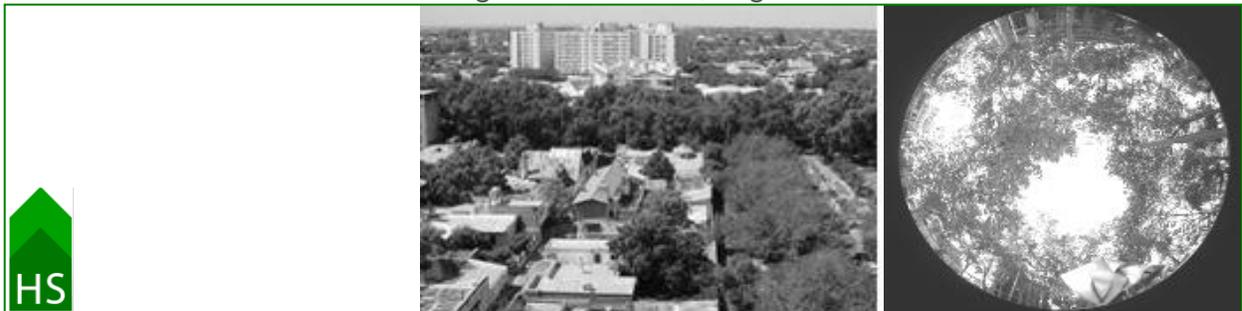


Evaluación de las condiciones térmicas de verano y eficiencia ambiental de distintos diseños de plazas urbanas en Mendoza, Argentina

Evaluation of summer thermal conditions and the environmental efficiency of different urban square designs in Mendoza, Argentina



Susana Stocco [sstocco@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:sstacco@mendoza-conicet.gob.ar)

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Mendoza, Argentina

María Alicia Cantón macanton@mendoza-conicet.gob.ar

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Mendoza, Argentina

Érica Correa ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Mendoza, Argentina



RESUMEN

Palabras clave
Plazas Urbanas,
Morfología,
Comportamiento Térmico,
Eficiencia Ambiental

El objetivo de este trabajo es evaluar las consecuencias de las decisiones de diseño sobre el comportamiento térmico y la eficiencia ambiental de las plazas de la ciudad de Mendoza. A tal fin se seleccionaron tres casos de estudio, donde se evaluó el comportamiento de distintas estructuras presentes en las plazas. Para ello se desarrollaron mediciones de temperatura del aire mediante sensores fijos, durante un periodo de 40 días en la estación verano de 2012, los sensores fueron ubicados en las diferentes estructuras (bosque, prado y centro) de la plaza y en su entorno urbano, siguiendo un eje en sentido norte-sur. Además se determinó el valor del factor de visión de cielo (SVF) y la digitalización hemisférica de la trayectoria solar para todos los puntos evaluados. Los resultados ponen de manifiesto la necesidad de reflexionar y revisar las estructuras de plazas existentes, en cuanto a sus esquemas de diseño, dado que el esquema tradicional que plantea una distribución de espacios en forma simétrica, parece no ser el que combina en forma más eficiente las distintas variables involucradas en el comportamiento térmico de la plaza: materialidad, distribución de la vegetación y exposición solar. Además se observa que a menor densidad edilicia del entorno urbano en el cual se inserta la plaza, sus condiciones térmicas y su eficiencia ambiental pueden mejorarse, casi con independencia de otros factores, mediante un diseño apropiado del espacio.

ABSTRACT

Key Words
Urban Squares,
Morphology,
Thermal behavior,
Environmental efficiency

The aim of this study is to assess the impact of design decisions on the thermal performance and environmental efficiency of the squares in Mendoza's city. Three case studies were selected to evaluate the performance of different structures on the squares. Air temperature measurements were registered by fixed sensors for a 40 days period in the warm season of 2012. The sensors were placed in different structures (forest, meadow and centre) of the square and its urban environment, along an axis oriented from north to south. Also, the value of the sky view factor (SVF) was estimated and it was digitized the hemispheric solar path for all points evaluated. The results highlight the need to reexamine the structures of existing spaces from the point of view of their design schemes. The traditional square of symmetrically distribution does not seem to combine, in an efficient way, the different variables involved in its thermal behavior: materiality, distribution of the vegetation and sun exposure. It was also observed that thermal and environmental efficiency can be improved, independently of other factors, with an appropriate space design when the square is placed in an urban environment characterized by a low building density.

1. Introducción

La incorporación de espacios abiertos vegetados en las ciudades genera beneficios ambientales, sociales y económicos. En cuanto a sus beneficios ambientales mejoran el microclima de la ciudad; atenúan las temperaturas extremas, controlan la radiación solar (llegan a reducir hasta el 90% de la radiación sobre las superficies) (Heisler, 1986), disminuyen brillos y reflejos; (Sorensen, et al., 1996), optimizan las condiciones de confort, contribuyen a la rehidratación de la atmósfera y al refrescamiento del aire en zonas de climas áridos (Rosenfeld, et al. 1998; Santamoris, 2001). La combinación de la sombra arrojada por el árbol, los niveles de evapotranspiración y los efectos del viento pueden reducir la temperatura del aire hasta 5.0°C (Akbari et al., 1992).

Actualmente, existen estándares internacionales para calificar y cuantificar los efectos de los espacios verdes públicos en la trama urbana, uno de estos índices es la cantidad en metros cuadrados de espacio verde por metros cuadrados de espacio construido. Sin embargo, estos índices ponen énfasis sólo en las superficies involucradas pero no sus características de diseño, tipo de espacio verde, su distribución, materialidad y las proporciones de árboles, arbustos y césped.

Mendoza, ciudad en estudio, está ubicada al centro oeste de la república Argentina, a 32° 40' Latitud Sur, 68° 51' Longitud Oeste y 827 metros sobre el nivel del mar. Su clima es árido y seco caracterizado por inviernos fríos, veranos calurosos, con importantes amplitudes térmicas diarias- estacionales y escasas lluvias (250 mm anuales promedio). Consta con 2.762 horas anuales de sol. Su estructura urbana está caracterizada por una trama abierta en damero, con fuerte presencia de espacios verdes y arbolado en alineación. Este modelo es el resultado de su estructura fundacional posterremoto, la cual consta de una plaza central y cuatro plazas equidistantes de la principal proporcionando una relación 1:4 manzanas verde-construidas (Martínez et.al., 2009). Su organización urbana está conformada por distintas estructuras espaciales que se superponen; la primera es el verde, dispuesto en distintas categorías: arbolado de alineación en calles, plazas y parques, haciendo habitables los espacios abiertos. El soporte físico del conjunto está conformado por manzanas cuadradas o

rectangulares, calles y veredas anchas de 16 m, 20 m y 30 m. Siendo esta estructura reconocida internacionalmente como ciudad "oasis" (Bormid, 1984).

Sin embargo, el desarrollo urbano del siglo XX ha debilitado el modelo debido a un conjunto de razones derivadas del crecimiento edilicio, el incremento de los factores de ocupación del suelo (FOS) para el micro centro, la falta de normativas que regulen el espacio abierto hacia el interior de la manzana, el avance de entes privados sobre los límites de los espacios abiertos, etc. Si se compara el crecimiento del área urbanizada respecto del área verde en el periodo 1990 – 2006, la primera aumentó de 1.900 ha a 2.215 ha y los espacios abiertos de 541 ha a 547 ha (Informe Gestión de la Urbanización en Ciudades Turísticas, 2006). Estos valores indican en términos porcentuales un crecimiento del área urbanizada del 16% respecto a un 1% de los espacios verdes. Estos valores indican que la ciudad presenta un porcentaje de espacios verdes inferior al índice recomendado (25%) y que ha decrecido en menos de dos décadas de 22% al 19,8%. (Cantón et al., 2003).

