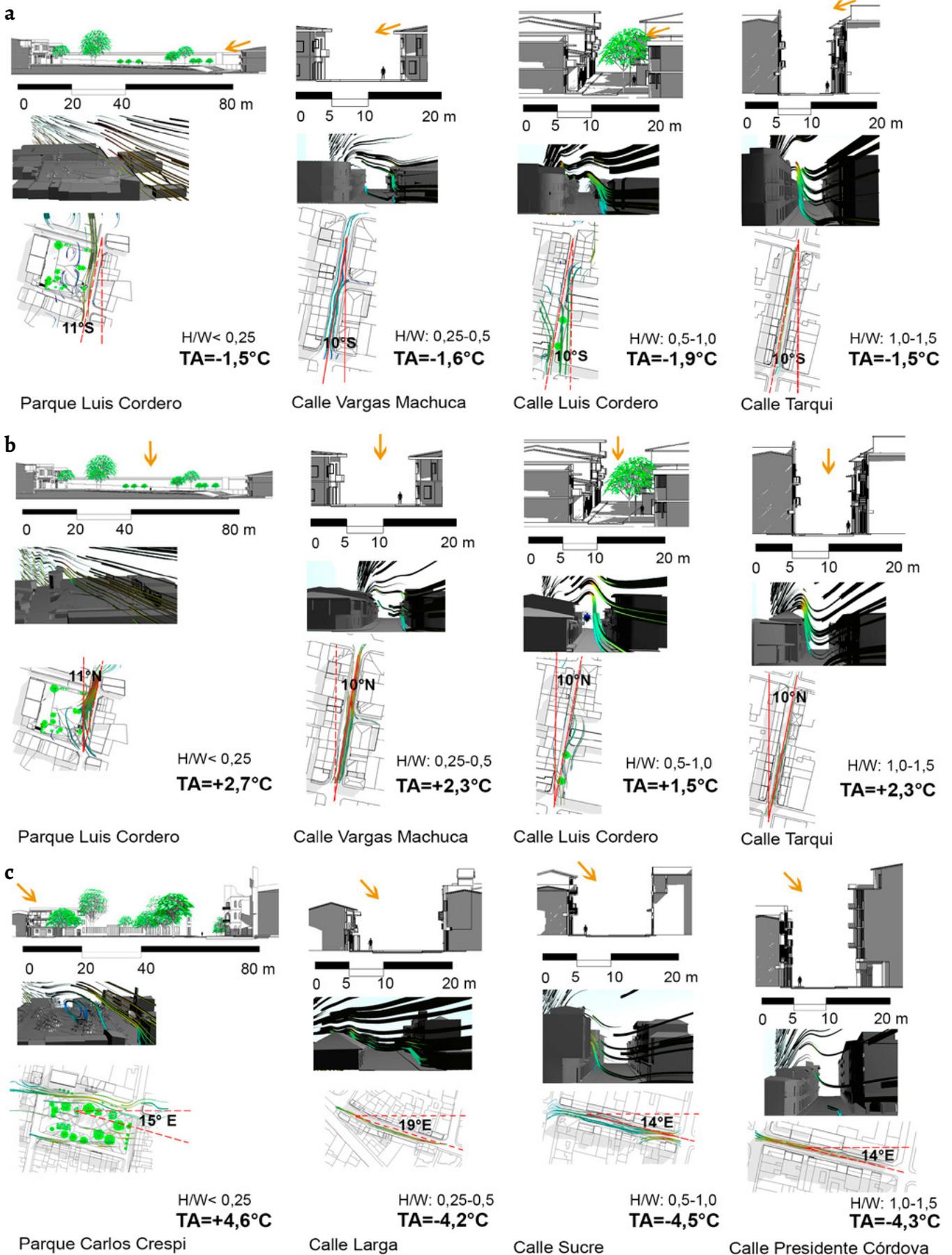


Figura 11. Temperatura aparente promedio según ratio H/W y orientación: a) Cañones de las 6 h con viento desde sur a 2 m/s; b) Cañones de las 12 h con viento desde norte a 4 m/s; y c) Cañones de las 15 h con viento desde este a 7 m/s.

15 h muestran la mayor oscilación térmica con incrementos y disminuciones de hasta 4 °C respecto a la temperatura promedio.

La modificación micro climática varía secuencialmente a lo largo del día, cuya velocidad del viento está relacionada con la capacidad de ventilación. En Cuenca las velocidades de viento por horas seleccionadas se incrementan de casi dos veces respecto a la hora anterior de análisis, es decir: a las 6 h (2 m/s), a las 12 h (4 m/s) y a las 15 h (7 m/s). Esta última proporción se muestra similar en la modificación de la temperatura aparente: 6 h (-2 °C), 12 h (+2 °C) y 15 h (+4 °C). Es decir por cada vez que se duplica la velocidad, se duplica la capacidad para modificar la temperatura aparente.

