



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

COMPONENTES URBANOS PRESENTES EN CIUDADES “OASIS” DE ZONAS ÁRIDAS Y SU INFLUENCIA SOBRE LAS CONDICIONES DE CONFORT TÉRMICO

M. Angélica Ruiz (1), Erica Correa (1) y M. Alicia Cantón (1)

(1) INCIHUSA. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. CONICET-CCT-Mendoza, Argentina

–e-mail: aruiz@mendoza-conicet.gov.ar, ecorrea@mendoza-conicet.gov.ar, macanton@mendoza-conicet.gov.ar

RESUMEN

Las estrategias de diseño urbano en ciudades de zonas áridas que responden al esquema de “ciudad oasis”, se orientan fundamentalmente al control de la radiación solar por medio de la trama forestal. Para este tipo de esquema, es necesario analizar cómo la estructura verde interactúa con las distintas combinaciones de los componentes urbanos típicos (densidad edilicia y morfología, ancho de trama, propiedades térmicas y ópticas de los materiales, tránsito vehicular, etc.). El objetivo final es determinar las combinaciones óptimas en términos de confort térmico y proporcionar herramientas para un adecuado diseño del paisaje en éstas ciudades. En este trabajo se examinan 16 canales viales, que presentan distintas combinaciones de estructuras forestales, trama urbana y tejido edilicio, representativos del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. El confort térmico se ha determinado mediante el método COMFA y el peso de los distintos factores sobre las condiciones de confort se ha obtenido a través de un análisis de las variables presentes en los canales viales evaluados. Los resultados muestran que el grado de confort responde a las características de crecimiento y desarrollo de las configuraciones forestales evaluadas y la configuración edilicia de la ciudad estudiada. Las mejores respuestas están dadas por las configuraciones que proporcionan un adecuado SVF de manera tal que favorecen la sombra durante el día y el enfriamiento radiativo durante la noche.

Palabras clave: confort térmico, canales viales, forestación urbana, zonas áridas, ciudad oasis.

INTRODUCCIÓN

La ciudad representa la forma más radical de transformación del paisaje natural, pues su impacto ha causado, entre otros factores, una alteración en el balance de energía de las superficies modificando las condiciones climáticas y ambientales de los entornos construidos (MATZARAKIS, 2002; CHANDLER, 1976; LANDSBERG, 1981). Este hecho condiciona la forma de vida de sus habitantes y es por ello que el diseño de los espacios públicos supone una respuesta a las condiciones climatológicas del lugar de modo de crear condiciones que mejoren la habitabilidad de los espacios urbano-edilicios.

En zonas áridas y semiáridas, los modelos de producir ciudad para dar respuesta a esta problemática, se centran en la construcción de sombras a los fines de disminuir la exposición solar del conjunto y reducir la acumulación de calor sobre las superficies duras de la ciudad (pavimentos, veredas y paramentos edilicios). Este objetivo da lugar a desarrollos urbanos del tipo compacto, conformados por calles estrechas y edificios entrelazados mediante patios de pequeñas dimensiones, en donde el modelo en sí mismo genera sombras.

El caso de Mendoza, Argentina, también inserto en un contexto semiárido, difiere del modelo descripto previamente. Su estructura urbana es del tipo abierta y resulta de la superposición de tres tramas: urbana, edilicia y forestal. La trama urbana se caracteriza por la estructura de manzanas en damero (100x100) y calles anchas de 16, 20 y 30 m. Respecto a la trama edilicia, las distintas tipologías arquitectónicas estructuran una ciudad continua en las primeras etapas de su desarrollo urbano y discontinua a partir del advenimiento del Movimiento Moderno a principios del S.XX. Por último, la trama verde está conformada por parques, plazas y arbolado de alineación que bordea los límites de las manzanas urbanas. La trama verde introduce en la ciudad lo que Le Corbusier llamó “*les conditions de nature*” y permite equilibrar obra muerta (edificaciones, pavimentos) con obra viva (árboles, parques, plazas). Desde el punto de vista microclimático, la sombra arrojada por la copa de los árboles sobre el espacio urbano y la edilicia constituye la estrategia de mitigación del clima y en consecuencia la validez del modelo se sustenta en la presencia del verde urbano.

Si bien, la morfología resultante del arbolado de alineación – túneles abovedados – asociada a las distintas características de la trama urbano-edilicia, representa un beneficio neto durante el día, no permite durante la noche el enfriamiento -principalmente radiativo- de los canales viales debido a la menor visión de cielo (SVF). En consecuencia la isla de calor nocturna alcanza valores máximos de 10°C alterando las condiciones de confort del espacio público y los consumos energéticos del sector edilicio. Por otra parte, el carácter periférico del principal parque de la ciudad – Parque Gral. San Martín, los criterios de diseño que han guiado los parques de reciente creación y el progresivo sellamiento de las plazas y patios tampoco contribuyen a potenciar los beneficios microclimáticos del verde urbano.