Además, las modificaciones en las condiciones naturales de espacios abiertos como resultado de nuevas tendencias de diseño, no apropiadas para climas áridos como el de Mendoza, fueron reemplazando los espacios verdes por áreas selladas de materiales diversos, produciendo alteraciones en perjuicio del microclima local.

Este trabajo tiene por objeto evaluar las consecuencias de las decisiones de diseño implementadas en las plazas de la ciudad de Mendoza sobre el comportamiento térmico de esta categoría de espacio abierto vegetado y su influencia sobre su entorno urbano mediato. El objetivo final es proponer el diseño más eficiente en torno a maximizar los beneficios asociados al uso de dichos espacios en zonas áridas y revertir los impactos negativos de la urbanización sobre la habitabilidad de las ciudades.

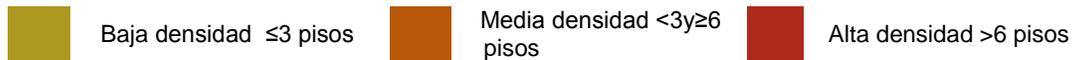
2. Metodología

2.1 Casos de estudio

Se han evaluado las condiciones térmicas de tres casos de estudio en la ciudad de Mendoza con características distintas en Términos de



Figura 1: Mendoza, Argentina: Espacios verdes. Fuente: pro-mza.com.ar.
 Figure 1: Green spaces in Mendoza, Argentina. Source: pro-mza.com.ar



Contexto urbano de alta densidad edilicia. Caso 1 -2.



Contexto urbano de baja densidad edilicia. Caso 3.

Figura 2: Localización de casos de estudio en el área metropolitana de Mendoza.
 Figure 2: Locations of case studies in the Mendoza metropolitan area.

Contexto de inserción, Forma, Organización interna, Superficie y Materialidad que se presentan en la Figura 3.

El caso 1 y 3 representan al 62,5% de las plazas en Mendoza dado que la forma cuadrada acompaña la retícula espacial urbana. Sus dimensiones de aproximadamente 12.000 m² corresponden a una cuadra (de su trama

urbana). En cuanto a su distribución interna consta de un núcleo central fuertemente materializado, delimitado el verde mediante un sistema radial, generando simetría de diseño en su orientación N-E, S-O y N-O, S-E. El caso 2 la plaza Manuel Belgrano se considera un caso atípico, presentando forma triangular y dimensiones menores en el orden de 7350,51 m², su configuración se desarrolla en

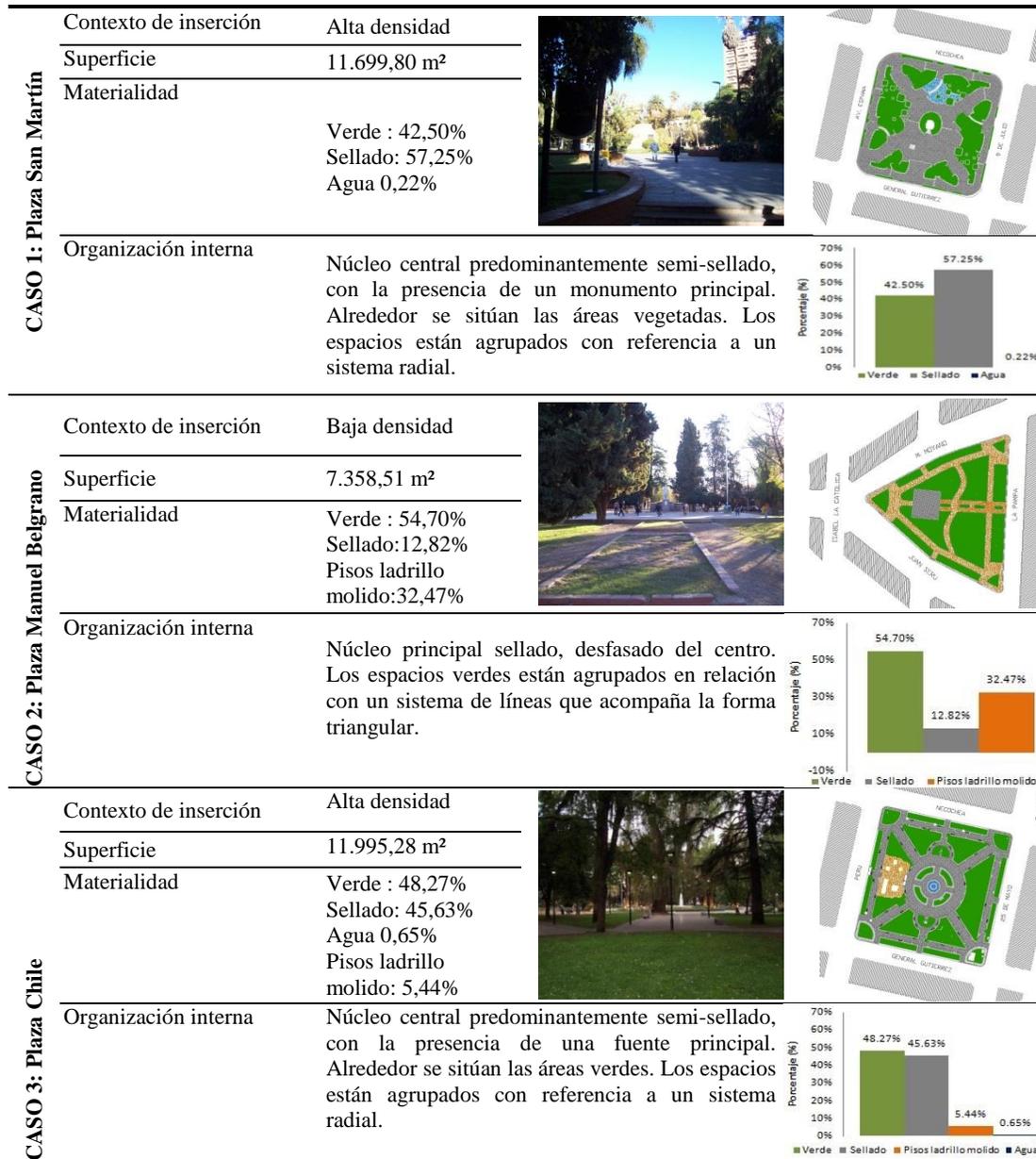


Figura 3: Caracterización formal y material de los casos de estudio.
Figure 3: Formal and material characterization of the case studies.



Figura 4: Caracterización de puntos de medición.
Figure 4: Characterization of the points of measurement.

