

Recibido: 20-04-2018  
Aceptado: 14-05-2018

# INCIDENCIA DE LAS PLAZAS URBANAS SOBRE EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL ENTORNO EN ALTA DENSIDAD EDILICIA<sup>1</sup>: EL CASO DE LA CIUDAD DE MENDOZA, ARGENTINA.

THE INCIDENCE OF URBAN SQUARES ON THE THERMAL BEHAVIOR OF THE ENVIRONMENT  
IN AREAS OF HIGH BUILDING DENSITY: THE CASE OF THE CITY OF MENDOZA, ARGENTINA.

SUSANA STOCCO <sup>2</sup>  
MARIA ALICIA CANTÓN <sup>3</sup>  
ERICA NORMA CORREA <sup>4</sup>

- <sup>1</sup> El desarrollo de esta investigación contó con el financiamiento de el CONICET (Consejo Nacional de investigación Científica y Tecnológica) y a ANPCYT (Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica) por la financiación recibida para el desarrollo de esta investigación.
- <sup>2</sup> Arquitecta. Doctora en Ingeniería Civil, Mención Ambiental.  
Instituto de Ambiental, Hábitat y Energía (INAHE)  
Becaria posdoctoral, Instituto de Ambiental, Hábitat y Energía (INAHE).  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
sstocco@mendoza-conicet.gov.ar
- <sup>3</sup> Arquitecta. Diplomada en Arquitectura.  
Instituto de Ambiental, Hábitat y Energía (INAHE)  
Investigadora independiente, Instituto de Ambiental, Hábitat y Energía (INAHE)  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
macanton@mendoza-conicet.gov.ar
- <sup>4</sup> Ingeniera Química. Doctora en Ciencias, Área Energías Renovables.  
Instituto de Ambiental, Hábitat y Energía (INAHE)  
Investigadora independiente, Instituto de Ambiental, Hábitat y Energía (INAHE)  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
ecorrea@mendoza-conicet.gov.ar

DOI: <https://doi.org/10.22320/07183607.2018.21.37.08>

Las plazas concebidas bajo el concepto de “plaza jardín” - modelo dominante en las ciudades de Latinoamérica- generan efectos microclimáticos a escala urbana y edilicia dado que actúan como fuente de enfriamiento nocturno. En contextos de baja y media densidad, dicho efecto está asociado fundamentalmente al diseño de la plaza: núcleo central predominantemente semi-sellado alrededor del cual se distribuyen áreas verdes a modo de bosques y prados. Sin embargo, en el caso de la ciudad de Mendoza-Argentina, la tendencia a la redensificación del tejido urbano, como estrategia de control del crecimiento urbano, limita los beneficios que proporcionan las configuraciones actuales de plazas. Es por ello que este trabajo evalúa el impacto de incrementar la dimensión de la plaza en el comportamiento térmico de la misma y su influencia sobre el microclima del entorno mediato, como alternativa para potenciar sus beneficios en áreas urbanas de alta densidad. Con tal fin, se seleccionaron tres casos de estudio, dos de ellos de una superficie equivalente a una manzana urbana –10000m<sup>2</sup>–, emplazados en entornos de media y alta densidad, y un caso de mayor superficie -40000m<sup>2</sup>–, inserto en un contexto de alta densidad. Tales casos fueron monitoreados térmicamente en la estación verano, durante un periodo de 21 días, mediante el uso de microadquisidores de datos del tipo HOBO H08-003-02. Se caracterizaron las condiciones radiativas a partir de la determinación del factor de visión de cielo (SVF). Los resultados obtenidos muestran que, al incrementar las dimensiones de la “plaza jardín”, sus diferentes estructuras -núcleo central, bosque, prado- presentan menores temperaturas respecto a su entorno durante todo el día. En consecuencia, constituye una estrategia eficiente para mejorar las prestaciones del espacio abierto respecto a sus efectos microclimáticos en entornos urbanos de alta densidad. Si bien dicha variable no es posible de implementar en ciudades consolidadas, es una premisa a considerar en nuevos desarrollos urbanos.

**Palabras clave:** plaza urbana, diseño, densidad edilicia, comportamiento térmico.

Squares conceived of as “garden squares” - the dominant model in the cities of Latin America - generate microclimatic effects at the urban and building scales given that they act as a source of night cooling. In low- and medium-density contexts, this effect is fundamentally associated with the design of the square: a predominantly semi-sealed central core with surrounding green space including woods and lawns. However, in the case of the city of Mendoza, Argentina, the tendency to redensify the urban fabric as a strategy to control urban growth limits the benefits provided by current plaza configurations. Hence, this paper evaluates the impact of increasing the dimensions of squares on their own thermal behavior, and, their influence on the microclimate of the mediate environment as an alternative to enhance their benefits in high-density urban areas. To this end, three case studies were selected: two with areas equivalent to a city block, 10,000m<sup>2</sup>, located in medium- and high-density environments; and a third with a greater surface area, 40,000m<sup>2</sup>, in a high-density context. These cases were thermally monitored over a period of 21 days in the summer using HOBO H08-003-02 data loggers. Solar radiation conditions were characterized by determining the Sky-view Factor (SVF). The results show that by increasing the size of a “garden square,” its different structures - central core, woods, lawns - have lower temperatures compared to its surroundings throughout the day. Consequently, this is an efficient strategy to improve the benefits of open spaces with respect to their microclimatic effects in high-density urban environments. Although it is not possible to implement this variable in established cities, it is a premise to consider in new urban developments.

**Keywords:** urban square, design, building density, thermal behavior

## I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los espacios verdes han sido considerados una estrategia viable para mitigar los efectos negativos del metabolismo urbano sobre el hábitat humano (Reyes y Figueroa, 2010; Du *et al.* 2017 Sun *et al.* 2017). Numerosos estudios se refieren a los efectos que producen estos espacios sobre las condiciones ambientales de las ciudades (Chiesura, 2004; Yezioro, Capeluto y Shavivl, 2006), ya que afectan positivamente el ambiente térmico, la calidad del aire y el bienestar de las personas, entre otros factores, mejorando la calidad de vida del habitante urbano (Dimoudi y Nikolopoulou, 2003). Desde el punto de vista urbanístico, las ciudades incorporan espacios verdes públicos y privados de distintas categorías, tales como parques, plazas, paseos, arbolados en alineación que flanquean los límites de las manzanas urbanas y jardines.

De modo particular, las plazas urbanas constituyen lugares destinados a actividades de esparcimiento e interacción social, actuando como espacios vinculantes de las distintas actividades que se desarrollan en sus contextos de inserción. Y, al mismo tiempo, en función de su diseño e incorporación de vegetación, pueden generar efectos microclimáticos positivos a escala urbana y edilicia (Lenzholzer, 2012 Kariminia, Ahmad y Saber, 2015). Trabajos realizados a nivel internacional ponen en relevancia dichos efectos. Scudo y Dessi (2006), por ejemplo, manifiestan la necesidad de una combinación apropiada de materiales y vegetación, dándole importancia al uso de protecciones solares para proporcionar comodidad y propiciar el uso de las plazas como espacios urbanos de uso social para sus habitantes. Por otro lado, Lin (2009) señala la importancia de generar áreas de refugio mediante la presencia de arbolado o estructuras que generen sombras para la protección de la radiación solar; de esta forma, se garantiza el uso y permanencia de las personas en estos espacios. En este sentido, apunta al diseño de la plaza como factor de relevancia. Otros enfoques refieren al estudio de las condiciones de asoleamiento del espacio abierto en relación a un conjunto de variables. Así, Yezioro, Capeluto y Shavivl (2006) abordan el estudio de las condiciones de asoleamiento del espacio; evalúan proporción, orientación, perfil espacial, entre otros aspectos, con el fin de determinar cómo las diferentes proporciones de las plazas y alturas de los edificios influyen en la insolación de los espacios. Y concluyen expresando la importancia de parámetros de diseño para garantizar la condición de sombra en verano y la exposición solar en invierno.