Este trabajo tiene por objeto evaluar distintos escenarios urbanos en el contexto de 16 canales viales característicos del Área Metropolitana de Mendoza a los fines de identificar perfiles urbanos en donde la combinación de las distintas variables intervinientes -edilicias urbanas y forestales- permita compatibilizar la condición de sombreado de día y de visión de bóveda nocturna y mejorar las condiciones térmicas nocturnas del espacio público. Es decir, se pretende identificar en qué medida cada elemento del balance de energía tiende a crear confort de modo de sugerir a diseñadores y planificadores urbanos aquellas morfologías de canales viales que colaboren mayormente a optimizar las condiciones de habitabilidad del espacio urbano-edilicio.

1 OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es determinar el confort térmico alcanzado en 16 canales viales de la ciudad los cuales representan distintas situaciones urbanas típicas. Los mismos combinan distintas situaciones de ancho de trama, densidad edilicia y estructura forestal. Además, explorar el nivel de impacto con la que cada una de las variables afecta el resultado final.

2 METODOLOGÍA

3.1 Selección de los casos de estudio

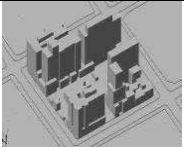

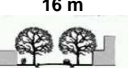
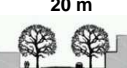

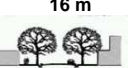


A partir de los procesos que experimentó la ciudad de Mendoza en su evolución histórica, vemos que la estructura espacial se ha desarrollado en forma piramidal concentrando la mayor masa edilicia en el sector fundacional que corresponde al microcentro de la ciudad y va decreciendo progresivamente hacia la periferia de la mancha urbana del Área Metropolitana de Mendoza, hasta alcanzar las mínimas densidades en las áreas residenciales. De este modo, el espacio urbano puede estructurarse en tres densidades edilicias características: alta, media y baja. De ellas, sólo alta y baja densidad edilicia se encuentran como áreas consolidadas dentro de la estructura de la ciudad.

Por otra parte, tomando como variable de enfoque las dimensiones del ancho de las calles, se destacan tres tipos de Cañones Viales Urbanos (CVU): canales de 16 m, 20 m y 30 m. Respecto a la configuración forestal de la ciudad, el 83.78% de las especies forestales corresponden a la Primera y Segunda Magnitud representadas mayoritariamente por *Platanus acerifolia*, *Morus alba* y *Fraxinus excelsior*. (CANTÓN *et al.*, 2003).

Basados en éstas características, se decidió evaluar el comportamiento térmico de verano de dieciséis configuraciones de cañones urbanos orientados E-O (situación más comprometida térmicamente) situados en la zona de alta y baja densidad edilicia. Esta estructura espacial y el periodo de calentamiento en verano son las condiciones más rigurosas en cuanto al confort térmico. Los casos son representativos de la combinación entre los tres tipos de ancho de canal vial y las tres especies vegetales, las cuales presentan distintas respuestas termo-lumínicas.

En la tabla 1 pueden verse las combinaciones de variables presentes en cada caso de estudio.

Tabla 1 – Definición de los casos de estudio. Variables morfológicas da cada uno de ellos.

		ALTA DENSIDAD EDILICIA			BAJA DENSIDAD EDILICIA		
							
ANCHO CANAL VIAL		16 m	20 m	30 m	16 m	20 m	30 m
		 Cañón de 16m	 Cañón de 20m	 Cañón de 30m	 Cañón de 16m	 Cañón de 20m	 Cañón de 30m
E S P E C I E F O R E S T A L	PLATANUS ACERIFOLIA	SVF=0.11 (1)	SVF=0.14 (2)	SVF=0.23 (3)	SVF=0.16 (4)	SVF=0.15 (5)	SVF=0.31 (6)
	MORUS ALBA	No existe la tipología en la ciudad	SVF=0.33 (7)	SVF=0.41 (8)	SVF=0.25 (9)	SVF=0.16 (10)	SVF=0.51 (11)
	FRAXINUS EXCELSIOR	SVF=0.41 (12)	No existe la tipología en la ciudad	No existe la tipología en la ciudad	SVF=0.24 (13)	SVF=0.32 (14)	SVF=0.75 (15)
	SIN ÁRBOLES	No existe la tipología en la ciudad	SVF=0.50 (16)	No existe la tipología en la ciudad	No existe la tipología en la ciudad	No existe la tipología en la ciudad	No existe la tipología en la ciudad

3.2 Monitoreo y evaluación del comportamiento térmico

Con el propósito de recopilar las variables necesarias para el cálculo del confort en los espacios seleccionados, se instaló un sensor fijo en cada CVU desde mediados de diciembre de 2009 hasta febrero de 2010. Cada sensor del tipo H08-003-02 se ubicó a una altura de 1,6 m desde el nivel de la calle (OKE, 2004), dentro de una caja perforada de PVC blanco, con el objeto de evitar la irradiación y asegurar una adecuada circulación de aire. Las mediciones de temperatura, humedad relativa y humedad absoluta fueron programadas cada 15 minutos.