De esta consideración se deriva una pauta de diseño a partir de la priorización de la dirección del viento por horas, en donde la menor oscilación térmica en sentido nort-sur sugiere espacios de menor control, mientras que la mayor oscilación térmica en los casos de sentido este-oeste sugieren mayor cuidado. Entonces la variabilidad diaria del viento por horas tanto en intensidad como dirección es fundamental para el estudio de asentamientos similares (sierra ecuatoriana) que con el esquema metodológico propuesto, valora la situación bioclimática de la ciudad.

Adicionalmente, la modificación del microclima del centro histórico de Cuenca puede sugerir dos afectaciones inmediatas. Primero, el malestar del peatón, efecto que puede verse intensificado si se considera al centro histórico como: la zona más densamente poblada de la ciudad, zona con menor superficie permeable o área verde, y como zona que presenta mayor conflicto vehicular. Segundo, estas modificaciones inciden en el balance térmico general que puede afectar el aspecto físico de los entornos patrimoniales, y por lo tanto generar vulnerabilidad en las fachadas y cubiertas por su exposición directa. Finalmente, los centros patrimoniales además de su valor histórico y estético también deben ser estimados por su valor ambiental.

REFERENCIAS

1. Markham, A.; Osipova, E.; Lafrenz Samuels, K.; Caldas, A., *World Heritage and Tourism in a Changing Climate*, United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris (2016), <http://whc.unesco.org/document/139944> (acceso en 2020-01-20).
2. Ambrosini, D.; Galli, G.; Mancini, B.; Nardi, I.; Sfarra, S., 'Evaluating mitigation effects of urban heat islands in a historical small center with the ENVI-Met Climate Model', *Sustainability* **6**(10) (2014) 7013-7029, <https://doi.org/10.3390/su6107013>.
3. Bustamante, C.; Higuera García, E.; Ogino Altamirano, P. K., 'Estrategia Metodológica para la Visualización Digital de Patrones Aerodinámicos Presentes en la Morfología Urbana y su Incidencia en el Uso Estancial de los Espacios Públicos', in *XVII Congreso de La Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, SIGraDi*, (2013) 108-111, <http://oa.upm.es/29899/> (acceso en 2020-01-20).
4. Foresti, L.; Pozdnoukhov, A., 'Exploration of alpine orographic precipitation patterns with radar image processing and clustering techniques', *Meteorological Applications* **19**(4) (2012) 407-419, <https://doi.org/10.1002/met.272>.
5. Fries, A.; Rollenbeck, R.; Bayer, F.; Gonzalez, V.; Oñate-Valivieso, F.; Peters, T.; Bendix, J., 'Catchment precipitation processes in the San Francisco valley in southern Ecuador: combined approach using high-resolution radar images and in situ observations', *Meteorology and Atmospheric Physics* **126** (1-2) (2014) 13-29, <https://doi.org/10.1007/s00703-014-0335-3>.
6. Sarricolea, P.; Martín-Vide, J., '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) (2014) 123-141, <https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000100009>.
7. Bustamante, C.; Jans, M.; Higuera, E., 'El comportamiento del viento en la morfología urbana y su incidencia en el uso estancial del espacio público, Punta Arenas, Chile', *Revista AUS* **15**(primer semestre) (2014) 28-33, <https://doi.org/10.4206/aus.2014.n15-06>.
8. Theeuwes, N. E.; Steeneveld, G. J.; Ronda, R. J.; Heusinkveld, B. G.; Van Hove, L. W. A.; Holtslag, A. A. M., 'Seasonal dependence of the urban heat island on the street canyon aspect ratio', *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **140**(684) (2014) 2197-2210, <https://doi.org/10.1002/qj.2289>.
9. Bustamante, A., 'Caracterización de la isla de calor urbana por efectos de la morfología en la ciudad andina de Cuenca, Ecuador', *Dissertação de mestrado*, Universidad de Cuenca, Cuenca (2017), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27976> (acceso en 2020-01-20).
10. Venegas-Quintulén, S. A.; Piderit-Moreno, M. B., 'Reflectancia de las envolventes verticales y su influencia sobre disponibilidad de luz natural en el cañón urbano de la ciudad de Concepción', *Hábitat Sustentable* **8**(1) (2018) 06-15, <https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.01.01>.
11. Tumini, I., 'El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudios de casos en Madrid', *Dissertação de doutoramento*, Departamento Urbanística y Ordenación del Territorio, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid (2013), <http://oa.upm.es/14893/> (acceso en 2020-01-20).
12. López Bautiwsta, V.; Villaseñor Perea, C. A.; López Canteñs, G. de J.; Carrillo García, M.; Cervantes Osornio, R., 'Análisis de coeficientes de la fuerza del viento y comportamiento del flujo sobre un modelo de invernadero', *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* **7**(4) (2016) 821-832, http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000400821&lng=es&nrm=iso (acceso en 2020-01-20).
13. Ai, Z. T.; Mak, C. M., 'CFD simulation of flow in a long street canyon under a perpendicular wind direction: Evaluation of three computational settings', *Building and Environment* **114**(March) (2017) 293-306, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.032>.
14. Colomer, J., 'Tejidos urbanos de morfología densa y compacta: Estudio ambiental y energético del ensanche de Valencia', *Dissertação de doutoramento*, Departamento de Urbanismo, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia (2016), <https://riunet.upv.es/handle/10251/62172> (acceso en 2020-01-20).
15. Christen, A., 'Atmospheric turbulence and surface energy exchange in urban environments: results from the Basel Urban Boundary Layer Experiment (BUBBLE)', *Dissertação*