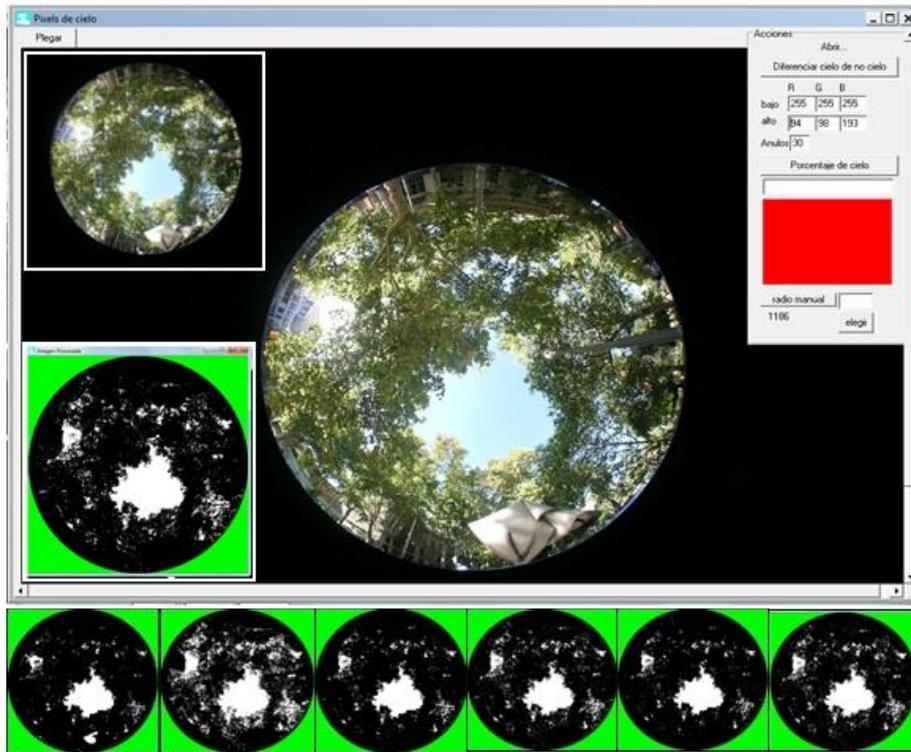


Figura 5: Proceso de determinación SVF, programa Pixel de cielo para el punto 1 Plaza San Martín.
Figure 5: Process of SVF determination, Pixel program for the sky at point 1, San Martín Plaza.

torno al núcleo principal sellado, desfasado del centro, y su eje de simetría en sentido E - O. En cuanto a la materialidad, en el caso 1 predominan las superficies selladas con una proporción verde/sellado de 0,75:1, en el caso 2 predominan las superficies verdes, con una relación verde/sellado de 7,25:1 y en el caso 3 se encuentran aproximadamente equilibradas ambas superficies, presentando una relación verde/sellado de 1,05:1. Todas las plazas contienen en su estructura tres esquemas definidos: bosque, prado y centro en distintas proporciones. Se define al bosque como un 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. Al prado se lo define como un área donde predominan las superficies de césped y vegetación herbácea perenne de escasa altura. La estructura de centro corresponde a un área donde predominan las superficies selladas, conformando un lugar de encuentro (Figura 4).

2.2 Factor de visión de cielo (SVF)

El factor de visión de cielo –SVF– es un parámetro climatológico usado para caracterizar las condiciones radiativas para un punto de observación, expresando la relación entre el área visible de cielo y la porción de bóveda celeste cubierta por los distintos componentes del medio.

Para la determinación del SVF se utilizó el programa PIXEL DE CIELO desarrollado en DELPHI 5.0 (opera en entorno Windows). Esta herramienta permite obtener el valor del factor de visión de cielo para un determinado punto a partir de imágenes digitales hemisféricas en formato JPG. Las mismas son tomadas con una cámara digital Nikon CoolPix equipada con una lente de ojo de pez.

Para la toma de imágenes se montó la cámara sobre un trípode, en cada uno de los puntos de análisis (bosque, prado y centro, tanto en su orientación norte como en la sur)

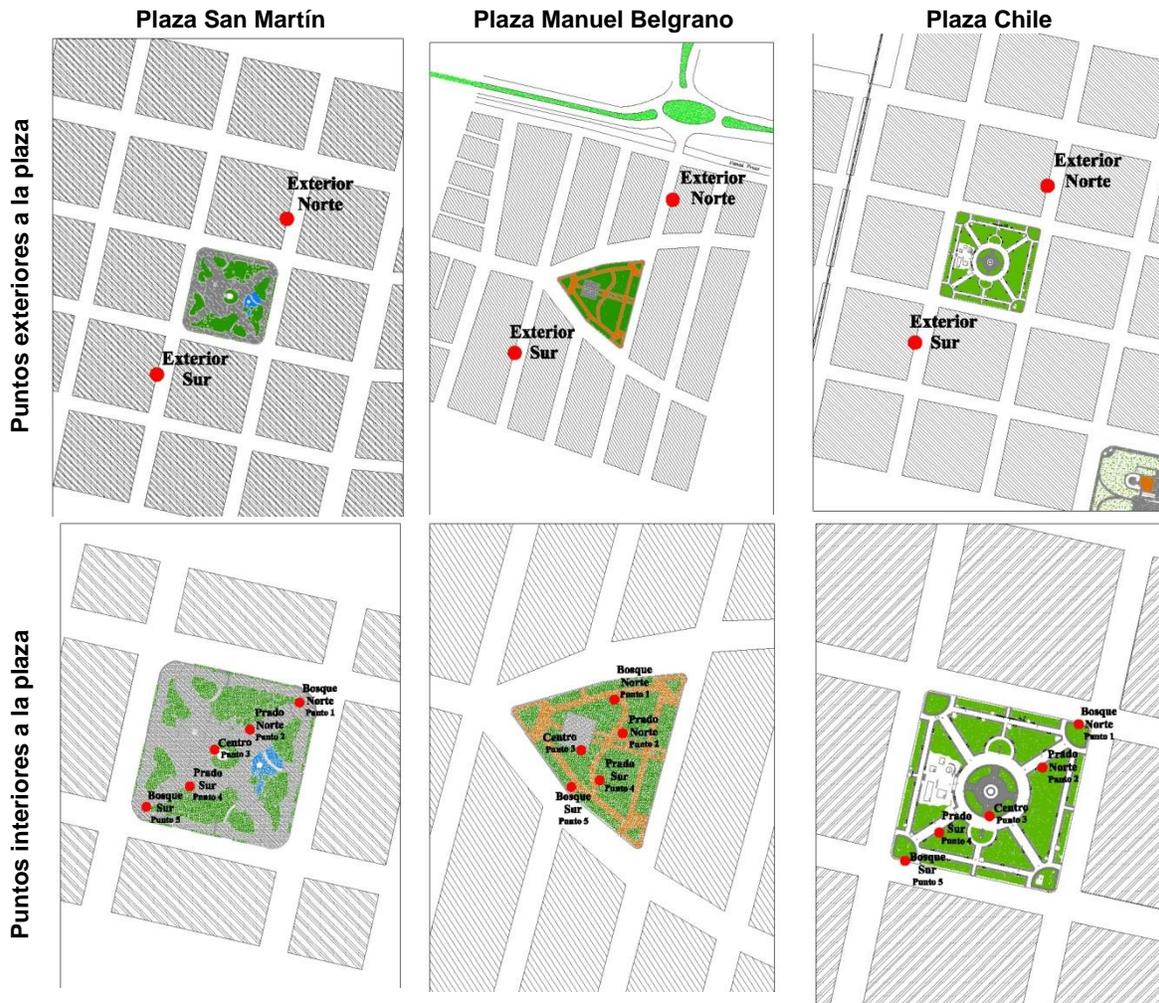


Figura 6: Localización de sensores de medición.
Figure 6: Locations of measurement sensors.

verificando que el lente esté apuntando hacia el cenit, permitiendo orientar la foto hacia el norte.