Además, se monitorearon los CVU desde las 9:00 hasta las 21:00 del día 11 de enero de 2010. En esta campaña se registraron cada 15 minutos también las variables de: temperatura del aire, temperatura del punto de rocío, humedad relativa y absoluta, velocidad y dirección del viento, radiación solar, y temperatura superficial. Los datos han sido procesados y evaluados estadísticamente a fin de presentar los resultados medios por hora para cada caso estudiado. Ver en figura 1 las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire correspondiente a los registros de la estación meteorológica localizada en el CCT-Mendoza (Centro Científico Tecnológico).

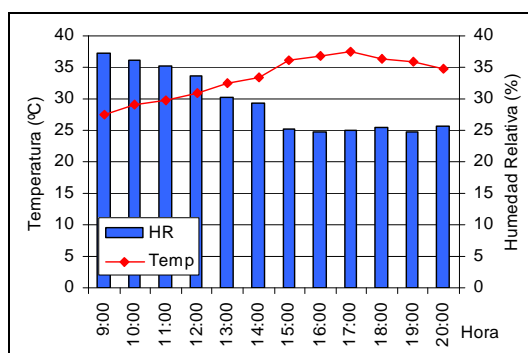


Figura 1 – Temperatura del aire y humedad relativa para el área metropolitana de Mendoza, durante el periodo monitoreado.

Los valores de permeabilidad a la radiación solar para las especies arbóreas estudiadas fueron tomados de investigaciones previas (CANTÓN *et al.*, 1993). Los datos de temperatura superficial tanto de alrededores verticales y horizontales fueron medidos con un termómetro infrarrojo OMEGASCOPE tipo OS-XL. El factor de visión del cielo (o SVF por sus siglas en inglés) de cañones urbanos fue calculado a partir de imágenes digitales hemisféricas, tomadas usando una cámara digital Nikon CoolPix equipada con un lente ojo de pez. Procesadas mediante el software PIXEL DE CIELO desarrollado por nuestra unidad (CORREA *et al.*, 2005), el cual permite obtener el valor del parámetro (SVF), en condiciones de cielo despejado, forestación urbana intensa y ciudades con alta reflectividad típica en regiones semiáridas como es el caso de este estudio (Tabla 1).

3.3 Evaluación de las condiciones de confort térmico

Dado que el grado de habitabilidad de un espacio abierto es influenciado por diversos aspectos relacionados con los componentes del medioambiente físico y social, en este trabajo nos focalizaremos sólo en un aspecto del medioambiente físico: el medioambiente térmico. Se define como medioambiente térmico a todos aquellos elementos del medioambiente físico que condicionan el confort térmico del ser humano. (HERRINGTON *et al.*, 1977).

Se ha seleccionado un modelo deductivo de confort térmico llamado Comfort Formula (COMFA). Ruiz y Correa (2009) demuestran que los métodos deductivos, permiten evaluar con gran precisión la incidencia de las interrelaciones entre las variables climáticas, morfológicas y forestales sobre los intercambios del cuerpo humano para intervenir sobre las estrategias de diseño urbano, con el objeto de maximizar el grado de habitabilidad de los espacios. De este modo es posible detectar los mecanismos de transferencia térmica sobre los cuales las características de diseño de los espacios tiene mayor impacto y de este modo optimizar su funcionamiento.

El método COMFA (BROWN Y GILLESPIE, 1995) consiste en seguir la fórmula básica que expresa el balance de energía de una persona en un ambiente abierto (SCUDO, 2002; GAITANI *et al.*, 2007):

$$S = M + R_{abs} - Conv - Evap - TR_{emitida} \quad (ec.1)$$

S – balance de energía de una persona en un ambiente abierto

M – energía metabólica producida por el organismo

R_{abs} – radiación solar y terrestre absorbida

Conv – calor sensible perdido o ganado por convección

Evap – pérdida evaporativa de calor

$TR_{emitida}$ – radiación terrestre emitida

Los parámetros que han sido considerados para correr el programa de cálculo en cada caso son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 2 - Valores de variables para los diferentes casos evaluados con COMFA.

Variables	<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Morus alba</i>	<i>Platanus acerifolia</i>
Permeabilidad de cada especie en verano (%)	16.2	31.4	9.8
Albedo de construcciones	0.5	0.55	0.4
Albedo del suelo		0.1	
Aislamiento de la ropa (s/m)	75 (remera, pantalones largos, medias y zapatos)		
Permeabilidad de la ropa	150 (remera, pantalones largos, medias y zapatos)		

Cuando el balance S es cercano a cero, puede esperarse que una persona se sienta térmicamente confortable. Si el balance presenta un gran valor positivo, la persona recibe más energía que la que pierde, por lo que podría haber sobrecalentamiento y estaría inconfortablemente caliente. Por otra parte, si el balance es negativo, la persona podría sentir frío. La tabla 3 muestra la sensación de confort humano relacionado con los valores del balance energético.

Tabla 3 - La sensación de confort humano relacionado con los valores del balance S.

