

## **CONFORT TÉRMICO Y TEMPERATURA DEL AIRE EN LOS ESPACIOS URBANOS. Cómo se relacionan estos indicadores con las decisiones de diseño en ciudades de zonas áridas.**

Correa E. N. <sup>1\*</sup>; Ruiz M. Angélica <sup>1\*\*</sup>; Cantón M. A. <sup>1\*</sup> y Lesino G. <sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> LAHV- Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda -INCIHUSA- CONICET.  
Mendoza-Argentina. [ecorrea@lab.cricyt.edu.ar](mailto:ecorrea@lab.cricyt.edu.ar)

<sup>2</sup> INENCO - Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales –Universidad Nacional de Salta- CONICET.

**RESUMEN:** El desarrollo urbano de las ciudades de zonas áridas, a escala mundial, ha seguido dos patrones bien diferenciados: el esquema de ciudad compacta y, como es el caso de la ciudad analizada, el modelo de ciudad oasis. En ambos, las estrategias de diseño se orientan fundamentalmente al control de la radiación solar, utilizando para ello, la trama edilicia en las ciudades compactas, o la trama forestal en las ciudades oasis. En las últimas, es necesario evaluar como se comportan las distintas combinaciones de estructuras forestales, trama urbana y tejido edilicio, a fin de determinar las composiciones óptimas en términos energéticos y ambientales (confort térmico).

Este trabajo presenta la evaluación térmica y el grado de confort alcanzado, en distintos canales viales de baja densidad, forestados con distintas especies. Los resultados muestran que, en el caso particular de las zonas áridas, los dos indicadores - temperatura del aire y confort térmico- evalúan objetivos diferentes; el primero, respecto del consumo energético de la ciudad y el segundo, la habitabilidad del espacio. Se observa que las estrategias de diseño no siempre dan respuesta biunívoca a ambos objetivos.

**Palabras clave:** espacios abiertos, forestación urbana, confort térmico, clima urbano, zonas áridas.

### **INTRODUCCIÓN**

Entender cómo la configuración de un espacio urbano influye sobre la temperatura y la humedad del aire; y evaluar el confort térmico de los mismos es una necesidad básica para la concreción de la sustentabilidad urbana; tanto en términos energéticos, como en lo referente a la habitabilidad del espacio.

En ciudades de zonas áridas, sol y luz son las variables más significativas y decisivas cuando analizamos la calidad del ambiente urbano en un espacio exterior (Masmoudi, et al., 2004). Ellas pueden generar dependiendo de su magnitud, un disconfort momentáneo o una situación de estrés permanente, comprometiendo probablemente las relaciones del hombre con su entorno.

Con el objeto de habitar las zonas áridas, los seres humanos han compensado su pobre capacidad de adaptación morfológica y psicológica a los climas desérticos o semi-desérticos con una diversidad de adaptaciones tecnológicas, culturales y conductuales. Por ejemplo la discontinuidad en el uso de los espacios abiertos, principalmente calles y plazas, limitando su uso sólo a las horas más frescas del día. Por esta razón, en ciudades emplazadas en zonas áridas es de suma importancia evaluar como interactúan el clima y las decisiones de diseño urbano, en orden a alcanzar condiciones de confort que propicien la habitabilidad de los espacios abiertos.

El “éxito” de un espacio abierto, entendido como el grado de habitabilidad del mismo, es influenciado por muchos factores. Sin duda alguna, el aspecto de los componentes del medioambiente físico y social, como así también la ubicación del espacio dentro de la estructura de la ciudad, juegan un papel prioritario. En este trabajo nos focalizaremos sólo en un aspecto del medioambiente físico: el térmico. Definiendo como ambiente térmico a todos aquellos elementos presentes en el medioambiente físico que condicionan el confort térmico del ser humano.

Por otra parte, la influencia del clima sobre el consumo de energía, en particular la demanda de combustibles fósiles, se ha abordado en diversos estudios (Sailor et al, 1997). Aunque la energía utilizada en la construcción es una función del clima y del uso final o el destino de los edificios (oficinas públicas, escuelas, residencias, etc.); también depende de las características arquitectónicas de la ciudad, que modifican el clima local generando un microclima.

Las diferencias entre la temperatura del aire de las ciudades respecto a los de las zonas rurales o zona del borde que se conoce como "efecto de isla de calor". En particular, el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), presenta un efecto de isla de calor cuyos máximos alcanzan los 10 ° C, tanto en invierno como en verano, con un valor promedio de 6 ° C durante todo el ciclo anual (Correa, 2006).