Dichas investigaciones toman como objeto de estudio el modelo de plaza imperante en las ciudades europeas y norteamericanas. En el primer caso, el rasgo dominante es el de una estructura de espacio abierto sellada, con especies arbóreas aisladas o estructuras artificiales de sombreado distribuidas –generalmente– en forma regular. En el segundo, es decir, en las ciudades norteamericanas, la plaza se define como una “explanada” delimitada por edificios. Estos modelos de plazas son muy diferentes al concepto de plaza-jardín utilizado en nuestra región, donde la vegetación toma un papel importante en el diseño de la plaza, combinando distintas categorías de vegetación como: grupos de árboles de diferentes características, prados y superficies de material alternadas.

En concreto, la ciudad de Mendoza (Argentina) se encuentra en un contexto árido  $-32^{\circ} 40'$  Latitud Sur,  $68^{\circ} 51'$  Longitud Oeste–, a 750 metros sobre el nivel del mar. Se caracteriza por inviernos fríos y veranos calurosos. La temperatura promedio anual es de  $16.50^{\circ}\text{C}$ , la temperatura máxima promedio es de  $24.5^{\circ}\text{C}$  y la mínima promedio, de  $9.6^{\circ}\text{C}$ . Las lluvias son escasas: 25000 mm anuales. La cantidad e intensidad de radiación solar es elevada en verano ( $1022.0 \text{ W/m}^2$  máximos diarios) y cuenta con numerosos días de cielo claro (2762 horas anuales de sol). Los vientos son moderados y poco frecuentes, de velocidad promedio: 11 km/h con dirección sur-este (Aero Observations Mendoza, 2014). Su estructura urbana concentra la máxima verticalidad y densidad edilicia en el centro de la ciudad, presentando edificios con una altura máxima promedio de 12 pisos (factor de ocupación total,  $\text{FOT} \geq 4 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ); zona en la cual se albergan las principales actividades comerciales, administrativas y financieras. El modelo urbano-espacial que exhibe la ciudad es del tipo abierto y disperso, a diferencia de ciudades insertas en zonas áridas que son del tipo compactas con crecimiento vertical. Actualmente, la ciudad enfrenta desafíos asociados a un proceso de renovación de códigos de edificación orientados a promover el desarrollo en altura de las construcciones en las áreas consolidadas para limitar el crecimiento hacia las zonas productivas.

Tomando en consideración que el incremento de la densidad edilicia genera impactos negativos sobre la calidad del clima urbano –asociados al aumento del aporte de calor antropogénico por el uso de los sistemas de acondicionamiento térmico, el mayor tránsito vehicular y masa de acumulación térmica–, y atendiendo también a que la ciudad de Mendoza se caracteriza por una fuerte presencia de espacios vegetados, donde las plazas son espacios de relevancia (representan un 30% del total), es necesario analizar con profundidad el aporte de sus configuraciones actuales al comportamiento térmico de su entorno, en relación con el nuevo escenario de redensificación del tejido urbano. Se persigue, de este modo, determinar la eficiencia del diseño de estas plazas como atenuador de las condiciones térmicas del entorno mediato.

Estudios previos realizados a nivel local muestran que las plazas de la ciudad de Mendoza actúan en su mayoría como reguladoras de las condiciones térmicas del entorno construido, principalmente como fuente de enfriamiento nocturno para la ciudad (Stocco, Cantón y Correa, 2013). Por otro lado, se ha determinado el efecto que produce el entorno edilicio sobre el funcionamiento térmico y las condiciones de confort de las plazas, demostrando que en entornos de baja densidad estos últimos dependen estrictamente del diseño de las mismas. Desde este enfoque, se han definido los factores del diseño que producen mejoras significativas para plazas localizadas en baja y media densidad edilicia (construcciones de 1 a 3 pisos de altura) y media densidad edilicia (construcciones de 3 a 6 pisos de altura). Entre dichos factores, destacan la relación verde / sellado, la distribución de la vegetación respecto al recorrido solar y el sombreado de las superficies selladas. Sin embargo, en entornos de alta densidad es preciso evaluar el diseño de las plazas vinculado a otras variables, a fin de garantizar un impacto positivo sobre sus entornos mediatos (Stocco, Cantón y Correa, 2015).

Este trabajo aborda el estudio del comportamiento térmico de las plazas y su influencia sobre el microclima del entorno en distintos contextos de inserción con el objeto de dar respuesta a las transformaciones urbanas resultantes de las nuevas reformas al código de edificación. En particular, tiene como objetivo determinar el impacto de la variable dimensional de la plaza, atendiendo a la siguiente hipótesis: El tamaño de plaza derivado del esquema en cuadrícula del trazado urbano de la ciudad (1 ha) es insuficiente para mitigar la presión antrópica microclimática del entorno construido de alta densidad, con independencia del diseño de la misma.

El abordaje metodológico se basa en el monitoreo microclimático de un conjunto de casos representativos del diseño de plazas urbanas y sus entornos, siguiendo los lineamientos y protocolos trazados por la bibliografía internacional (Santamouri *et al.*, 1999; Oke, 2004; Ali-Toudert, 2005; Eliasson *et al.*, 2007), los que han sido empleados y validados en investigaciones previas, a nivel local, por el grupo de trabajo (Correa, De Rosa y Lesino 2006; Sosa, Correa y Cantón, 2016; Stocco; Cantón y Correa, 2013).

## II. METODOLOGÍA

Este apartado describe los elementos y métodos que se utilizaron para evaluar las condiciones térmicas de tres casos de estudio en la ciudad de Mendoza. Con este fin, se dispusieron estaciones fijas de monitoreo en el interior de las plazas y en sus entornos, durante 21 días de verano (18/01 al 7/02 de 2013), seleccionando un ciclo representativo de 24 horas para el análisis. La geometría de cada punto se determinó mediante el cálculo del factor de visión de cielo (SVF), lo que determina los factores que boquean la bóveda celeste y su relación con el recorrido solar para el día analizado.

### Localización de los casos de estudio y caracterización de su entorno urbano

Partiendo de un relevamiento y caracterización de los espacios verdes de la ciudad de Mendoza, se determinaron tres casos con características representativas de las plazas urbanas de la ciudad para su monitoreo. Los casos seleccionados fueron escogidos por su contexto de inserción, características del entorno, diseño y materialidad de cada plaza (Figura 1 y 2).

### Descripción de los casos de estudio

#### Caso 1: Plaza Chile

Se ubica en el centro de la ciudad de Mendoza, en un contexto de media densidad edilicia, y forma parte del conjunto de espacios abiertos primarios de la ciudad. Cuenta con una superficie total de 11995.3 m<sup>2</sup>. Su organización interna está compuesta por un núcleo central predominantemente semi-sellado, con la presencia de una fuente principal. Alrededor se sitúan las áreas verdes. Los espacios están agrupados con referencia a un sistema radial. La materialidad predominante de la Plaza Chile son baldosas cementicias- pulidas, rectas cuadradas gris multicolor (Figura 1).

#### Caso 2: Plaza San Martín

Se sitúa en el centro de la ciudad de Mendoza, en un contexto de alta densidad edilicia. Los edificios que la rodean alcanzan una altura promedio de 20 metros, forma parte del conjunto primario de espacios abiertos definidos en la segunda fundación de la ciudad. Su superficie total es de 11699.8 m<sup>2</sup>. La organización interna está compuesta por un núcleo central predominantemente semi-sellado, con la presencia de un monumento principal. Alrededor se sitúan las áreas vegetadas. Los espacios están agrupados con referencia a un sistema radial. La piedra laja de color negro es el material que predomina sobre las superficies de la plaza San Martín (Figura 1).

#### Caso 3: Plaza Independencia

Se localiza, igualmente, en el centro de la ciudad en un contexto de alta densidad edilicia. Los edificios que la rodean alcanzan una altura promedio de 20 metros aproximadamente. Es la plaza central del conjunto fundacional de cinco plazas. A diferencia de las demás, la plaza Independencia posee una superficie cuatro veces mayor que la de las plazas tradicionales: la superficie total es de 47356.9 m<sup>2</sup>. Su organización interna está compuesta por un núcleo central sellado en dos niveles, con la presencia de una fuente principal imponente. A su alrededor se encuentra el área vegetada combinada con caminos sellados en forma orgánica que la recorren. La materialidad predominante es el cemento alisado con detalles de piedra laja (Figura 1).