Balance (W/m ²)	Sensación
$S > -150$	La gente preferiría estar mucho más cálida
$-150 > S > -50$	La gente preferiría estar más cálida
$-50 > S > 50$	La gente preferiría no cambiar de estado
$50 > S > 150$	La gente preferiría estar más fresca
$150 < S$	La gente preferiría estar mucho más fresca

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El verano se presenta como una estación crítica dado el aumento de la irradiancia solar que en nuestra ciudad alcanza valores medios de 22-25 MJ/m², por lo cual la habitabilidad de los cañones urbanos durante las horas del mediodía y la tarde se ve supeditada a la condición de sombra.

En este sentido las especies forestales de primera magnitud poseen un desarrollo de copa significativo, lo que permite obtener buenas condiciones de sombra, sin embargo produce un incremento de la rugosidad de la trama y una disminución del factor de visión de cielo que disminuye la posibilidades de enfriamiento convectivo y radiante nocturno (CORREA *et al.*, 2008). La forestación con moreras, presenta la posibilidad de sombrear parte de la calzada y gran parte de la vereda, de modo de suministrar sombra a los espacios peatonales y disminuir el impacto sobre la visión de bóveda que gobierna los procesos de enfriamiento radiativo y sobre la rugosidad del terreno que incide sobre los procesos de intercambio convectivo. Por otra parte, la forestación con fresnos representa el mínimo impacto tanto sobre los intercambios radiativos nocturnos como sobre la rugosidad del terreno, debido a que es un árbol de desarrollo individual cuya copa no forma entrecruzamiento lateral ni frontal, pero posee la desventaja de ofrecer geoméricamente una menor distribución de sombra.

4.1 Evaluación del grado de confort térmico en los espacios analizados.

Los valores del balance de energía horario correspondientes a cada caso de estudio pueden verse en la figura 2. En la columna de la izquierda se encuentran los casos de alta densidad edilicia y en la de la derecha, los de baja densidad. En las filas se disponen sucesivamente los casos de 16, 20 y 30 m de ancho de canal vial, y en cada gráfico se señalan con negro los casos forestados con *Fraxinus excelsior*, con gris, los forestados con *Morus alba* y con blanco, *Platanus acerifolia*. En los gráficos la línea roja indica el límite superior de la situación correspondiente al confort térmico.

Todos los casos estudiados responden al mismo tipo de comportamiento general: en las primeras horas de la mañana, los valores del balance energético son menores (aunque en algunas situaciones ya se encuentran en discomfort leve), creciendo hasta llegar al máximo alrededor de las 16:00 ó 17:00 hs. De este modo, el grado de habitabilidad de los espacios abiertos de la ciudad de Mendoza se ve restringido prácticamente desde las primeras horas de la mañana y hasta las últimas de la tarde.