Los estudios realizados durante la última década, que correlacionan el consumo de energía con el efecto de isla de calor, han demostrado que para las ciudades de más de 100.000 habitantes, el consumo de energía durante las horas pico se eleva entre 1,5 al 2,0% por cada grado de aumento de la temperatura de la ciudad (Akbari H. et al, 1992). Particularmente en la Argentina, la demanda residencial de energía eléctrica representa más del 40% de la demanda total del distribuidor y el

\* Investigadora CONICET

\*\* Becaria Doctoral ANPCYT

consumo aumenta cada año desde 2002. Al mismo tiempo, la instalación de equipos de aire acondicionado en el país está creciendo de modo sostenido. (INDEC 2005)

Es por ello que la línea de investigación dentro de la cual se enmarcan los resultados de este trabajo, pretende monitorear y analizar el comportamiento energético-ambiental (condiciones de temperatura y confort) de distintas configuraciones trama-edificio-verde urbano, a fin de seleccionar las alternativas morfológicas óptimas en los aspectos energéticos, ambientales y económicos de los espacios urbanos en ciudades de clima árido.

### *Antecedentes*

El concepto de desarrollo sostenible ha estimulado la discusión acerca de la contribución que determinadas formas urbanas podrían hacer en orden a disminuir los consumos de energía y reducir los niveles de contaminación. En particular, el enverdecimiento de la ciudad, o el urbanismo verde, aparece como una estrategia de diseño asociada al concepto de forma urbana sostenible (Jabareen 2006).

Durante los últimos treinta años se ha incrementado progresivamente la conciencia y el conocimiento sobre los innumerables efectos beneficiosos que tienen los espacios verdes, las arboledas y la biomasa vegetal en general, sobre las condiciones ambientales de los medios urbanos. El listado de estos beneficios es extenso y ya bien conocido (Rosenfeld, et. Al, 1998; Santamouris, M. 2001); (Mc Pherson, 1988, Clarck, JR et al., 1999). (Gilbert, 1991; Kendle y Forbes 1997; Niemelä 1999); (von Stülpnagel, Horbert, Sukopp, 1990; Plummer y Shewan 1992; Hough 1995, Rosenfeld, et. Al, 1998; Santamouris, M. 2001); (Cerveza, Delshammar, Schildwacht y 2003); (Ulrich 1999); (Forman, 2002).

Por otra parte, el valor de la forestación urbana es igual a los beneficios netos que los miembros de una sociedad pueden obtener de ella. Para estimar los beneficios de la arboleda urbana, varias relaciones deben ser evaluadas. En primer lugar es necesario entender las relaciones existentes entre la estructura forestal y los procesos ecológicos. Aquí, estructura se refiere a la forma en que la vegetación se dispone u organiza en relación con otros objetos tales como edificios (Rowntree, 1984; Nowak, 1994a).

En el caso particular de la ciudad de Mendoza, Argentina, ciudad de zona árida elegida como caso de estudio, una intensa forestación urbana ha sido utilizada como herramienta de acondicionamiento bioclimático de los espacios abiertos durante las horas de sol, respondiendo al concepto de ciudad oasis, pero esta intensa forestación, conformada por ejemplares de primera y segunda magnitud que forman estructura de túnel sobre los canales viales, ha producido una disminución del factor de visión de cielo disponible en los canales viales urbanos y un aumento de la rugosidad del terreno en el área metropolitana, lo que sumado a sus características climáticas (baja frecuencia e intensidad de los vientos y predominancia de días claros) disminuye las posibilidades de enfriamiento pasivo de la ciudad por convección y radiación, y como consecuencia de ello la isla de calor urbana registrada durante la noche alcanza los 10 °C y se sucede en todas las estaciones del año, el impacto energético de este fenómeno se traduce en un incremento de un 20% de las necesidades de enfriamiento dentro del área metropolitana. (Correa, et. al., 2006).

Por lo tanto, es necesario conocer en profundidad las interacciones entre las estructuras forestales y las características morfológicas y climáticas de la ciudad; a fin de garantizar que la aplicación de una estrategia de mitigación -como es el caso de la forestación- no obre en perjuicio del fenómeno que intenta mitigar. Además, el manejo del bosque urbano en ciudades de zonas áridas, podría mejorarse si se conocieran las características de los balances energéticos de cada espacio o superficie y las respuestas de los forestales a las cargas térmicas crecientes (Kjelgren y Montague, 1998).

### **OBJETIVO**

Este estudio tiene como objetivo analizar el comportamiento térmico y el grado de confort alcanzado en canales viales típicos de la trama urbana de baja densidad edilicia forestados con especies de primera y segunda magnitud en condición de homogeneidad. Y discutir como los parámetros - temperatura del aire y confort térmico- pueden relacionarse en orden a obtener un diseño urbano bioclimático en ciudades de zonas áridas.