Los valores obtenidos son resultado de 6 pruebas realizadas por imagen, ajustando los rangos de delineación de colores presentes en el cielo, variando el valor del SVF (denominando bajo al color más oscuro del rango y alto al más claro) hasta llegar a la imagen que refleja con mayor precisión las condiciones reales de la imagen original (Correa, 2006) (Figura 5).

2.3 Método de medición - comportamiento térmico

Con el objeto de monitorear el comportamiento térmico de las distintas estructuras verdes de las plazas se desarrollaron mediciones de temperatura del aire, en la estación verano, durante un periodo de 40 días. Los datos se registraron cada 15 minutos bajo la siguiente configuración: cinco datalogger del tipo: H08-003-02 por espacio abierto y 2 datalogger de referencia en el espacio público de la calle en un eje

direccionado en el sentido norte-sur. Los mismos fueron calibrados anteriormente, exponiéndolos durante 7 días a condiciones similares de medición, elaborando una curva promedio, gráficos de dispersión y sus respectivas funciones de calibración.

Los sensores localizados en el interior de la plaza se corresponden con las distintas estructuras presentes en el espacio abierto: bosque, prado y centro sellado. El instrumental de medición fue colocado en el interior de una caja de material plástico, perforada en cuatro de sus caras (Cantón et al., 2007) y a una altura de dos metros (Oke, 2004). A modo de ejemplo se presenta la disposición espacial de los sensores ubicados en los tres casos de estudio, y sus alrededores (Figura 6).

3. Resultados

3.1 Factor de visión de cielo (SVF)

Los valores obtenidos de factor de visión de cielo (SVF) son el resultado del procesamiento de fotos hemisféricas tomadas en cada una de las estructuras. Los porcentajes obtenidos han sido evaluados en forma conjunta al comportamiento térmico de cada estructura a los efectos de asociar dichos comportamientos a la visión de cielo y la distribución de las sombras en relación con el recorrido del sol.

Desde el punto de vista del SVF la plaza Chile y San Martín presentan en su estructura de bosque valores similares entre 26% y 33%, la plaza Manuel Belgrano presenta valores menores en el orden de 24%. Las estructuras de prado muestran condiciones similares para la plaza Manuel Belgrano y Chile con valores entre 40% y 47% al igual que para la los centros donde sus valores son 60% (Manuel Belgrano) y 55% (Chile). El caso de la plaza San Martín, donde sus estructuras son de tipo más abiertas, sus prados presentan un valor máximo de 72%, 3 veces más abierta que los casos 2 y 3, en el caso del centro presenta un 82% siendo la estructura de mayor porcentaje de factor de visión de cielo.

3.2 Comportamiento térmico

De la observación del uso de las plazas en la ciudad de Mendoza podríamos decir que las plazas insertas en el espacio urbano

cumplen funciones diferentes durante el día y la noche.

Durante el periodo de enfriamiento, después de la puesta de sol, y de acuerdo con características, ofrecen beneficios tanto ambientales como sociales. Desde el punto de vista ambiental funcionan como mitigadores del fenómeno de la isla de calor al generar núcleos de enfriamiento dentro de la ciudad, y desde el punto de vista social ofrecen un ámbito de esparcimiento debido a sus temperaturas más benévolas y su condición paisajística. Durante el día, en condición de asoleamiento, funcionan más frecuentemente como espacios de transición y circulación urbana.

Es por ello que en este estudio los datos obtenidos mediante monitoreo se han analizado para un día representativo de verano en relación con dos periodos: el período de enfriamiento, comprendido entre las 20 y las 8 horas y el período de calentamiento comprendido entre las 10 y las 18 horas, se excluyen de este análisis los datos obtenidos para las 10 y las 18 horas, dado que se trata de horas de transición entre ambos períodos y muestran un comportamiento heterogéneo. Los comportamientos térmicos obtenidos han sido analizados relacionando los resultados obtenidos de la cuantificación del factor de visión de cielo y de la distribución de la vegetación en relación con el recorrido solar para cada uno de los espacios evaluados.

En la Figura 8 se muestra la evolución horaria de la curva de la temperatura del aire para las plazas evaluadas (casos de estudio) y las estructuras analizadas en cada una de ellas, para el periodo de enfriamiento y de calentamiento.

3.2.1 Período de enfriamiento

Caso 1 Plaza San Martín

Se observa una tendencia de enfriamiento progresivo que responde a un mismo patrón de comportamiento en las distintas horas medidas para todos los puntos. Cada uno de ellos se enfría aproximadamente 2,0 °C, cada dos horas, entre las 20 y 2 de la madrugada. Esta magnitud de enfriamiento disminuye oscilando entre 1,0 °C y 0,5 °C cada dos horas

para el periodo de 2 a 6 horas. Esta tendencia de enfriamiento progresivo que muestra un enfriamiento mayor en las primeras horas y disminuye hacia las últimas horas, se debe a que la diferencia entre la temperatura superficial y las fuentes de enfriamiento (aire y cielo) son mayores al principio del periodo incrementando las velocidades de transferencia convectiva y radiativa (Figura 8).

Las estructuras localizadas al sur de la plaza alcanzan temperaturas más elevadas respecto de las localizadas al norte debido a su condición de exposición solar que está vinculada no sólo al valor de SVF sino también a la distribución de la vegetación en relación al recorrido solar en la bóveda celeste (Figura 7).

En términos de enfriamiento la estructura de bosque localizada al sur (punto 5) enfría 8,0°C y el bosque norte (punto 1) 7,0°C. Esta leve diferencia se asocia a la diferencia de visión de bóveda de ambos puntos (punto 5 bosque sur SVF= 33% vs punto 1 bosque norte SVF= 21%). En el caso de los prados, la estructura localizada al sur enfría 7,0°C y el prado norte 8,0°C. En este caso la diferencia no se asocia a los valores de SVF -similares para ambos puntos- sino a su condición de mayor exposición solar durante el periodo de calentamiento debido a la distribución de la vegetación en relación con la trayectoria solar (Figura 7).

Respecto de sus alrededores el punto más fresco dentro de la plaza (punto 3: centro) presenta diferencias máximas de 2,0°C para cada hora evaluada, permaneciendo esta estructura siempre más fresca que su entorno. Para el caso de la estructura que se halla a mayor temperatura dentro de la plaza (bosque sur, punto 5) en relación con las temperaturas exteriores no se observan diferencias significativas, encontrándose esta configuración equiparada térmicamente con su entorno (Tabla 1).

Caso 2 Plaza Manuel Belgrano

Para las horas de enfriamiento comprendidas entre las 20 y 00 horas cada punto se enfría aproximadamente 1,5°C cada dos horas. Este enfriamiento aumenta a 2,0°C entre las 00 y las 2 horas y disminuye nuevamente a 1,5°C entre las 2 y las 4 horas, para el intervalo

siguiente (de 4 a 6 horas) esta diferencia desciende nuevamente a 1,0°C. (Figura 8).

Se observa que el centro de la plaza - punto 3-, SVF= 60%, y el prado sur -punto 4-, SVF=42%, son las estructuras que más enfrían y presentan una variación de temperatura similar ($\Delta T= 7,5^{\circ}\text{C}$). Esto se debe nuevamente al balance entre el efecto de la exposición a la fuente de enfriamiento y la acumulación de calor en los materiales. Por ejemplo el centro (punto 3) presenta una mayor exposición y se compone de una materialidad sellada con mayor capacidad de acumulación de calor mientras que el prado sur (punto 4) presenta menor exposición a la fuente de enfriamiento y menor acumulación de calor dado su carácter fuertemente vegetado (Figura 7).