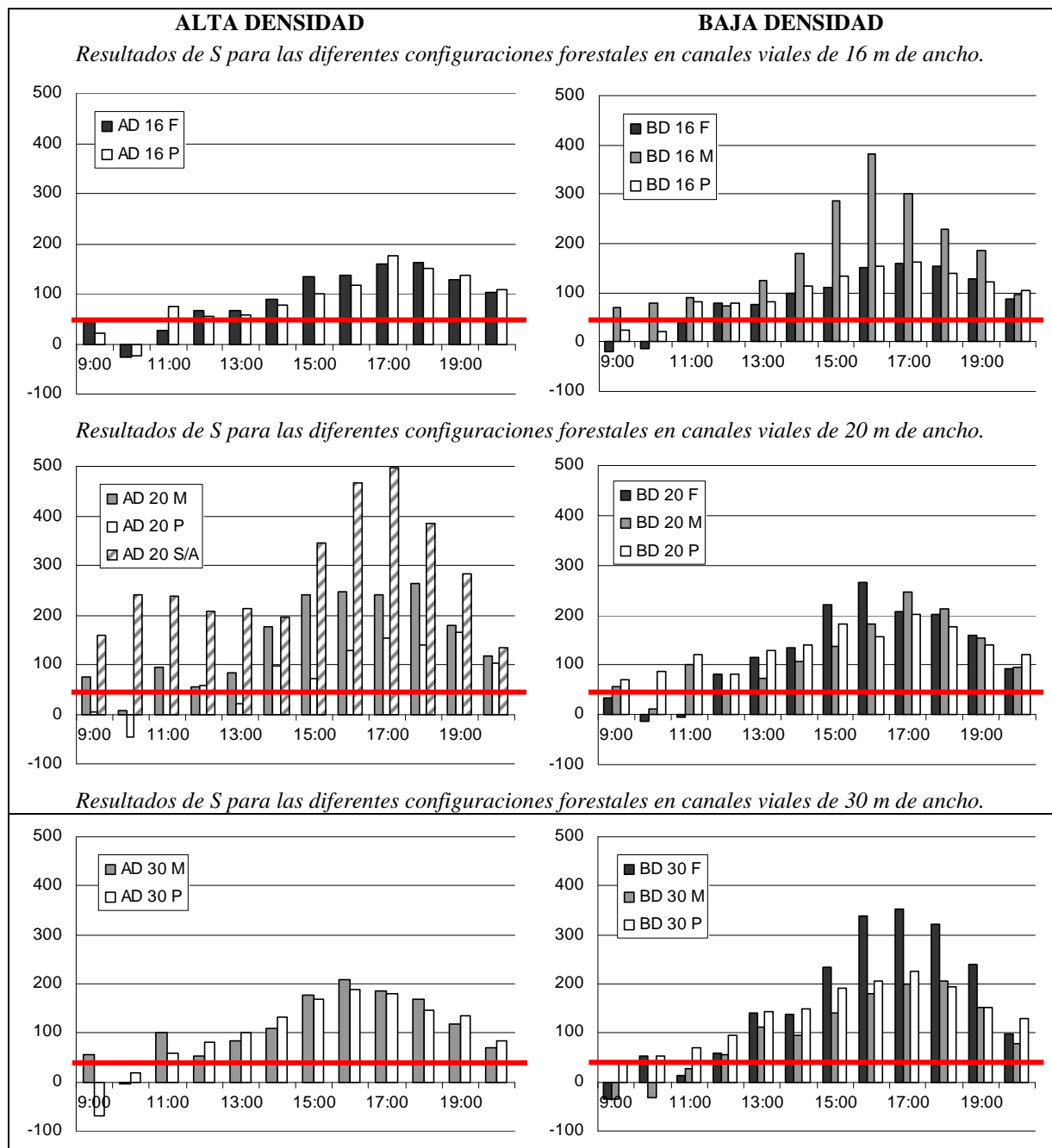


Figura 2 - Resultados de la evaluación del balance de energía para cada ancho de canal vial y densidad edilicia.

Para los casos de alta densidad edilicia, no se observan grandes diferencias en los cañones viales urbanos de 16 y 30 m, forestados con distintas especies. En cambio, en los canales viales de 20 m, se puede ver que el balance varía considerablemente según la especie forestal: los menores valores se observan en los cañones con *P. acerifolia*, seguidos por los forestados con *M. alba*. En las horas de máxima diferencia entre estos casos, la misma está en el orden de los 100 W/m². El cañón que no se encuentra forestado presenta los mayores valores del balance de todos los casos estudiados, llegando a casi 500 W/m² a las 17:00 hs y con una diferencia respecto del canal forestado con *P. acerifolia* de 350 W/m² aproximadamente, siendo estos resultados coherentes con el factor de visión del cielo que presenta dicho canal.

En la columna de la derecha de la Figura 2, se observan mayores diferencias entre los valores del S (balance energético) para los casos estudiados. Entre los canales viales de 16 m de ancho, la forestación con *M. alba* presenta diferencias máximas con respecto a la forestación con *F. excelsior* o *P. acerifolia* del orden de los 250 W/m². En los CVU de 20 m de ancho, el forestado con *F. excelsior* alcanza primero su máximo de balance de energía, y entre los forestados con *M. alba* y *P. acerifolia* las diferencias son pequeñas y oscilan según la hora del día. Para los casos de 30 m de ancho, nuevamente el que se encuentra forestado con *F. excelsior* es el que presenta mayores valores del balance, mostrando una diferencia con los forestados con las dos otras especies de casi 150 W/m².

Se compara el efecto de la densidad edilicia en canales con la misma configuración vegetal y mismo ancho, encontrándose que en los canales de 16 m, el balance energético no manifiesta grandes variaciones si son forestados con *P. acerifolia* o con *F. excelsior*. Queda pendiente la evaluación de un caso de alta densidad edilicia forestado con *M. alba* para poder comparar con el caso de baja densidad. Tampoco existe mucha diferencia entre el comportamiento para los canales de 20 m forestados con *M. alba* en baja y alta densidad (aunque se observa que los valores del balance energético se ven afectados por la mayor masa de acumulación presente en la alta densidad edilicia). Los canales de 20 m forestados con *P. acerifolia* son más cálidos en baja densidad. En el caso de los cañones de 30 m, se observan valores de balance energético un poco mayores en el caso de la baja densidad con *P. acerifolia* que en la alta densidad y no se observa una diferencia significativa en el caso de *M. alba*.

4.2 Análisis de la distribución de las condiciones de confort a lo largo del periodo

Se calculó la frecuencia relativa de las condiciones de confort a lo largo del periodo de calentamiento para los distintos casos estudiados. El análisis de los resultados expuestos en la Figura 3, revela que el porcentaje de tiempo durante el día en el que la gente se encuentra en discomfort por calor oscila entre un 67 % en el mejor de los casos (alta densidad – 20 m – *Platanus acerifolia*) y el 100 % para los peores casos (alta densidad – 20 m – sin arbolado, baja densidad – 16 m – *Morus alba* y baja densidad – 20 m – *Platanus acerifolia*). Estos resultados indican la grave condición térmica presente en el AMM, con independencia de la trama urbana-edilicia forestal.