### Caracterización del entorno urbano

El esquema urbano de la ciudad de Mendoza resulta del proceso de crecimiento que fue experimentando la ciudad a lo largo del tiempo: la primera etapa surge del crecimiento espontáneo que se corresponde con la fundación de la misma. La segunda, está regulada por el código de edificación de la ciudad de Mendoza a través de la ordenanza 3866/2014 (Municipalidad de Mendoza, 2016) en la que se establecen zonas y se clasifican los usos del suelo (Figura 1).

Características del entorno urbano donde se emplazan los casos de estudio:

- Zona de alta densidad: Se representa en la Figura 1 con color rojo. Considera a partir de los 18.5m en adelante, es decir, edificios de más de 6 pisos de altura. Representa el centro de la ciudad, donde se desarrollan las actividades administrativas, institucionales, financieras, comerciales y de servicios. Admite una densidad máxima de 800 habitantes por hectárea. Su FOT es  $\geq 4 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .
- Zona de media densidad: Se representa en la Figura 1 con color naranja. Considera desde los 8m hasta los 18m de altura, lo cual comprende edificios de 3 a 6 pisos. Las actividades que se desarrollan son mixtas (comercial - viviendas). Su densidad de habitantes por hectárea es de 400 a 600. Su FOT es  $\geq 2 \text{ y } < 4 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .
- Zona de baja densidad: Se representa en la Figura 1 con color amarillo. Considera como baja densidad edilicia las zonas que presentan edificaciones de 2.5m de altura hasta 8m, esto es, hasta 3 pisos. Se trata de zonas destinadas a preservación de sus

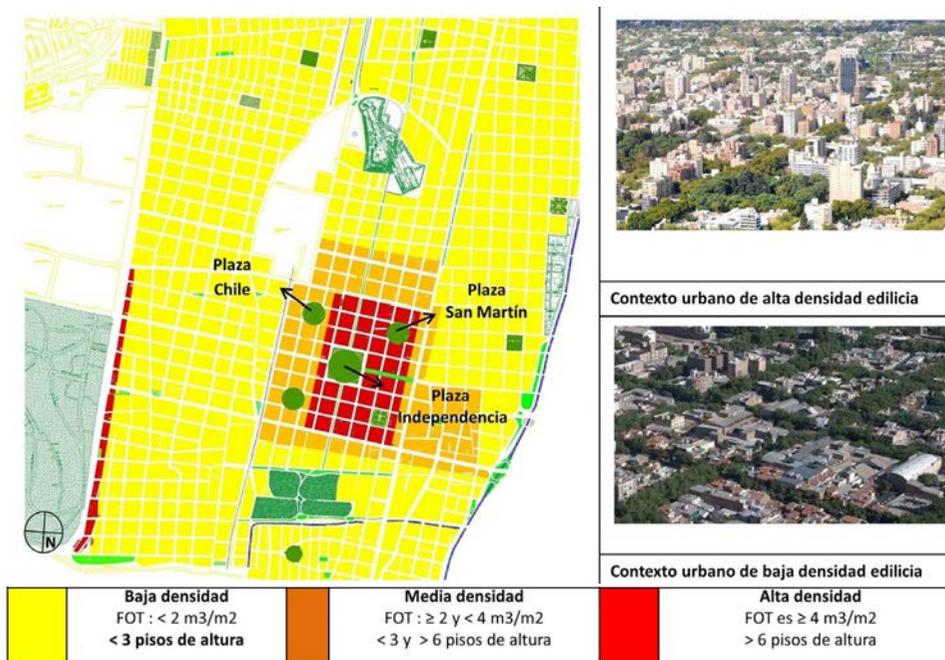


Figura 1. Localización de casos de estudio en al área metropolitana de Mendoza. Fuente: Elaboración de los autores.

características residenciales. Admite entre 150 a 250 habitantes por hectárea. Su FOT es < 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> para todas las dimensiones de lotes.

En este contexto edilicio, en la ciudad de Mendoza se hallan 14 plazas, 3 de ellas en alta densidad (Plaza San Martín, Plaza Independencia y Plaza España), 3 en media densidad edilicia (Plaza Chile, Plaza Italia y Plaza Sarmiento) y el resto están ubicadas en zonas de baja densidad (Plaza Manuel Belgrano, Plaza del Área fundacional, Plaza Cobos, etc.) (Stocco, Cantón y Correa, 2017).

Con el propósito de determinar el comportamiento térmico y radiativo de cada caso de estudio y su entorno, se colocaron 7 puntos de monitoreo por plaza siguiendo el eje Norte-Sur. Cinco de los puntos se encuentran en el interior de la plaza, ubicados en los diferentes esquemas de bosque, prado y centro, y los dos puntos restantes determinan el entorno de la plaza (Figura 3).

#### Determinación del factor de visión de cielo (SVF)

Para caracterizar las condiciones radiativas de cada uno de los espacios monitoreados se tomaron imágenes hemisféricas con las cuales se determinó el valor del factor de visión de cielo o *sky view factor*. Este valor se determinó mediante el programa PIXEL DE CIELO, desarrollado en DELPHI 5.0 (opera en entorno Windows) (Pixel de Cielo 1.0<sup>®</sup>). Los valores obtenidos son resultado de 6 pruebas realizadas, por cada imagen, ajustando los rangos de delineación de colores presentes en el cielo por medio de la variación del valor del SVF hasta llegar a la imagen en blanco y negro que refleja con mayor precisión las condiciones reales de la imagen original. Para el proceso de delineación de la imagen, se seleccionan desde la misma los rangos de colores presentes en el cielo en formato RGB, denominando "bajo" al color más oscuro del rango y "alto" al más claro. A partir de esta diferenciación, un píxel individual P(x, y) en la posición (x, y) dentro de la imagen asume un nuevo color Pt (x, y); correspondiendo blanco a los píxeles de cielo y negro a los demás. El cálculo del factor de visión de cielo o SVF ha sido desarrollado a partir del trabajo de Steyn (1980) y de Correa *et al.* (2005).

### III. OBTENCIÓN DE LOS DATOS

#### Determinación de los puntos de medición

Las plazas de Mendoza presentan como característica general un esquema simétrico de organización interna, con concentración del área sellada en el centro de la plaza (*ibidem*). Se distingue en todos los casos la presencia de tres esquemas bien definidos: bosque, prado y centro, en distintas proporciones. Se define al bosque como el área donde la vegetación predominante la constituyen los árboles de gran porte, cuyo solapamiento de copas genera áreas de sombra y huecos de tamaños variables (puntos 1 y 5). Asimismo, se define como prado el área donde prevalecen las superficies de césped y vegetación herbácea perenne de escasa altura (puntos 2 y 4). La estructura de centro corresponde a un área donde predominan las superficies selladas, conformando un lugar de encuentro (punto 3) (Figura 3).