El punto 5, que corresponde a una estructura de bosque ubicado al sur de la plaza, SVF= 25% es la estructura que menos enfría con un gradiente de temperatura de 6,0°C, como consecuencia directa de su menor acceso a la fuente de enfriamiento radiante.

Si analizamos la estructura de prado localizada al sur (punto 4) enfría 7,5°C en comparación con el prado norte (punto 2) que enfría 6,5°C. En este caso la diferencia no se asocia al grado de exposición a la fuente de enfriamiento radiante dado que los valores de SVF son similares para ambos puntos, 47% vs 42%, sino a su condición de mayor exposición solar durante el periodo de calentamiento que depende de la relación entre la ubicación de la vegetación y su intercepción a la trayectoria solar, esto puede verse claramente si se comparan los escenarios del punto 2 y el punto 4 para la plaza Manuel Belgrano en la Figura 7.

El punto más frío dentro de la plaza (prado norte) presenta diferencias que oscilan entre 5,0°C a 3,0°C respecto de sus alrededores. El punto interior a la plaza que se encuentra a mayor temperatura durante el periodo considerado (prado sur) presenta diferencias de 2,7°C a 1,7°C con respecto al entorno. Es decir que para este caso evaluado, cualquier estructura dentro de la plaza siempre se encuentra más fresca que su entorno (Tabla 1).

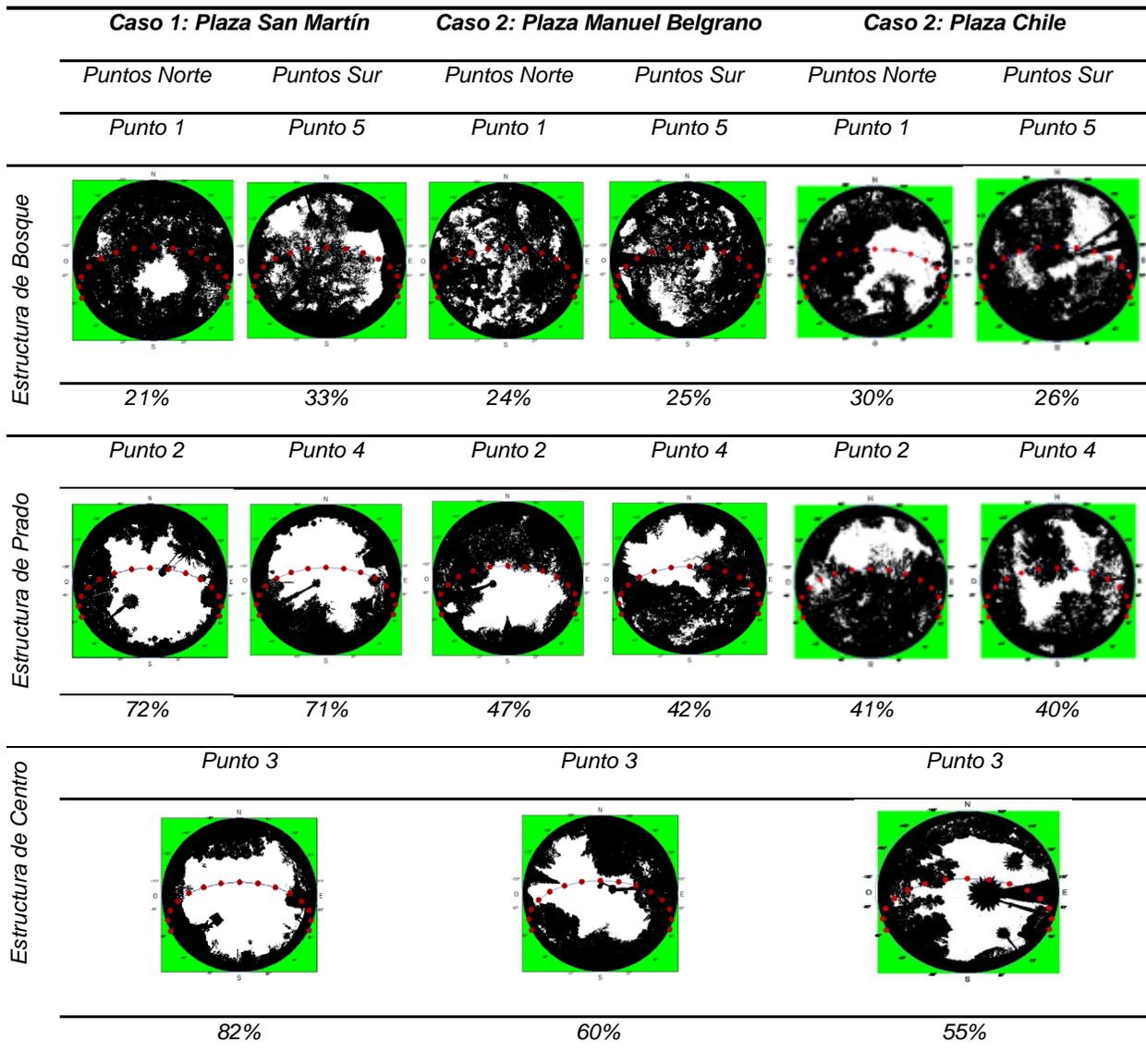


Figura 7: Factor de visión de cielo (SVF) y su relación con el recorrido solar para las diferentes estructuras evaluadas.
 Figure 7: Sky View Factor (SVF) and its relation to sun path for the different evaluated structures.

Caso 3 Plaza Chile

Durante el enfriamiento se observa la misma tendencia de comportamiento que para el caso 1 (Plaza San Martín). Es decir un enfriamiento progresivo en el cual cada punto evaluado se enfría aproximadamente 2,0°C cada dos horas para el periodo comprendido entre las 20 y 2 horas. Este efecto disminuye progresivamente enfriando cada punto entre 1,5°C y 1,0°C cada dos horas, para el período

comprendido entre las 2 y las 6 horas. Las razones que justifican este comportamiento son las mismas que se explicaron anteriormente para el caso 1 (Plaza San Martín); es decir se deben a que la diferencia entre la temperatura superficial y las fuentes de enfriamiento (aire y cielo) son mayores al principio del periodo de enfriamiento incrementando las velocidades de transferencia convectiva y radiativa.