Los cañones urbanos de 16 m presentan diferencias en la distribución de frecuencias según estén insertos en la trama de alta o baja densidad edilicia. En la alta densidad, el canal con *P. acerifolia* se comportan de manera similar al canal con *F. excelsior*, siendo éste último un poco más favorable. En la baja densidad, el canal forestado con *M. alba* presenta 50% del tiempo en el cual, la gente preferiría estar mucho más fresca, mientras que en el canal forestado con *P. acerifolia*, este porcentaje disminuye a 18%. El canal con *F. excelsior* es el que presenta mayor porcentaje de tiempo en el cual la gente no preferiría cambiar de estado.

Los cañones urbanos de 16 m presentan diferencias en la distribución de frecuencias según estén insertos en la trama de alta o baja densidad edilicia. En la alta densidad, el canal con *P. acerifolia* se comportan de manera similar al canal con *F. excelsior*, siendo éste último un poco más favorable. En la baja densidad, el canal forestado con *M. alba* presenta 50% del tiempo en el cual, la gente preferiría estar mucho más fresca, mientras que en el canal forestado con *P. acerifolia*, este porcentaje disminuye a 18%. El canal con *F. excelsior* es el que presenta mayor porcentaje de tiempo en el cual la gente no preferiría cambiar de estado (condición de confort).

En los canales de 20 m insertos en la alta densidad edilicia, se puede notar que la no forestación del espacio da como resultado más de un 90% del periodo de calentamiento en el que la gente preferiría estar mucho más fresca. Esto contrasta con el canal forestado con *P. acerifolia* que sólo presenta un

18% del tiempo en ese rango de confort térmico. En la trama de baja densidad, la gente preferiría no cambiar de estado un 25%, un 16% y un 0% en los canales con *F. excelsior*, *M. alba* y *P. acerifolia*, respectivamente.

En los CVU de 30 m que se insertan en la trama de alta densidad, el porcentaje de tiempo en el que la gente se siente en confort está alrededor del 10 % tanto para *M. alba* como para el *P. acerifolia*. Sin embargo, el caso con *P. acerifolia* presenta un 9% del periodo en el que la gente preferiría estar un poco más cálida. En los casos de baja densidad edilicia, se observa que el caso más favorable es el del *F. excelsior* con un 25% del periodo en el que la gente no preferiría cambiar de estado, seguido por el canal de *M. alba*, con un 16% y por último, el canal con *P. acerifolia*, con un 9%.