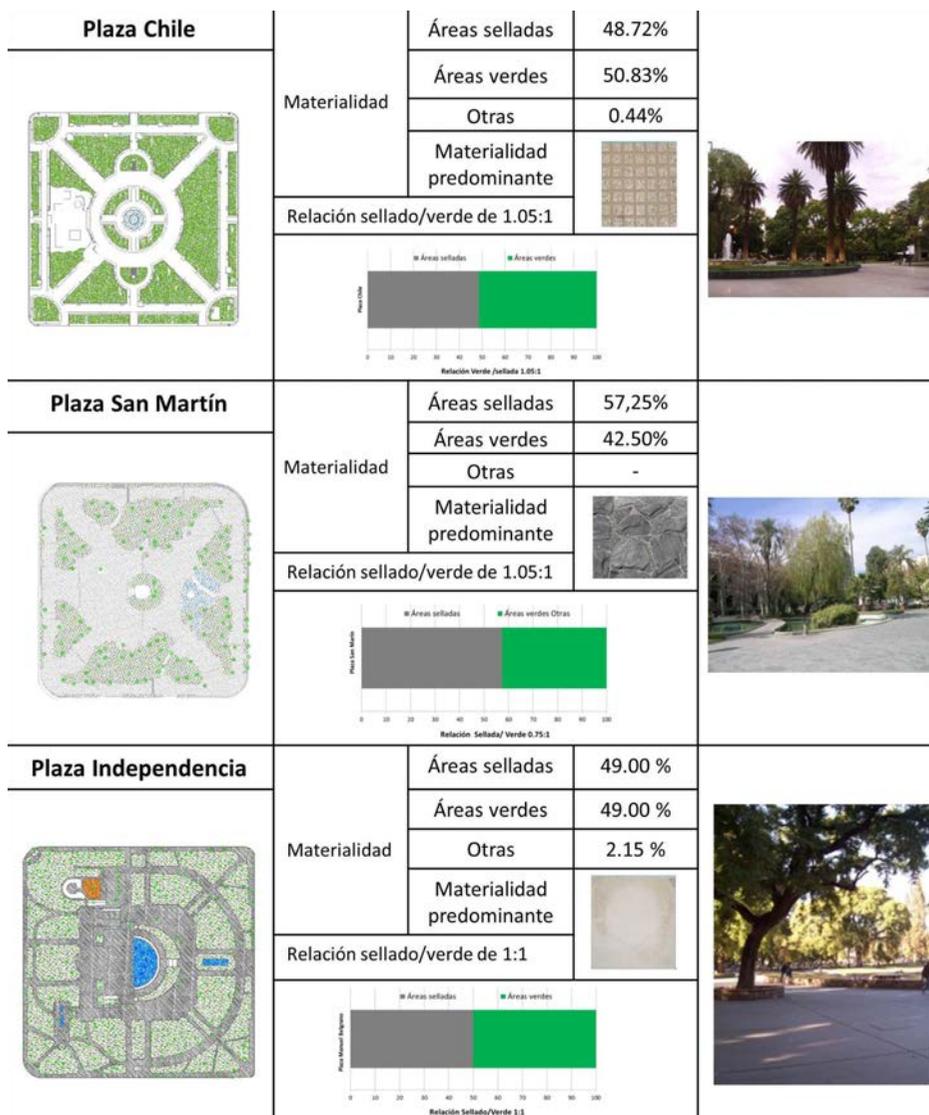


Figura 2. Características formales y materiales de los casos de estudio.  
Fuente: Elaboración de los autores.

Para determinar la condición de asoleamiento de cada espacio, se proyectó la trayectoria solar, calculada con el programa GEOSOL V.2.0 (Hernández, 2003). El recorrido solar se sobrepuso sobre cada imagen hemisférica en cada punto y en cada caso analizado.

### Monitoreo mediante mediciones fijas

Las mediciones fijas se desarrollaron durante la estación de verano en los meses de enero y febrero de 2013, tomando un periodo de 21 días y registrando datos cada 15 minutos. Se utilizaron estaciones fijas del tipo H08-003-02, con dos canales internos: temperatura y humedad relativa. La resolución del equipo para el rango de temperaturas monitoreadas es de 0.6°C.

El instrumental de medición fue dispuesto en el interior de un protector plástico, perforado en cuatro de sus caras, y orientado al Sur-Este (Cantón y Fernández Llano, 2007), a una altura de 2 metros (Oke, 2004). Dicho procedimiento de medición se encuentra desarrollado de acuerdo con la norma ISO 7726:1998 (Figura 4). Los equipos fueron calibrados, exponiéndolos a condiciones similares de medición y, posteriormente, se los contrastó con una curva patrón de calibración.

El día de análisis fue seleccionado luego de considerar los comportamientos de las curvas de temperatura del aire en el periodo de 21 días medidos. Se evaluó estadísticamente el desempeño de las temperaturas máximas, mínimas y medias. Se

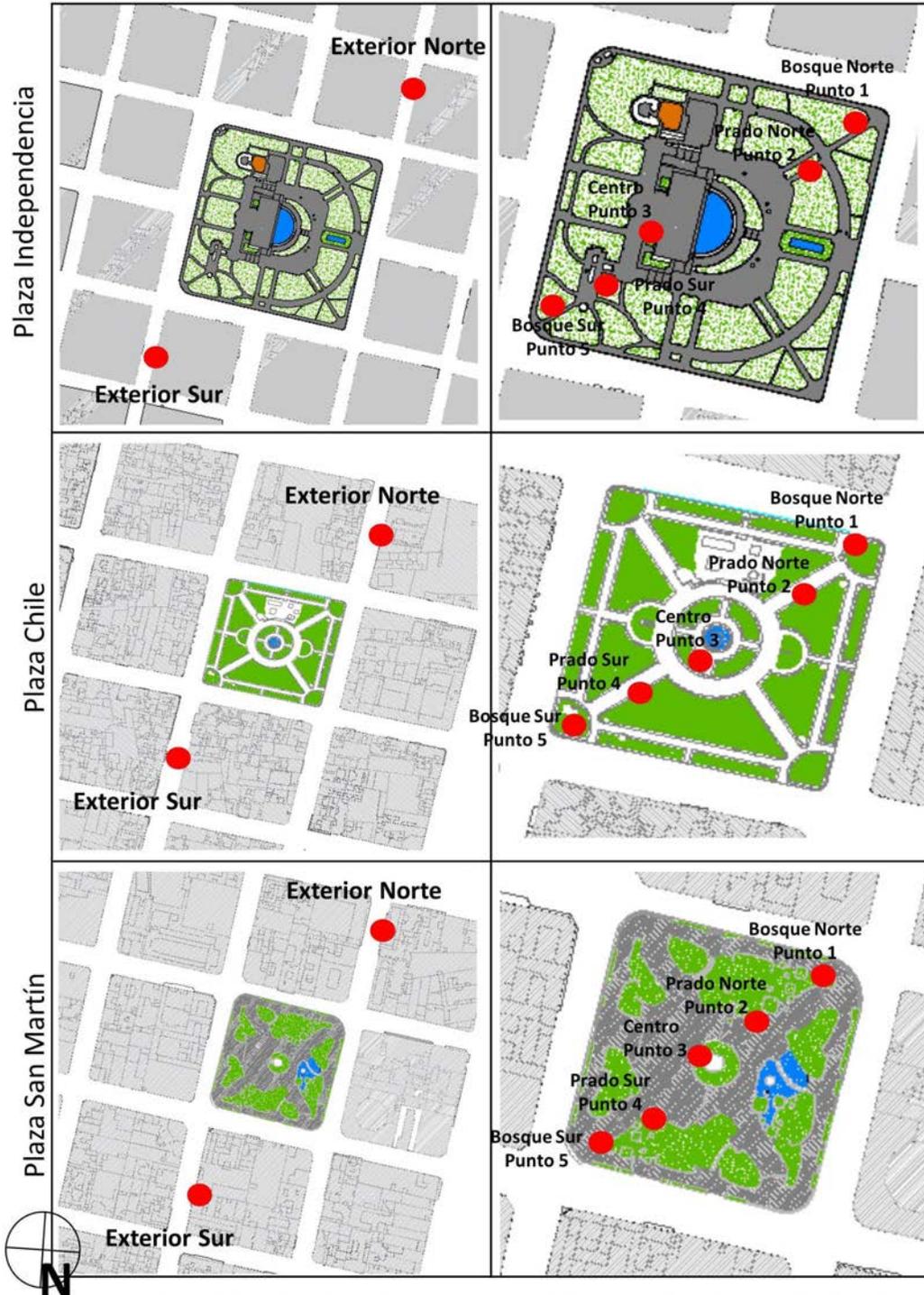


Figura 3. Distribución de los puntos de medición en interior a la plaza San Martín.  
Fuente: Elaboración de los autores.