- de doctoramento, Departamento de Ciencia Ambiental, Universidad de Basel, Basel (2005), <https://edoc.unibas.ch/228/> (acceso en 2020-01-20).
16. Echave, C., 'La reconciliación de la escala urbana', *Ide@ Sostenible* **15**(Junio) (2006), https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/2255/Reconciliaci%C3%B3n%20de%20la%20escala%20urbana_orig.pdf (acceso en 2020-01-20).
 17. Rajagopalan, P.; Lim, K. C.; Jamei, E., 'Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city', *Solar Energy* **107**(September) (2014) 159-170, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.042>.
 18. Rodríguez Potes, L., 'Efectos de los árboles sobre el viento en el medio urbano', *Revista Módulo* **1**(9) (2010) 131-144, <https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/122> (acceso en 2020-01-20).
 19. Salvo, N., Molina, V.; Villena, M., 'Análisis bidimensional del efecto del viento sobre un grupo de viviendas', *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente* **8**(2) (2004) 49-54, <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2004/2004-1008-a008.pdf> (acceso en 2020-01-20).
 20. Amri, S.; Syukur, L., 'Analisis aliran angin pada atap miring melalui uji simulasi Flow Design', *Langkau Betang: Jurnal Arsitektur* **4**(2) (2017) 136-143, <http://dx.doi.org/10.26418/lantang.v4i2.23252>.
 21. Rosas-Lusett, M.; García, V. M., 'La influencia de la configuración de los cañones urbanos en el confort del peatón', *Nova Scientia* **6**(11) (2013) 228-253, <https://dx.doi.org/10.21640/ns.v6i11.81> (acceso en 2020-01-20).
 22. Badas, M. G.; Ferrari, S.; Garau, M.; Querzoli, G., 'On the effect of gable roof on natural ventilation in two-dimensional urban canyons', *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* **162**(January) (2017) 24-34, <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.01.006>.
 23. Ai, Z. T.; Mak, C. M., 'From street canyon microclimate to indoor environmental quality in naturally ventilated urban buildings: Issues and possibilities for improvement', *Building and Environment* **94**(Part 2) (2015) 489-503, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.10.008>.
 24. Carrasco, C.; Palme, M.; Gálvez, M., 'Factor de cielo visible y el efecto de isla de calor en Valparaíso', *Revista Urbano* **19**(34) (2016) 26-33, <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/2614> (acceso en 2020-01-20).
 25. Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F., 'World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated', *Meteorologische Zeitschrift* **15**(3) (2006) 259-263, <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.
 26. Gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón Cuenca, 'Plan de Movilidad y Espacios Públicos', in *GAD municipal del cantón Cuenca*, Tomo III, (2015), <https://hackathon.cedia.edu.ec/dmdocuments/INNOVACION/RETO/www.cuenca.gob.ec-2.pdf> (acceso en 2020-06-06).
 27. Carrasco, C., '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', *Dissertação de doutoramento*, Departamento de Construccions Arquitectòniques I, Universidad Politècnica de Catalunya, Valparaíso, Barcelona (2008), <https://www.tdx.cat/handle/10803/51572>.
 28. EMOV EP. 'Datos meteorológicos horarios período: 2015-2018', Cuenca (2019)
 29. Renold Elsen, S.; Jegadeesan, K.; Ronald Aseer, J., A Comparative Study of Flow Characteristics of BMW M6 and AUDI R8 Commercial Sports Car Using Flow Design Software, in *The International Conference on Advances in Manufacturing Technology*, ed. S. Hiremath, N. Shanmugam, B. Babu, Springer, Singapore (2019) 243-253, https://doi.org/10.1007/978-981-13-6374-0_29.
 30. Becerra Fernández, J., 'Validación del programa Flow Design para la obtención de cargas estáticas equivalentes de viento, estudio comparativo entre ensayos de túnel de viento reales, simulados y datos obtenidos por normativa', *trabajo de fin de curso*, Departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno, Universidad de Sevilla, Sevilla (2017), <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/64965> (acceso en 2020-06-06).
 31. Steadman, R., 'A universal scale of apparent temperature', *Journal of Climate and Applied Meteorology* **23**(December) (1984) 1674-1687, [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<1674:AUSOAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<1674:AUSOAT>2.0.CO;2).
 32. Ochoa de la Torre, J., 'La vegetación como instrumento para el control microclimático', *Dissertação de doutoramento*, Departamento de Construccions Arquitectòniques I, Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona (1999), <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93436> (acceso en 2020-06-06).

RECIBIDO: 2019.9.26

REVISTO: 2020.6.1

ACEPTADO: 2020.6.13

ONLINE: 2020.11.4



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.