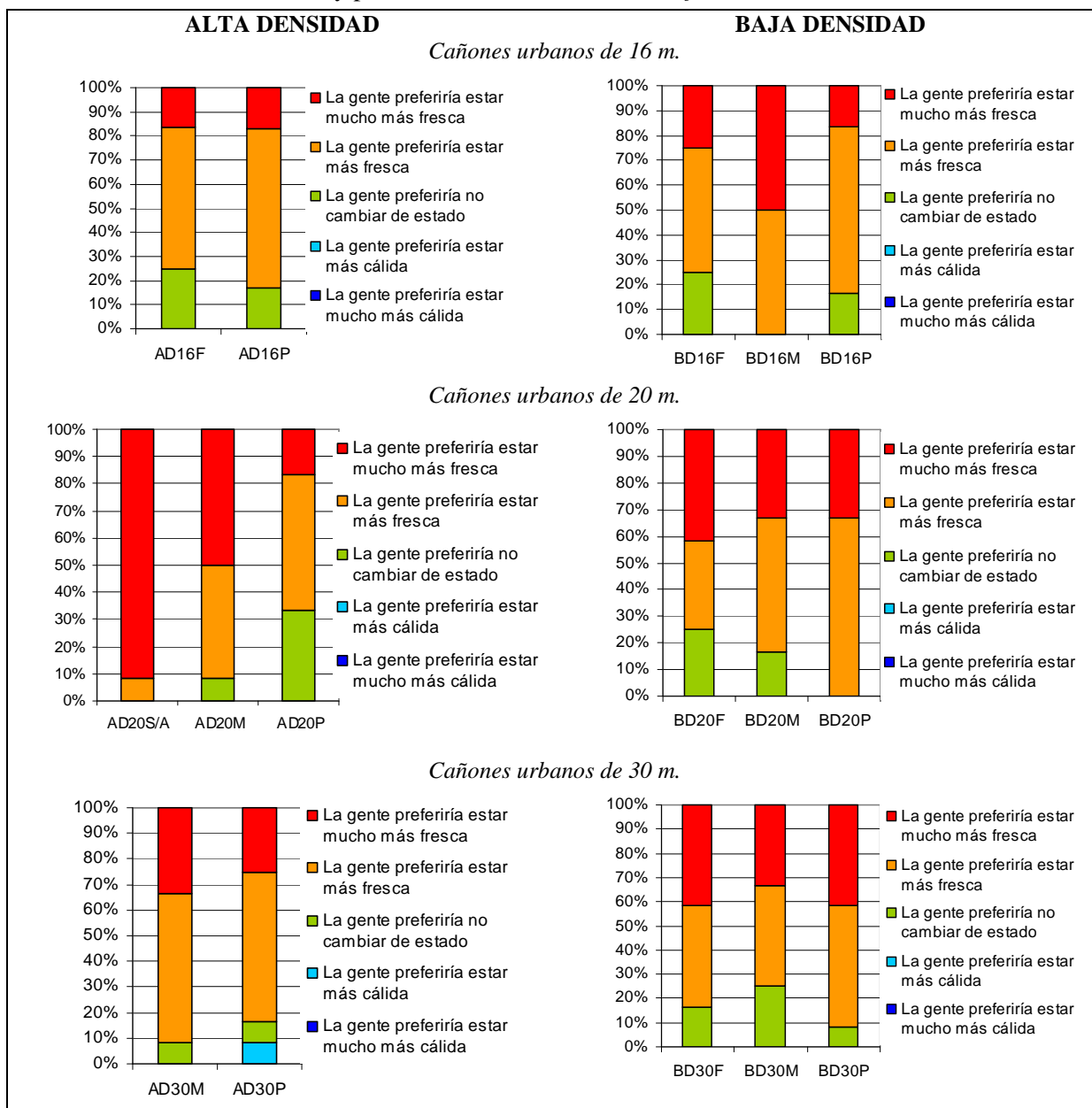


Figura 3 - Frecuencia de las condiciones de confort a lo largo del periodo evaluado para los casos estudiados.

4.3 Conformación del balance de energía de los casos estudiados

En el gráfico de la figura 4, se observa la composición del balance de energía medio a lo largo del día y para todos los casos estudiados. Cabe destacar que todos los casos manifiestan valores porcentuales similares.

Es notable el gran aporte de la radiación solar y terrestre absorbida por la persona, y la radiación terrestre emitida, sumando entre ambas el 64 % del balance energético. La escasa participación de la

transferencia de calor sensible por convección puede explicarse por las bajas velocidades y frecuencias de viento en los cañones urbanos del AMM, debido a la zona en la que están insertos y a la rugosidad que proporciona la trama urbana.

La radiación solar y terrestre absorbida por la persona depende de factores inherentes a cada individuo, como el albedo de la piel y de la ropa, así como también depende de factores externos tales como la radiación global, el factor de visión del cielo (SVF) y la transmitancia a la radiación de la especie forestal. Estos dos últimos factores pueden ser controlados mediante el diseño de los espacios abiertos.

La radiación terrestre emitida se ve determinada principalmente por el albedo de las superficies tanto horizontales como verticales, los cuales dependen del tipo de material, su acabado y su color.

La energía metabólica producida por el organismo es un componente que tiene un peso considerable, mas es difícil de controlar ya que obedece al tipo de actividad que realiza el individuo y al aislamiento y permeabilidad de la ropa que usa.

Por otra parte la temperatura del aire puede disminuirse mediante una adecuada irrigación de la vegetación presente o bien mediante la humidificación del aire seco presente en los cañones urbanos, se ha demostrado que en verano la ciudad presenta un potencial de enfriamiento evaporativo adiabático que alcanza los 8°C promedio (CORREA et al, 2007). Sin embargo es necesario tener en cuenta el costo ambiental de la utilización del agua en zonas áridas como es el caso del área de estudio.

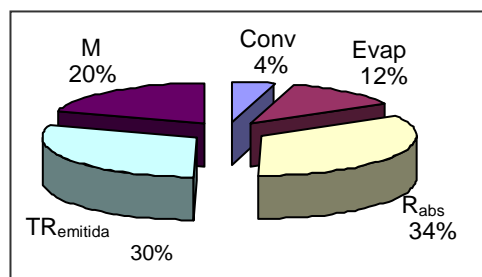


Figura 4 - Composición del balance S medio a lo largo del día para todos los casos estudiados

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación del grado de confort alcanzado en canales viales típicos de la trama urbana de alta y baja densidad; para el caso de la ciudad de Mendoza. La ciudad de zona árida evaluada responde al esquema de ciudad oasis y se encuentra forestada con especies que presentan distintos esquemas morfológicos trama forestal-trama urbana-trama edilicia.

El porcentaje de tiempo, en el cual los individuos que habitan los espacios evaluados se hallan en disconfort por calor oscila entre el 67% para el mejor de los casos -canal vial de 20m, alta densidad edilicia, forestado con *Platanus acerifolia*- y el 100% para el peor -canal de 20m, alta densidad edilicia sin forestación-. Estos resultados ponen de manifiesto la grave condición térmica presente en los canales viales típicos de la ciudad, mostrando que es necesario optimizar el funcionamiento de otras variables además del ancho de trama y el arreglo forestal para obtener confort en los espacios. Por otra parte revelan claramente la insostenibilidad (termo-energética) de este modelo de ciudad sin la presencia de la trama forestal. Se desprende que como base para la optimización del funcionamiento térmico de los espacios urbanos es imprescindible garantizar la permanencia en el tiempo de la forestación.