**Figura 4.** Disposición y colocación de los sensores de medición en la plaza y en el entorno.  
Fuente: Elaboración de los autores.

seleccionaron tres días consecutivos: 22, 23 y 24 de enero de 2013. Los días seleccionados para el análisis son estables, con altos niveles de radiación solar, baja nubosidad, velocidad de viento y humedad, características representativas de un día típico de verano en Mendoza (Sosa, Correa, Cantón, 2017). Estadísticamente, las condiciones meteorológicas del día seleccionado se replican para el 80% del total de días medidos (representatividad dentro del periodo monitoreado).

## IV. RESULTADOS

### Factor de visión de cielo (SVF) y radiación solar incidente

La Figura 5 muestra los valores obtenidos de factor de visión de cielo (SVF) de las estructuras de bosque, centro y prado de los tres casos de estudio y de los entornos Norte y Sur de las plazas. Sobre dichas imágenes se superpuso el recorrido solar a los efectos de determinar la distribución de sombras en el espacio y la cantidad de horas de sol directo.

Los porcentajes de factor de visión de cielo obtenidos han sido evaluados en relación al recorrido solar con el objeto de asociar el comportamiento térmico de cada espacio con su condición de sombra y asoleamiento.

Los valores de factor de visión de cielo (SVF) procesados en cada punto sitúan a la Plaza Chile con los porcentajes más bajos respecto a la estructura de prado, 40% y 4 horas de sol, y en la estructura de centro, 55% y 5 horas de sol. La Plaza San Martín presenta los valores más altos de SVF: prado, 71% y 6 horas de sol, y centro, 81% y 6 horas de sol. La Plaza Independencia, a diferencia de los demás casos, presenta como particularidad una estructura de centro cerrada determinada por un SVF de 24% y 3 horas de sol, lo que permite proporcionar sombras por medio de la vegetación sobre la superficie del núcleo central sellado. Los valores de SVF obtenidos en la estructura de bosque son del orden

de 21% y 1 hora de sol para la Plaza San Martín; mientras que el valor más alto corresponde a la Plaza Independencia, con SVF de 40% y 5 horas de sol. Respecto de los entornos, los porcentajes de SVF varían en el rango de 10% para el entorno Norte de la Plaza San Martín y de 32% para el entorno Sur de la Plaza Chile, ambos con 1 hora de sol.

Si se evalúa las estructuras que componen las plazas en términos radiativos, se observa que: en la Plaza San Martín (10000 m<sup>2</sup> y entorno de alta densidad) la estructura de bosque es la que posee la menor exposición solar: SVF= 21% 1 hora de sol. Por su parte, la estructura de prado en la Plaza Chile (10000 m<sup>2</sup> y entorno de media densidad) corresponde a SVF= 40%, 4 horas de sol. Y, finalmente, la de centro de la Plaza Independencia (40000 m<sup>2</sup> y entorno de media densidad) presenta SVF = 24%, 3 horas de sol.

### Comportamiento térmico

Este análisis presenta resultados sobre el comportamiento térmico de cada estructura seleccionada como representativa en cada plaza -caso de estudio-, de acuerdo a sus características, en relación a sus respectivos entornos (Figura 6). Los datos obtenidos se analizaron teniendo en cuenta dos periodos: el primero, durante el día, denominado periodo de calentamiento y comprendido entre 9:00 AM y las 7:00 PM, y el segundo, después de la puesta del sol, donde comienza a descender la temperatura, denominado periodo de enfriamiento y comprendido entre 8:00 PM y las 8:00 AM. Cabe señalar que las diferencias de temperaturas se consideran significativas por encima de 0.6°C, valor que corresponde a la resolución del dispositivo de medición en el rango de temperaturas de trabajo.

#### Caso 1: Plaza San Martín

En términos generales, durante el periodo de calentamiento de la ciudad -de 9:00 AM a 7:00 PM-, las temperaturas del aire en el centro sellado y en los prados de la Plaza San Martín son mayores, entre 0.8 y

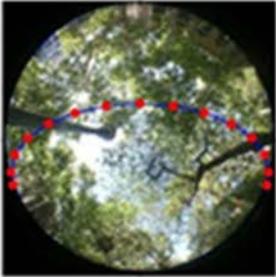
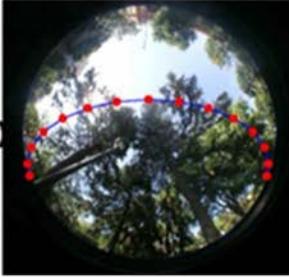
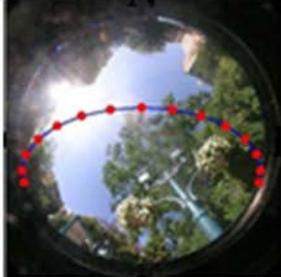
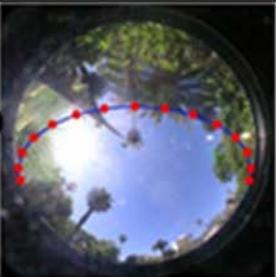
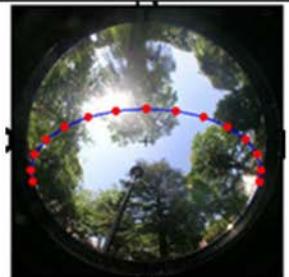
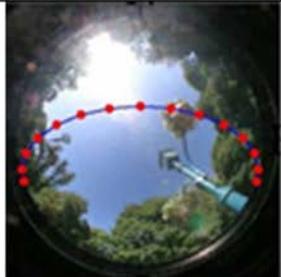
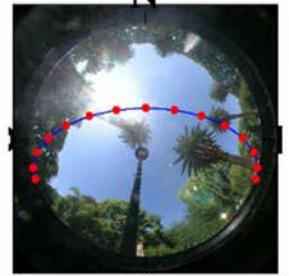
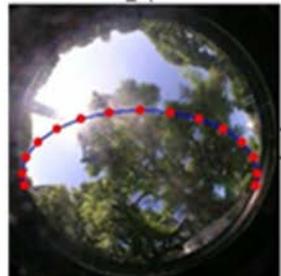
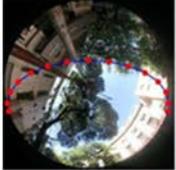
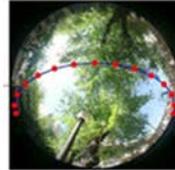
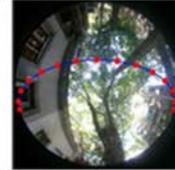
	Caso 1: San Martín		Caso 2: Chile		Caso 3: Independencia	
Bosque						
	21% 1 hs. de sol		30% 5 hs. de sol		40% - 5 hs. de sol	
Prado						
	71% - 6 hs. de sol		40% 4 hs. de sol		70% - 6 hs. de sol	
Centro						
	82% 6 hs. de sol		55% 5 hs. de sol		24% 3 hs. de sol	
Entornos	Norte	Sur	Norte	Sur	Norte	Sur
						
	20% 1 hs. de sol	32% 1 hs. de sol	10% 1 hs. de sol	25% 3 hs. de sol	24% 4 hs. de sol	18% 3 hs. de sol

Figura 5. Factor de visión de cielo en relación al recorrido solar.  
Fuente: Elaboración de los autores.

1.9°C, que las temperaturas del entorno de la plaza. Sólo sus bosques están entre 0.8°C y 1.1°C más frescos que sus entornos. Durante el periodo de enfriamiento de la ciudad, entre 8:00 PM y 8:00 AM, todas las estructuras presentes en la plaza o bien se encuentran en equilibrio térmico con su entorno, o entre 0.7°C y 1.0°C más frescas que los entornos de la plaza (Figura 6).