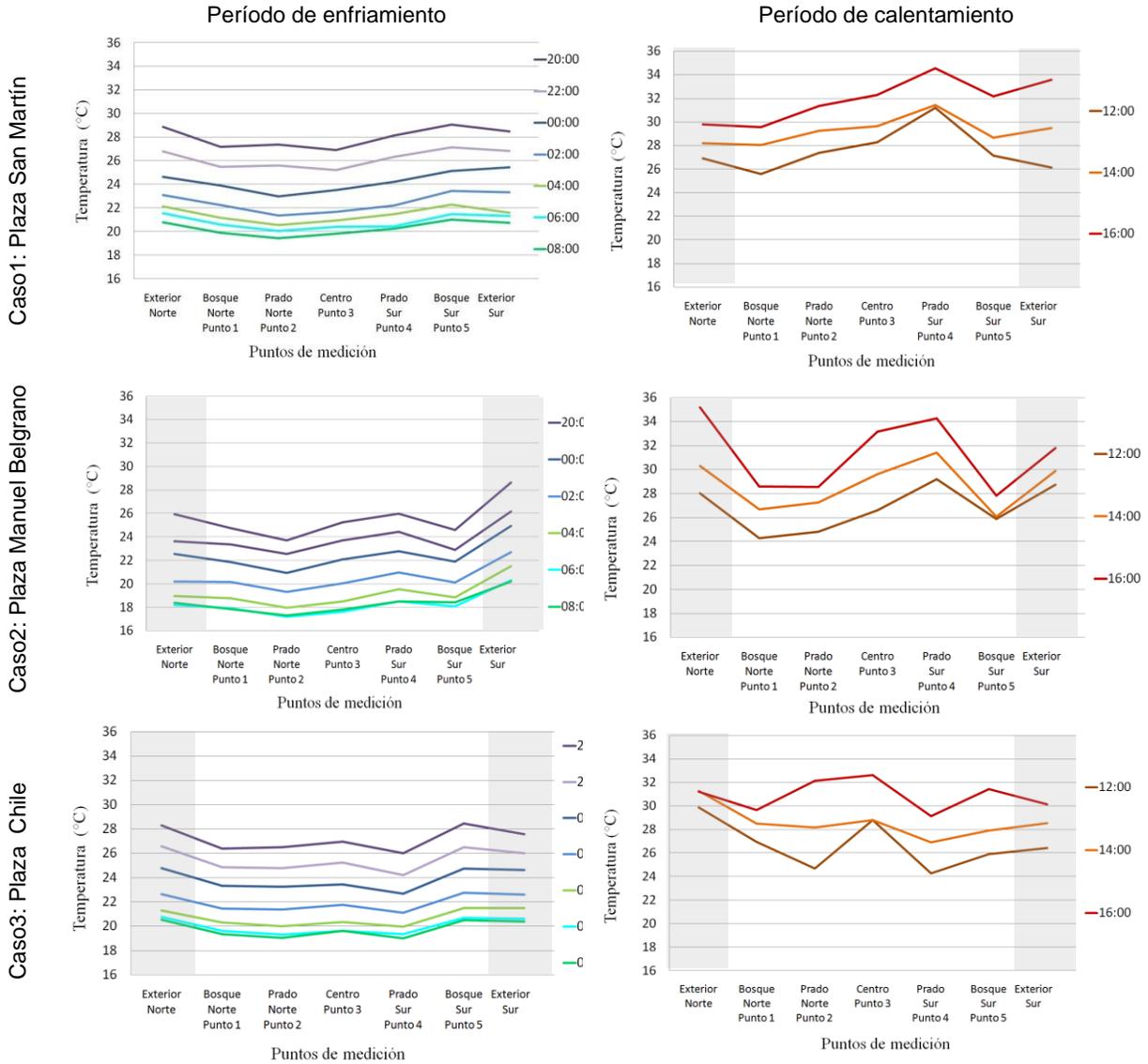


Figura 8: Curvas de temperatura del aire de un día representativo de verano de los casos de estudio. Figure 8: Air temperature curves on a representative summer day for the case studies.

La estructura que más enfría es el bosque localizado al sur (punto 5), SVF= 26%, presentando una variación de temperatura de 8,0°C. Esto puede atribuirse a la baja acumulación de calor durante el periodo de calentamiento dada su estructura predominantemente verde y su baja exposición solar, que puede corroborarse en el esquema que muestra la imagen hemisférica, donde aparece la disposición de la vegetación en relación al recorrido solar, con un SVF= 26% (Figura 7), esta menor acumulación de calor sumada a un acceso a la fuente de enfriamiento que aunque menor que el de las

otras estructuras presenta diferencias no tan significativas (oscilan entre el 4 y el 29%), parecería justificar su comportamiento.

La estructura que menos enfría es el prado sur, correspondiente al punto 4 (SVF= 40%), con un enfriamiento de 7,0°C. Esta estructura presenta sólo un 14% más de acceso a la fuente de enfriamiento radiativo comparada con la estructura que más enfría dentro de la plaza bosque sur (punto 5) pero una ganancia de calor significativamente mayor durante el periodo de calentamiento, lo cual puede apreciarse si se comparan la

distribución de la vegetación en relación al recorrido solar para ambas estructuras (Figura 7, punto 5 vs punto 4 plaza Chile), esto justifica su menor proporción de enfriamiento.

Los prados presentan igual SVF y condiciones de enfriamiento similares (prado norte $\Delta T_{enf} = 7,5^{\circ}\text{C}$, prado sur $\Delta T_{enf} = 7,0^{\circ}\text{C}$). Se observa que poseen materialidad, visión de bóveda y relación recorrido solar-distribución de la vegetación con resultados similares, esto determina la semejanza de sus intercambios radiativos tanto durante el día como durante la noche.

El centro -punto 3- (SVF= 55% y $\Delta T_{enf} = 7,4^{\circ}\text{C}$) presenta una magnitud de enfriamiento semejante a la de los prados compensando su 15% más de acceso a la fuente de enfriamiento con una mayor cantidad de calor acumulado debido a las características de su materialidad.

La estructura dentro de la plaza que se encuentra más fresca durante el periodo analizado (prado sur, punto 4) presenta diferencias del orden de $2,3^{\circ}\text{C}$ a $1,5^{\circ}\text{C}$ respecto de sus alrededores, permaneciendo esta configuración de la plaza siempre más fresca. La estructura que permanece más caliente dentro la plaza (bosque sur, punto 5) no presenta diferencias respecto de los alrededores, es decir que en todo el período esta configuración de la plaza se halla a igual temperatura que sus alrededores en la ciudad (Tabla 1).

3.2.2 Período de calentamiento

En general, se observa que la curva que representa la temperatura del aire de las diferentes configuraciones espaciales evaluadas en cada una de las plazas, presenta un pico máximo que decrece hacia los bordes de la plaza con un comportamiento funcional variable que responde a las características particulares de los espacios analizados y los entornos en los que se insertan. La condición térmica más demandante en las plazas se observa alrededor de las 16 horas.

Caso 1 Plaza San Martín

En el caso de la plaza San Martín el

entorno Sur generalmente se encuentra a mayor temperatura que el Norte y por lo tanto, el máximo de temperatura de la plaza se desplaza hacia esa orientación. Se observa para cada uno de los puntos en las distintas horas medidas, una tendencia de calentamiento progresivo, que a diferencia del caso de enfriamiento, no responde a un patrón de comportamiento homogéneo. En la mayoría de los casos se observa un grado de calentamiento mayor entre las 14 y las 16 horas que alcanza diferencias de $3,2^{\circ}\text{C}$ para la configuración más caliente (punto 4 prado sur) y de $1,6^{\circ}\text{C}$ para la configuración más fresca (bosque norte, punto 1).

Las temperaturas máximas se concentran en la estructura de prado localizado hacia el Sur (punto 4); con valores comprendidos entre los $31,2^{\circ}\text{C}$ y $34,6^{\circ}\text{C}$. Las mayores temperaturas están asociadas a la combinación entre la materialidad de ámbito y la exposición solar (prado sur, punto 4: SVF= 71%); esta estructura al no presentar masa de acumulación, su curva de temperatura del aire acompaña a la curva de radiación solar (Figuras 7 y 8).