El esquema de túnel continuo sobre calzada y vereda, representado por la forestación con *Platanus acerifolia*, muestra en general el mejor comportamiento desde el punto de vista del confort térmico. Sin embargo, es importante destacar que los espacios abiertos de una ciudad, cumplen diversas funciones relacionadas con la calidad de vida de las ciudades. El confort térmico está asociado al grado de habitabilidad de los espacios; pero además es necesario que el diseño de los espacios abiertos concilie buenas posibilidades de ventilación y enfriamiento de la ciudad, factores que condicionan la calidad del aire y el incremento de los consumos energéticos asociados al aumento de las temperaturas urbanas.

Dada las características climáticas y topográficas de la ciudad estudiada, que presenta una isla de calor

con máximas de 10°C y baja frecuencia e intensidad de vientos; el uso de esta estructura de forestación disminuiría las posibilidades de enfriamiento principalmente de tipo radiativo debido a su incidencia sobre el factor de visión de cielo de los espacios. De esto, es probable que la opción que concilie mejor los distintos aspectos sea: forestar los canales viales de baja densidad de 30 m con especies de primera magnitud (*Platanus acerifolia*), y utilizar la forestación con *Morus alba* para la trama de baja densidad de 20m de ancho y forestar con *Fraxinus excelsior* los canales de 16 m; de acuerdo a los resultados arrojados en este estudio.

Para el caso de la alta densidad edilicia y canales de 16m y 30m los resultados muestran que el uso de una u otra estructura forestal no tiene un impacto significativo sobre el comportamiento de las condiciones de confort del espacio. Sin embargo si se registran diferencias para el caso de los canales viales de 20 metros en los que se recomienda forestación con *Platanus acerifolia*.

De los resultados se desprende que el factor de visión de cielo es la variable de mayor incidencia en el confort de los canales viales de 30m. Mientras que para los canales de 20 y 16 m está determinado por la relación entre la radiación absorbida y la rugosidad del esquema. Además, es importante mejorar el aporte asociado a la radiación re-emitida en el balance de energía para ello será necesario trabajar sobre las propiedades ópticas de los materiales.

6 REFERENCIAS

- BROWN, R.D.; GILLESPIE, T.J. (1995). Microclimate landscape design. New York: Wiley.
- CANTÓN, A.; CORTEGOSO, J.; DE ROSA, C. (1993). Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. *Energy and Buildings*, 20, 219-230. Elsevier.
- CANTÓN, A.; DE ROSA, C. Y 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. *Revista AVERMA*. Vol. 7, N°1. pp 01.29-01.34
- CORREA, E. et al. (2008). Influencia del uso de distintas magnitudes forestales sobre el comportamiento térmico de los cañones urbanos. El caso de la primera magnitud en ciudades de zonas áridas. *Revista AVERMA*. Vol. 12, N°1. pp 01.29-01.34.
- GAITANI, N.; MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M. (2007). On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces. *Building and Environment* 42 (2007) 317–324
- HERRINGTON, LEE P.; VITTUM, J. S. (1977). Human thermal comfort in urban outdoor spaces. In: Heisler, Gordon M.; Herrington, Lee P., eds. *Proceedings of the conference on metropolitan physical environment*; Gen. Tech. Rep. NE-25. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 130-138.
- OKE, T.R (2004). "Initial Guidance To Obtain Representative Meteorological Observations At Urban Sites". Iom Report, Td In Press, World Meteorological Organization, Geneva.
- SCUDO, G. (2002). Radiation control and thermal comfort in green urban structure. Lecture material. SAMSA.
- CORREA ERICA; CARLOS DE ROSA, GRACIELA LESINO. (2007) "Acondicionamiento térmico de los espacios. Estudio del potencial de enfriamiento evaporativo adiabático dentro del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina." *Revista AVERMA*. Avances en Energías Renovables y Medioambiente. pp. 01. Vol. 11 ISSN 0329-5184. Comisión de Publicaciones de ASADES. INENCO, Salta.
- CORREA, ERICA. N.; PATTINI, ANDREA; CÓRICA, M. LORENA.; FORNÉS, MATÍAS; LESINO, GRACIELA (2005) "Evaluación Del Factor De Visión De Cielo A Partir Del Procesamiento Digital De Imágenes Hemisféricas. Influencia De La Configuración Del Cañón Urbano En La Disponibilidad Del Recurso Solar". *Revista AVERMA*. Avances en Energías Renovables y Medioambiente, pp 11.43-48 Vol.9 N°1. ISSN 0329-5184. Comisión de Publicaciones de ASADES. INENCO, Salta.
- CHANDLER, T.J. (1976): Urban climatology and its relevance to urban design. WMO, Tech. Note 483, Geneva.
- LANDSBERG, H.E. (1986): Problem of design for cities in the tropics. En OKE, T.R. (Ed.) *Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas*, Proceedings of the technical conference, N°652, Mexico D.F., WMO, pp. 461-472.
- MATZARAKIS, A.; MAYER, H. Y RUTZ, F. (2002): Radiation and thermal comfort. 6th Hellenic Conference in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, Ioannina, 25-28. September 2002, vol.2, pp. 738-744.