Durante el periodo de calentamiento, las mayores temperaturas se registran a las 5:00 PM. La estructura definida como centro (con mayor acceso a la radiación solar) alcanza las mayores temperaturas (37.2°C), presentando diferencias de hasta 1.9°C más caliente que sus entornos. Esta diferencia se debe a que la estructura de centro presenta una mayor visión de cielo y mayor exposición solar (SVF centro = 82%, 6h de exposición solar; versus entorno Norte = 20%, 1h de sol; entorno Sur = 32%, 1h de sol). La estructura más fría dentro de la plaza, durante el periodo de calentamiento corresponde al bosque (34.6°C), donde sus diferencias máximas con el entorno son positivas y del orden de 1.0°C, siendo la estructura de bosque siempre más fría que sus entornos. Esto se debe a la materialidad verde de dicha estructura y a las sombras que produce la vegetación que la conforma. Si bien la exposición solar y visión de bóveda son similares a los entornos, el bosque no presenta masa térmica de acumulación como su entorno construido (SVF bosque = 21%, 1h de exposición solar; entorno Norte = 20%, 1h de sol; entorno Sur = 32%, 1h de sol) (Figura 5 y 6).

Durante el periodo de enfriamiento, las menores temperaturas se registran a las 7 AM. Si tomamos en cuenta la resolución del equipamiento de medición (+/- 0,6), las diferencias de temperatura entre las distintas estructuras se encuentran dentro de ese orden, por lo que se puede afirmar, para este caso, que las distintas estructuras se encuentran a la misma temperatura. Y que, durante el enfriamiento la plaza, ésta siempre se encuentra entre 0.6°C y 1.0°C más fresca que sus entornos.

### Caso 2: Plaza Chile

La tendencia en la Plaza Chile, durante el periodo de calentamiento de la ciudad, fue que las temperaturas del aire en todas sus estructuras (bosque, prado y centro) -tomando en consideración la resolución del equipamiento de medición- se encontraran en equilibrio térmico con las temperaturas del entorno de la plaza. En la fase de enfriamiento de la ciudad, entre 8:00 PM y 8:00 AM, esta plaza se halla siempre en equilibrio térmico o más fresca que sus entornos, entre 0.7°C y 1.5°C. La estructura de centro de la plaza, que corresponde a la de mayor exposición solar y visión de bóveda celeste, es la que presenta las temperaturas más bajas (SVF centro = 55%; versus entorno Norte SVF 10%; entorno Sur SVF 25% (Figura 5 y Figura 6).

Para el periodo de calentamiento, las mayores temperaturas se registran a las 5:00 PM. En términos absolutos, la estructura más fresca de este periodo corresponde al bosque (33.9°C). Durante el periodo de enfriamiento, las menores temperaturas se dan a las 7:00 AM. La estructura más fría corresponde al centro (19.5°C): presenta diferencias de hasta 1.5°C respecto de su entorno más caliente (entorno Sur) (Figura 6).

### Caso 3: Plaza Independencia

En términos generales, para el periodo de calentamiento de la ciudad -de 9:00 AM a 7:00 PM-, la temperatura del aire en la Plaza Independencia se constata más fresca que las de sus entornos, en un rango que oscila entre 1.4°C y 3.7°C; diferencias significativamente superiores a las observadas en los casos de las Plazas San Martín y Chile. Este comportamiento, que es distintivo del periodo de calentamiento, cuando las otras plazas de dimensiones menores y coincidentes (del orden de 10000 m<sup>2</sup>) siempre se encuentran o bien en equilibrio térmico o más calientes que su entorno, podría asociarse a la incidencia del tamaño de la plaza (4 veces mayor). De modo particular, el comportamiento térmico relacionado a su contexto de inserción muestra que la incidencia de la dimensión de la plaza tiene un impacto positivo, ya que invierte el comportamiento de la Plaza San Martín: sus temperaturas se hallan por encima de las de sus entornos, a igual relación de verde sellado, y de las estructuras que la componen (bosque, prado y centro). Si bien ambas plazas contienen un espejo de agua en sus diseños originales, en ninguno de los casos esta estrategia impacta regularmente en el comportamiento de las mismas, puesto que los sistemas entran en funcionamiento sólo en eventos aislados asociados a días festivos. Por otra parte, debe considerarse que aunque la condición árida del emplazamiento es beneficiosa para el uso de este tipo de estrategia, la condición de baja frecuencia y velocidad de viento aunada al insuficiente o nulo movimiento del agua, disminuyen el alcance del efecto de refrescamiento de la humidificación del aire.

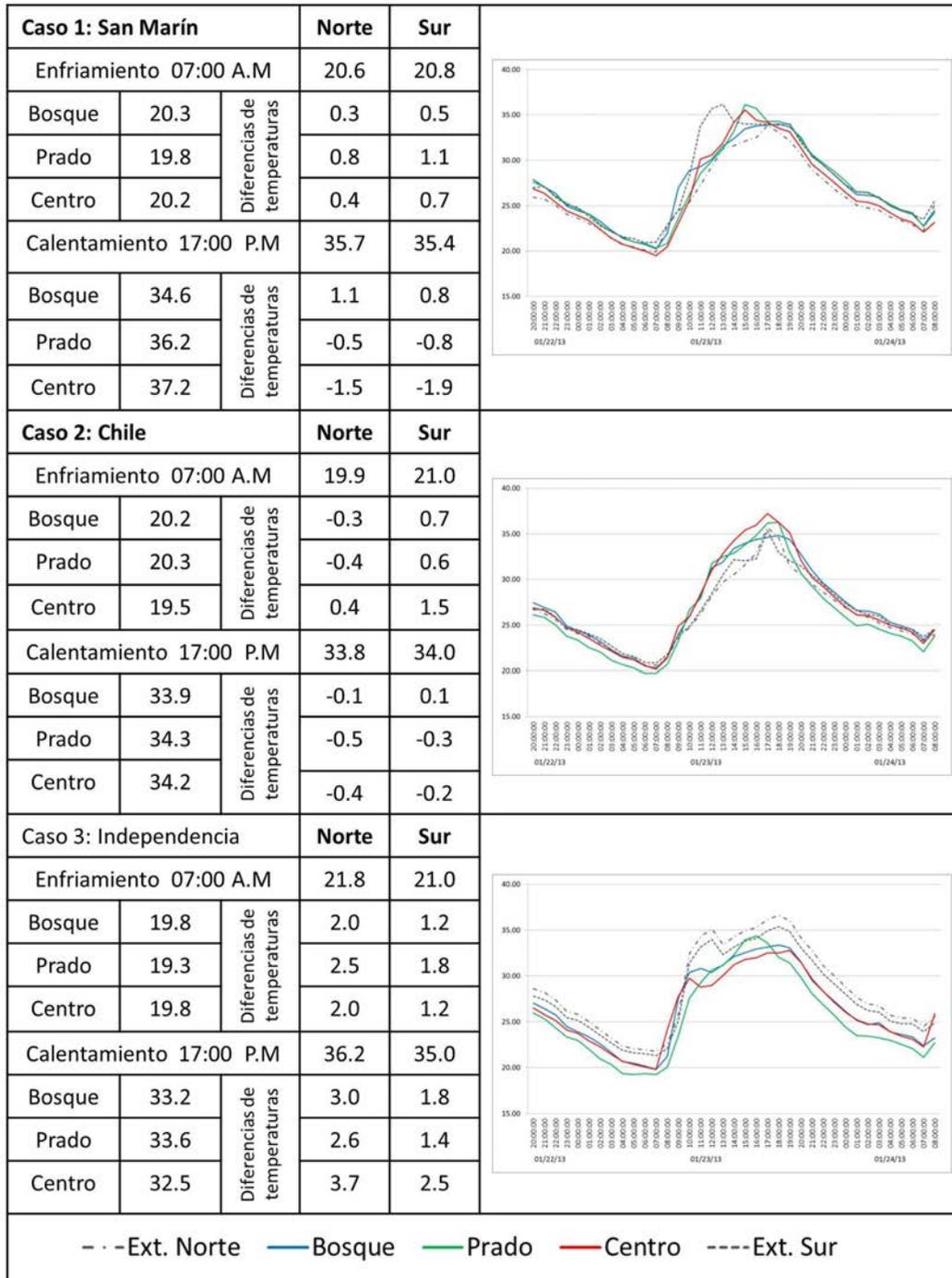
Respecto al periodo de enfriamiento, todas las estructuras de la Plaza Independencia se encuentran siempre a menor temperatura que sus entornos, variación que fluctúa entre 1.2°C y 2.0°C. La magnitud de la diferencia respecto de sus entornos es levemente superior a las obtenidas en los casos de las Plazas San Martín y Chile (Figura 6).