La estructura correspondiente al bosque norte (punto 1) es la que tiene las menores temperaturas, que oscilan entre $25,6^{\circ}\text{C}$ y $29,6^{\circ}\text{C}$ con un SVF= 21%. Se observa que esta estructura tiene una atenuación importante de la radiación directa que define su condición térmica. (Figuras 7 y 8)

De modo particular, la estructura de centro (punto 3) muestra condiciones térmicas intermedias, cuyas temperaturas oscilan entre $28,3$ y $32,3^{\circ}\text{C}$, debido a que si bien es el punto que presenta mayor exposición solar (SVF= 82%), la inercia asociada a su materialidad atenúa las temperaturas del aire del ámbito.

Respecto al entorno de la plaza, el punto más caliente (prado sur), se encuentra siempre a mayor temperatura que sus alrededores con diferencias a las 16 horas de $4,8^{\circ}\text{C}$ respecto de su entorno más fresco y de $1,0^{\circ}\text{C}$ respecto de su entorno más caliente. Para el caso del punto más fresco, el bosque norte, siempre se encuentra más fresco que sus alrededores con diferencias a las 16 horas de $4,0^{\circ}\text{C}$ respecto a su entorno más caliente (Tabla 2).

Tabla 1: Promedios horarios de temperaturas durante el periodo de enfriamiento en los casos de estudio.
Table 1: Average hourly temperatures during the cooling period in the case studies.

Plaza	Hora	Exterior Norte	Bosque Norte Punto 1	Prado Norte Punto 2	Centro Punto 3	Prado Sur Punto 4	Bosque Sur Punto 5	Exterior Sur
San Martín	20:00	28.9	27.2	27.4	26.9	28.2	29.1	28.5
	2:00	23.1	22.3	21.4	21.7	22.2	23.5	23.3
	8:00	20.8	19.9	19.3	19.8	20.2	21.0	20.8
Manuel Belgrano	20:00	26.0	24.8	23.7	25.3	26.0	24.6	28.6
	2:00	20.2	20.2	19.3	20.0	21.0	20.1	22.7
	8:00	18.4	17.9	17.3	17.8	18.5	18.4	20.2
Chile	20:00	28.3	26.4	26.5	27.0	26.0	28.4	27.6
	2:00	22.6	21.5	21.4	21.7	21.1	22.8	22.6
	8:00	20.6	19.3	19.0	19.6	19.0	20.5	20.4

Entorno de temperaturas más elevadas Estructura más fría de la plaza Estructura más caliente de la plaza

Tabla 2: Promedios horarios de temperaturas durante el periodo de calentamiento en los casos de estudio.
Table 2: Average hourly temperatures during the heating period in the case studies.

Plaza	Hora	Exterior Norte	Bosque Norte Punto 1	Prado Norte Punto 2	Centro Punto 3	Prado Sur Punto 4	Bosque Sur Punto 5	Exterior Sur
San Martín	12:00	26.9	25.6	27.4	28.3	31.2	27.2	26.1
	14:00	28.2	28.0	29.2	29.6	31.4	28.7	29.5
	16:00	29.8	29.6	31.4	32.3	34.6	32.2	33.6
Manuel Belgrano	12:00	28.0	24.3	24.8	26.6	29.2	25.9	28.7
	14:00	30.3	26.7	27.2	29.6	31.4	26.1	29.9
	16:00	35.2	28.6	28.5	33.2	34.3	27.8	31.8
Chile	12:00	29.9	27.0	24.7	28.8	24.3	25.9	26.4
	14:00	31.3	28.5	28.2	28.8	26.9	27.9	28.6
	16:00	31.2	29.6	32.1	32.6	29.1	31.4	30.1

Entorno de temperaturas más elevadas Estructura más fría de la plaza Estructura más caliente de la plaza

Caso 2 Plaza Manuel Belgrano

La plaza Manuel Belgrano, en la cual la temperatura de sus entornos Norte y Sur se encuentran equilibradas en el periodo comprendido entre las 12 y las 14 horas, se observa que la curva que representa su comportamiento térmico es semejante en los bordes y crece hacia el interior de la misma alcanzando sus mayores temperaturas en la configuración de prado localizado hacia el sur (punto 4) entre las 12 y 16 horas; con valores comprendidos entre 29,0 y 34,0°C (Figura 8). Esto se debe al efecto de la materialidad, que

al ser predominantemente verde posee menor admitancia térmica y a la distribución de la vegetación en relación al recorrido solar que determina la mayor exposición del ámbito en las horas de mayor intensidad de la radiación (Figura 7).

La estructura más fresca corresponde a la configuración de bosque alternando las menores temperaturas entre la orientación norte (punto 1) y sur (punto 5), dicha alternancia responde al efecto de la distribución de la vegetación y su relación con el recorrido solar aún en condiciones de visión

de cielo semejantes (SVF, 24 y 25%). Las temperaturas para esta configuración oscilan entre 24,3 y 27,8°C.

Al igual que en el caso de la plaza San Martín, la estructura de centro (punto 3) muestra condiciones térmicas intermedias, pero con un rango mayor de oscilación de las temperaturas (26,5 a 33,2°C entre las 12 y las 16 horas), esto se debe a que el centro de la plaza Manuel Belgrano presenta un porcentaje menor de superficie sellada.

Respecto de su entorno, el punto más caliente de la plaza (prado sur) presenta una diferencia máxima de 1,0°C respecto de su entorno más caliente siendo entre las 12 y 14 horas la plaza levemente más caliente que su entorno, a partir de las 16 horas esta estructura de la plaza se encuentra 1,0°C más fresca. El punto más fresco (bosque) alcanza diferencias respecto de su entorno más caliente de 7,0°C a 4,0°C entre las 12 y las 16 horas estando siempre este punto de la plaza más fresco que los alrededores (Tabla 2).

Caso 3 Plaza Chile

La curva que representa el comportamiento térmico de la plaza es de tendencia sinusoidal, alcanza las máximas temperaturas en la estructura de centro (punto 3) con valores comprendidos entre 28,8°C y 32,6°C, temperaturas intermedias en la estructura de bosque (punto 1 y punto 5) y temperaturas mínimas en los prados (punto 2 y punto 4) para las 12 y las 14 horas. Este comportamiento varía a las 16, en donde las temperaturas máximas se registran en las estructuras de centro y prado norte (punto 3 y punto 2). A diferencia de los casos anteriores, donde la estructura de prado muestra temperatura más elevadas que los bosques, en esta plaza las estructuras de prado evaluadas se caracterizan por poseer mayor influencia de la vegetación de borde, dada la altura de la misma, lo que genera que la estructura de esta configuración se asemeje en gran medida a las estructuras de bosque. Como consecuencia de esto y de la relación entre la distribución de la vegetación y el recorrido solar los prados se encuentran a menor temperatura (Figuras 7 y 8).

Las máximas temperaturas alcanzadas en la estructura de centro (punto 3) son el resultado de una distribución de borde de la vegetación que potencia la exposición plena del espacio en las horas de máxima radiación solar (Figuras 7 y 8).

El punto más caliente de la plaza (centro) se encuentra hasta 2,5°C más fresco que su entorno más caliente entre a las 12 y a las 14 horas, a las 16 esta situación se invierte y el centro de la plaza se encuentra 1,4°C más caliente que su entorno. El punto más fresco (prado sur) alcanza diferencias máximas de 5,6°C por debajo de la temperatura de sus alrededores, estando siempre esta configuración de la plaza más fresca.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran la importancia de las plazas como espacio regulador de las condiciones térmicas del entorno construido mediato. Sin embargo, su eficiencia como atenuador de las condiciones climáticas de la ciudad está relacionada con las diferentes estructuras que conforman el ámbito de la plaza; dependiendo de su diseño, su materialidad, su visión de bóveda celeste y su grado de exposición solar (resultante de la combinación entre la estructura vegetal y la geometría solar).