Asimismo, durante el periodo de calentamiento, las mayores temperaturas se evidenciaron a las 5:00 PM. La estructura más fría presente en esta plaza es el centro: alcanza temperaturas de 32.5°C y se encuentra 3.7°C más fresca que su entorno más caliente (entorno Norte). Si bien la estructura de centro y el entorno Norte presentan porcentajes de apertura de bóveda semejantes (SVF centro y entorno Norte = 24%) y semejante cantidad de horas de exposición solar, el motivo de la diferencia de temperaturas está dado por la distribución de la vegetación en relación con el recorrido solar. En el caso del entorno Norte, presenta 1h de sol a la mañana y 3h de sol por la tarde. Y la estructura de centro recibe radiación solar en las últimas horas de la tarde (Figura 5 y 6).

Las menores temperaturas, en la etapa de enfriamiento, se registran, una vez más, a las 7 AM. En este caso, atendiendo a la resolución del instrumento de medición, todas las estructuras presentan temperaturas semejantes, del orden de 19.8°C.

## V. CONCLUSIONES

El presente estudio ha perseguido avanzar en la línea de investigaciones previas (Stocco, Cantón y Correa, 2015) que determinaron los factores de diseño que inciden en el comportamiento térmico de una plaza y su condición de confort térmico, entre ellos: relación áreas verdes /áreas



**Figura 6.** Comportamiento térmico y diferencias de temperatura. Las diferencias positivas (+) que se presentan aquí indican que las temperaturas de la plaza están más frescas que su entorno y las diferencias negativas (-), que las temperaturas de la plaza se encuentran más calientes que su entorno.  
Fuente: Elaboración de los autores.

selladas y la distribución de la vegetación respecto al recorrido solar. De tal forma, este trabajo ha tenido por objetivo analizar el comportamiento térmico de las plazas en relación a distintos contextos de inserción, con el fin de determinar su eficiencia para disminuir las temperaturas urbanas asociadas a un nuevo escenario, derivado de las reformas recientes de los códigos de edificación, que plantea la densificación del tejido urbano. En concreto, se pretendió evaluar si la dimensión tradicional de la plaza jardín -10000 m<sup>2</sup>- es suficiente para mitigar la mayor antropización del medio que generará una mayor densificación edilicia. Con dicho propósito, se compararon tres plazas urbanas, dos de ellas de una superficie equivalente a una manzana urbana -10000m<sup>2</sup>-, emplazadas en entornos de media -2 a 4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>- y alta densidad -> 4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>- y, un caso de mayor superficie -40000m<sup>2</sup>-, inserto en un contexto de alta densidad. Todas ellas presentan características de diseño semejante en cuanto a la condición simétrica del espacio concebido a partir de un núcleo central, predominantemente semi-sellado, alrededor del cual se distribuyen áreas verdes a modo de bosques y prados.

Los resultados derivados del análisis del monitoreo térmico de las distintas estructuras presentes en las plazas y sus entornos permiten inferir lo siguiente:

Durante la noche -periodo de enfriamiento-, todas las plazas se encuentran en equilibrio térmico o más frescas que sus entornos, en rangos que varían de acuerdo a las características particulares de cada plaza estudiada. La Plaza Independencia muestra el mayor rango de diferencias con su entorno, de 1.2°C a 2.0°C, y todas sus estructuras se encuentran siempre más frescas que sus entornos. La Plaza Chile presenta, por su parte, un comportamiento intermedio, con un rango de diferencias comprendido entre 0.7°C y 1.5°C, y la Plaza San Martín una condición predominante de equilibrio térmico con el entorno o, en algunos casos, más fresca: en un rango de 0.6°C a 1.0°C.

Dichos resultados son consecuencia del efecto combinado de la dimensión de la plaza asociado a la densidad edilicia del contexto de inserción y, en menor medida, a la condición de asoleamiento del núcleo central semi-sellado que conforma la plaza. Ejemplo de ello es el comportamiento observado en la Plaza Independencia respecto a la Plaza San Martín. Si bien ambas se localizan en un área urbana de alta densidad edilicia, presentan diferencias considerables en términos de superficie. La Plaza Independencia es el resultado de la integración de cuatro manzanas urbanas, mientras que la San Martín responde a la estructura de dimensionamiento tradicional de las plazas en el tejido urbano correspondiente a la primera fundación de la ciudad. Por otra parte, aunque el diseño de las plazas es semejante en cuanto a su concepción -estructuras que las conforman y relación verde/sellado-, la distribución de la vegetación en ambas muestra diferencias significativas. En la Plaza Independencia la vegetación arroja sombras sobre el núcleo central, que generan una menor acumulación de calor en las superficies duras de la plaza durante el día, con lo cual mejora, consecuentemente, el resultado del enfriamiento nocturno.

Durante el día -periodo de calentamiento-, las temperaturas de las plazas respecto a sus entornos exhiben comportamientos muy diferentes. Todas las estructuras de diseño que componen la Plaza Independencia se hallan siempre más frescas que sus entornos, en un

rango comprendido entre 1.4°C y 3.7°C. Las estructuras de la Plaza Chile siempre se encuentran en equilibrio térmico con sus entornos, y las estructuras de la Plaza San Martín muestran distintos comportamientos. El núcleo central de esta última plaza y sus prados se encuentran más calientes que sus entornos, en un rango comprendido entre 0.8°C y 2.0°C; mientras que la estructura de bosque es levemente más fresca que ellos, en el orden de 1.0°C.

De lo descripto, se observa un comportamiento benéfico y diferencial de la Plaza Independencia durante el periodo de calentamiento de la ciudad, donde se constata hasta 4.0°C más fresca que sus entornos, lo que, al igual que en el periodo de enfriamiento, es derivado del efecto combinado de la dimensión de la plaza y el sombreado del núcleo central de la misma -24% SVF-. Efecto que, sin embargo, en el periodo de calentamiento, influye en mayor magnitud sobre el comportamiento térmico del espacio, ya que no sólo invierte la respuesta del mismo en comparación con los otros casos evaluados, sino que duplica sus diferencias con las temperaturas del entorno. En contraposición, la Plaza San Martín también inserta en un entorno de alta densidad, presenta una superficie cuatro veces menor y un núcleo central con un alto índice de asoleamiento -82% SVF-; ambas variables son responsables de que la plaza muestre temperaturas más elevadas que sus entornos.

A partir de estas consideraciones, se desprende que la dimensión tradicional de plaza urbana en ciudades de traza en damero no es suficiente para mejorar las condiciones térmicas del espacio construido circundante en entornos urbanos de alta densidad. A pesar de que en ciudades consolidadas no es posible intervenir sobre esta variable, es necesario contemplar la necesidad de incrementar las áreas verdes en aras de potenciar y utilizar sus beneficios sobre el clima urbano. Una alternativa compatible con la baja disponibilidad de vacíos urbanos, para insertar tipologías tradicionales de espacios verdes, lo constituye el uso de nuevas tecnologías asociadas a la incorporación de verde sobre las envolventes verticales de los edificios (Wong *et al.*, 2009; Francis y Lorimer, 2011). No obstante, este trabajo demuestra que la dimensión de la plaza es una variable relevante como estrategia de mejoramiento del clima urbano y mitigación del calentamiento de la ciudad, y que debe ser contemplada en el diseño y la planificación de nuevos centros urbanos de alta densidad.

Por último, en ciudades insertas en zonas climáticas con alta heliofanía, como es el caso de la ciudad en estudio, el control del asoleamiento de las áreas selladas en las plazas determina en gran medida su eficiencia térmica, tanto durante el día como durante la noche. Este trabajo verifica que el orden de desempeño térmico de las plazas evaluadas es directamente proporcional al nivel de sombreado de su núcleo central semi-sellado, en la estación cálida. Además, indica que las mejores prestaciones asociadas a potenciar las capacidades de la plaza para controlar el sobrecalentamiento de los espacios y potenciar el refrescamiento nocturno, están vinculadas al sombreado de las superficies expuestas, la distribución de la vegetación en función de la trayectoria solar y la apertura controlada de las estructuras de bosque.

Se establece, cabe anotar, que el alcance de los resultados de esta investigación es de carácter diagnóstico y que, en tal sentido, esta ha permitido identificar tendencias de comportamiento asociadas a

casos reales existentes en la ciudad. Ahora bien, se prevé completar y profundizar este estudio mediante la evaluación de casos teóricos, a partir de simulaciones, que permitan manipular con mayor precisión, las distintas variables involucradas en el diseño del espacio abierto, a fin de determinar rangos de eficiencia ligados a diferentes propuestas de diseño.

Finalmente, en etapas futuras se complementará el análisis del comportamiento térmico del espacio, con su condición de confort, ya que este indicador involucra, además de la temperatura, variables como humedad, velocidad de viento y temperaturas medias radiantes, entre otras. Esta labor busca determinar el impacto del diseño sobre la habitabilidad de los espacios y el uso social de los mismos.

La combinación de ambos enfoques permitirá, en definitiva, tener una visión integral de las posibilidades que un determinado diseño de plaza urbana ofrece como regulador del calentamiento urbano y, en relación a su uso, como espacio destinado a actividades de esparcimiento e interacción social.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERO OBSERVATIONS SAME MENDOZA [en línea]. Aeropuerto Francisco Gabrielli. Station number: 87418, 2014. [Consultado 20 de diciembre de 2015]. Disponible en: <http://www.wunderground.com/history/airport/SAME/>

ALI-TOUDERT, Fazia. Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate. *Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg* [en línea], 2005, n° 15. Consultado 10 de febrero de 2018. Disponible en: <http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/2078>

CANTÓN, Alicia y FERNÁNDEZ LLANO, Jorge. Comportamiento térmico de verano de diferentes configuraciones de sombra en patios urbanos emplazados en climas áridos. *AVERMA*, 2007, vol.11 pp. 89- 95.

CHIESURA, Anna. The role of urban parks in a sustainable city. *Landscape and Urban Planning*, 2004, vol. 68, pp. 129-138.

MUNICIPALIDAD DE MENDOZA. Código urbano y de edificación de la ciudad de Mendoza, 2016. Texto según ordenanza 3888/15 B.O. 14/01/2016, y ordenanza 3890/15 B.O. 22/01/2016, y ordenanza 3891/15 B.O. 02/02/2016.

CORREA, Érica; DE ROSA, Carlos y LESINO, Graciela. Monitoreo de Clima Urbano: análisis estadístico de los factores que determinan la isla de calor y su aporte al diseño de los espacios urbanos. *AVERMA*, 2006, vol. 10, pp. 41-48.

CORREA, Érica; PATTINI, Andrea; CÓRICA, Lorena; FORNÉS, Matías y LESINO, Graciela. Evaluación del Factor de Visión de Cielo a partir del procesamiento digital de imágenes hemiesféricas. Influencia de la configuración del cañón urbano en la disponibilidad del recurso solar. *AVERMA*, 2005, vol. 9, pp. 43-48.

DIMOUDI, Argiro y NIKOLOPOULOU, Marialena. Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits. *Energy and Buildings*, 2003, vol.35, pp.69-76.

DU, Hongyu; CAI, Wenbo; XU, Yanqing; WANG, Zhibao; WANG, Yuanyuan y CAI, Yongli. Quantifying the cool island effects of urban green spaces using remote sensing Data. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2017, vol. 27, pp. 24–31.

ELIASSON, Ingegard; KNEZ, Igor; WESTERBERG, Ulla y THORSSON, Sofia. Climate and behaviour in a Nordic city. *Landscape and Urban Planning*, 2007, vol. 82, pp.72–84.

FRANCIS, Robert y LORIMER, Jamie. Urban reconciliation ecology: the potential of living roof and walls. *Environ Manage*, 2011, vol. 92, pp.1429-37.

HERNÁNDEZ, Alejandro. GEOSOL: una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2003, n° 7, pp. 11.19-11.24.

ISO INTERNATIONAL STANDARD 7726: Ergonomics of the thermal environment— instruments for measuring physical quantities. ISO, 1998, Geneva.

KARIMINIA, Shahab; AHMAD, Sabarinah y SABERI, Ahmadreza. Microclimatic Conditions of an Urban Square: Role of built environment and geometry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2015, vol.170, pp. 718-727.

LENZHOZLER, Sanda. Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares. *Resources, Conservation and Recycling*. 2012 vol.64, pp.39-48.

LIN, Tzu - Ping. Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and Environment*, 2009, vol. 44, pp. 2017-26.

OKE, Timothy. Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. Iom Report, 2004, Td in Press, World Meteorological Organiz, Geneva.

PIXEL DE CIELO 1.0 REGISTRO N°549880. FECHA 23/02/2007.

REYES PÁCKE, Sonia y FIGUEROA, Aldunce Isabel. Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *EURE Santiago*, 2010, vol. 36, n° 109, pp. 89-110.

SANTAMOURI, Mattheos; MIHALAKAKOU, Giouli; PAPANIKOLAOU, Nikos y ASIMAKOPOULOS, Nicholas. A neural network approach for modeling the heat island phenomenon in urban areas during the summer period. *Geophysical Research Letters*, 1999, vol. 26, n° 3, pp. 337-340.

SCUDO, Gianni y DESSI, Valentina. *Thermal comfort in urban space renewal*. En: PLEA 2006, 23<sup>rd</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, Switzerland, 6-8 September, 2006.

SOSA, Belén; CORREA, Érica y CANTÓN, Alicia. Morfología urbana y comportamiento térmico de canales viales. Desarrollo de un modelo predictivo para temperaturas máximas. *Urbano*, 2016, n° 33, pp. 66-75.

SOSA, Belén; CORREA, Érica y CANTÓN, Alicia. Urban grid forms as a strategy for reducing heat island effects in arid cities. *Sustainable Cities and Society*, 2017, vol. 32, pp. 547-556.

STEYN, Douw. The calculation of view factors from fisheye-lens photographs. *Atmosphere - Ocean*, 1980, vol. 18, n° 3, pp. 254-258.

STOCCO, Susana; CANTÓN, Alicia y CORREA, Érica. Evaluación de las condiciones térmicas de verano y eficiencia ambiental de distintos diseños de plazas urbanas en Mendoza, Argentina. *Hábitat sustentable*, 2013, vol. 3, pp. 19-34.

STOCCO, Susana; CANTÓN, Alicia y CORREA, Érica. Design of urban green square in dry areas: Thermal performance and comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2015, vol. 14, pp. 323-335.

STOCCO, Susana; CANTÓN, Alicia y CORREA, Érica. Espacios verdes en ciudades de zona árida. Diagnóstico de la situación actual de plazas de la ciudad de Mendoza, Argentina. *Cuaderno Urbano. Espacio, cultura, sociedad*, 2017, vol. 23, n° 23, pp. 61-84.

SUN, Shibo; XU, Xiyang; LAO, Zhaoming; LIU, Wei; LI, Zhandong; HIGUERAS, Ester y HE Li ZHU, Jianning. Evaluating the impact of urban green space and landscape design parameters on thermal comfort in hot summer by numerical simulation. *Building and Environment*, 2017, vol. 123, pp. 277-288.

YEZIORO, Abraham; CAPELUTO, Isaac y SHAVIV, Edna. Design guidelines for appropriate insolation of urban squares. *Renewable Energy*, 2006, vol. 31, n° 7, pp. 1011-1023.

WONG, Nyuk Hien; TAN, Yong Kwang Alex; TAN, Puay Yok y WONG, Ngian Chung. Energy Simulation of Vertical Greenery Systems. *Energy and Buildings*, 2009, vol. 41, n° 12, pp. 1401-8.