En el período de enfriamiento se observa que el efecto de enfriamiento de la plaza dentro del entorno urbano es proporcional a la relación verde- sellado que presenta. De los resultados se desprende que el punto más fresco de la Plaza Manuel Belgrano donde la relación verde / sellado es de 7,25:1, se encuentra hasta 5,0°C por debajo de la temperatura de su entorno más caliente, en la plaza Chile donde la relación verde / sellado es de 1,05:1 se encuentra 2,3°C por debajo de su entorno más caliente y finalmente en la plaza San Martín donde la relación verde / sellado es de 0,75:1 se encuentra 2,0°C por debajo de su entorno más caliente.

Si tenemos en cuenta la variable factor de visión de cielo, los resultados apoyan lo concluido previamente. Se observa que la Plaza Manuel Belgrano con SVF promedio de 39% y mayor proporción de áreas verdes, presenta una diferencia de temperatura con su

entorno que duplica a la que presenta la plaza Chile con un SVF promedio semejante (38%).

Analizando el comportamiento de cada una de las estructuras presentes en las plazas (centro, bosque y prado) respecto del enfriamiento en relación con su entorno más caliente, se observa lo siguiente: En la Plaza Manuel Belgrano las diferentes estructuras están siempre más frescas que su entorno, presentando la estructura más desfavorable (prado sur) diferencias del orden de 2,7°C; mientras que en la plaza San Martín y Chile, algunas estructuras presentan condiciones similares al entorno. Estos resultados ponen de manifiesto, nuevamente, la relevancia de la condición verde en relación al resto de los parámetros analizados. Y se evidencia la necesidad, respecto a los espacios verdes de determinar cómo debe ser la proporción de estructura de bosque y prado para potenciar los beneficios de la plaza en términos de enfriamiento.

En futuras etapas se evaluará un número mayor de casos que combinen diferentes rangos de relación verde/sellado y factor de visión de cielo para determinar donde se localiza la combinación óptima que genere la mayor eficiencia térmica del espacio en relación con su potencial de enfriamiento.

En el período de calentamiento las mayores temperaturas en la plaza resultan del efecto combinado de la exposición solar del ámbito y su materialidad. Siendo la variable de mayor impacto la exposición solar. A igual materialidad (verde), la estructura de prado presenta siempre temperaturas más elevadas que la estructura de bosque, esto se debe a la mayor exposición solar inherente a la condición de prado y a la distribución de la vegetación en el espacio respecto al recorrido solar. Esta situación se verifica plenamente para el caso de la plaza San Martín; y parcialmente para los casos restantes debido a que no siempre se cumple la condición de máxima exposición para el prado y mínima exposición para el bosque (Figura 6). En futuras etapas se evaluarán diferentes factores de exposición solar resultantes de distintos esquemas de distribución de la vegetación, a los efectos de determinar intervalos donde se localiza la mayor eficiencia térmica del espacio para el período de calentamiento.

A escala macro la plaza más eficiente es aquella que potencia el enfriamiento nocturno con el objeto de mitigar el efecto de isla de calor. En el marco de los casos estudiados la plaza Manuel Belgrano es la que permite alcanzar esta condición de manera más eficiente.

A escala micro, en la condición de verano, considerando la aptitud del espacio para su habitabilidad durante el día (período de calentamiento), siempre las plazas evaluadas se encuentran fuera del rango de temperaturas de confort; esto indicaría que ninguna de las estructuras analizadas garantiza condición de confort térmico durante este período. Sin embargo es el bosque la estructura que presenta menores temperaturas como resultado de su condición de sombra, por lo que desde el punto de vista del uso social, podría sugerirse a esta estructura como la más viable.

En términos de diseño y considerando los comportamientos analizados previamente, se deriva que una plaza eficiente térmicamente tiene que considerar: Sombrear las áreas selladas, usar la vegetación como elemento de control solar, distribuir adecuadamente los esquemas de bosque y prado a modo de controlar las temperaturas máximas durante el día y permitir el refrescamiento nocturno.

Respecto de la situación actual de las plazas de Mendoza el esquema tradicional presenta en su mayoría una distribución simétrica de los espacios, con grandes áreas selladas sin sombra y donde las áreas selladas y las áreas vegetadas están distribuidas sin cuidar su relación con la exposición solar, esto produce una atenuación de los beneficios del espacio desde el punto de vista térmico. Tanto en lo que refiere a la habitabilidad del mismo como sus beneficios sobre el enfriamiento de la ciudad.

Estas conclusiones ponen de manifiesto la necesidad de reflexionar y revisar las estructuras de plazas existentes, en cuanto a sus esquemas de diseño, dado que el esquema tradicional que plantea una distribución de espacios en forma simétrica, parece no ser el que combina en forma más eficiente las distintas variables involucradas en el comportamiento térmico de la plaza:

materialidad, distribución de la vegetación y exposición solar.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONICET (Consejo Nacional de investigación Científica y Tecnológica) y a ANPCYT (Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica) la financiación recibida para el desarrollo de esta investigación.

Referencias Bibliográficas

Akbari, H., Davis, S., Dorsano, S., Huang, J. & Winnett, S. (1992). *Cooling our Communities: a Guidebook On Tree Planting and Light-Colored Surfacin*. Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency (USEPA).

Bórmida, E. (1984). *Mendoza, una ciudad oasis* Universidad de Mendoza.

Cantón, M. A., De Rosa, C. & Kasperidus, H. (2003). *Sustentabilidad del bosque urbano en el área metropolitana de la ciudad de Mendoza. Análisis y diagnóstico de la condición de las arboledas*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 7, 1, 01.29-01.34.

Cantón M. A. & Fernández, J. (2007). *Comportamiento térmico de verano de diferentes configuraciones de sombra en patios urbanos emplazados en climas áridos. Validación del método y Estudio de casos*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11, 01.89 -01.95.

Correa, E. N. (2006). *Isla de Calor Urbana. El Caso del Área Metropolitana de Mendoza*. Tesis Doctoral.

Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas. Argentina.

Heisler, G. M. (1986). *Energy savings with trees*. *Journal of Arboriculture*. 12(5):113-125.

Martínez, C. F., Cantón, M. A. & Roig, F. A. (2009). *Impacto de la condición de aridez en el desarrollo ambientalmente sustentable de la ciudad oasis. El caso del arbolado urbano en el Área Metropolitana de Mendoza*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 13, 01.113 - 01.120.

Oke, T.R. (2004). *Initial Guidance To Obtain Representative Meteorological Observations. At Urban Sites*. Iom Report, Td In Press, World Meteorological Organization, Geneva.

Provincia de Mendoza y la Comunidad Europea. (2006) *Informe Gestión de la Urbanización en Ciudades Turísticas*. Mendoza, Argentina.

Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K. & Williams, J. (2000). *Manejo de las áreas verdes urbanas*. Documento de buenas prácticas. Washington, D.C, No. ENV 109.

Rosenfeld, A., Akabari, H., Akabari, J.J. & Romm Pomerantz, M. (1998). *Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction*; *Energy and Buildings*. 28, pp. 51–62.

Santamouris, M. (Ed.) (2001). *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. James & James. London, UK.

Recibido: 05|07|2013
Aceptado: 13|11|2013