### **METODOLOGÍA**

El criterio de clasificación de las magnitudes forestales se basa en la altura final que alcanzan los forestales según sus características genéticas, y que se corresponden aproximadamente a los 20 años desde su plantación. De este modo la categoría Primera Magnitud responde a las especies cuya altura final supera los 15 metros, la Segunda Magnitud a los forestales de entre 10 y 15 metros de altura y, la Tercera Magnitud a aquellas especies que registran alturas inferiores a 10 metros. (Carrieri, S. 2004). Desde el punto de vista energético, la elección de la magnitud del árbol ha de ser utilizada en los canales viales debe estar vinculada al perfil forestal buscado, dando respuesta a las necesidades termo-luminicas del espacio. Las configuraciones pueden ser: túnel continuo sobre calzada y vereda, túnel interrumpido a nivel de calzada y pantalla homogénea sobre vereda, o bien el desarrollo individual del forestal sin superposición de copas. La primera configuración, ofrece la ventaja de la sombra y la disminución de la ganancia solar sobre las envolventes horizontales y verticales, pero minimiza las posibilidades de enfriamiento radiativo y convectivo. La segunda, aumenta la ganancia solar pero conserva la sombra sobre los espacios peatonales del cañón urbano, y mejora las condiciones para el enfriamiento nocturno. La tercera, ofrece las mejores condiciones para el enfriamiento y las más desfavorables para la ganancia térmica. En este sentido es necesario un cuidadoso estudio del comportamiento térmico de estas configuraciones con las características de cada ciudad en particular (Correa, et al, 2007). En la ciudad analizada, la primera configuración está representada por los canales viales forestados con plátanos (*Platanus acerifolia*); la segunda opción está representada mayoritariamente por aquellos forestados con moreras (*Morus alba*) y la tercera por canales forestados con fresnos (*Fraxinus excelsior*).

De acuerdo a las características de la trama urbana de la ciudad de Mendoza, a sus tendencias de crecimiento (80% de la trama es de baja densidad) y considerando que el 83.78 % de las especies forestales se concentra en 3 tipos arbóreos que corresponden a la Primera y Segunda Magnitud.

**Selección de los casos de estudio de acuerdo a la situación edilicia y forestal de la ciudad.**

A partir de los procesos que experimentó la ciudad de Mendoza en su evolución histórica, vemos que en el actual tejido se destacan tres tipos de Cañones Viales Urbanos (CVU) tomando como variable de enfoque las dimensiones del ancho de los calles. Es así que se detectan canales viales de 16m que constituyen un 25% del total de la trama, canales de 20m, que representan el 70% y de 30m en un 5%. El espacio urbano se estructura en tres densidades edilicias características (Alta-Media y Baja), donde los casos predominantes para evaluar y comparar son: la Alta densidad correspondiente, sector identificado con el casco fundacional (microcentro) y la baja densidad edilicia relacionada a la periferia.

Respecto a su configuración forestal, como se expuso anteriormente el 83.78% de las especies forestales corresponden a la Primera y Segunda Magnitud representadas mayoritariamente por (Platanus acerifolia 21.52%, Morus alba 38.27%, Fraxinus excelsior 19.36%). (Cantón et al, 2003).

Se seleccionaron nueve (9) casos de estudio que combinan tres tipos de ancho de canal vial (30, 20 y 16 m.) presentes en la trama urbana de baja densidad edilicia y tres tipos de configuración vegetal (homogeneidad de plátanos, moreras, y fresnos). Los mismos son representativos de las configuraciones urbanas típicas de la ciudad y con perfiles forestales que ofrecen distintas respuestas a las necesidades termo-luminicas de los espacios, como se discutió previamente.

**Monitoreo y evaluación de las variables intervencientes.**

Con el propósito de monitorear el comportamiento térmico de los espacios seleccionados, fueron instaladas 9 estaciones fijas. Las estaciones son del tipo H08-003-02, los sensores se han colocado a una altura de 1,6 m desde el nivel de la calle (Oke, 2004), dentro de cajas perforadas de PVC blanco, con el objeto de evitar la irradiación de los mismos y asegurar una adecuada circulación de aire. Los datos fueron registrados durante el mes de febrero de 2009, y se han sido evaluados estadísticamente a fin de estimar la distribución de frecuencia de los resultados encontrados. La temperatura superficial de las envolventes verticales y horizontales fueron tomadas con un termómetro infrarrojo del tipo OMEGASCOPE OS-XL. La velocidad y dirección de viento fueron adquiridos en una estación meteorológica estándar localizada en el borde oeste de la ciudad, a una distancia de aproximadamente 3 km de las situaciones urbanas evaluadas. La velocidad de viento ha sido corregida para cada uno de los canales viales evaluados para una altura de 1,5 m y de acuerdo con la ecuación logarítmica del perfil de viento (Brown and Gillespie, 1995). (Ver ecuación 1).

$$W(z) = U_{10} \times \left\{ \frac{\ln(z/z_{0s})}{\ln(10/z_{0w})} \right\} \tag{1}$$

Donde:

z: altura sobre el nivel del suelo a la que se extrapola la velocidad de viento del sitio evaluado.  $Z_0$ : rugosidad del terreno en el sitio evaluado.

$U_{10}$ : velocidad del viento a 10 m. (estación meteorológica).  $Z_w$ : rugosidad del terreno en la estación meteorológica.

El factor de visión de cielo (SVF) en los canales viales analizados fue calculado a partir de imágenes hemisféricas digitales. Mediante un software llamado PIXEL DE CIELO, que fue desarrollado por nuestra unidad utilizando Delphi 5.0 y se puede ejecutar por completo en un entorno Windows. Este software obtiene el valor del SVF para un determinado entorno urbano a partir de imágenes formato JPG tomadas con una cámara digital Nikon Coolpix. (Correa et al, 2005). (Ver figura 1).

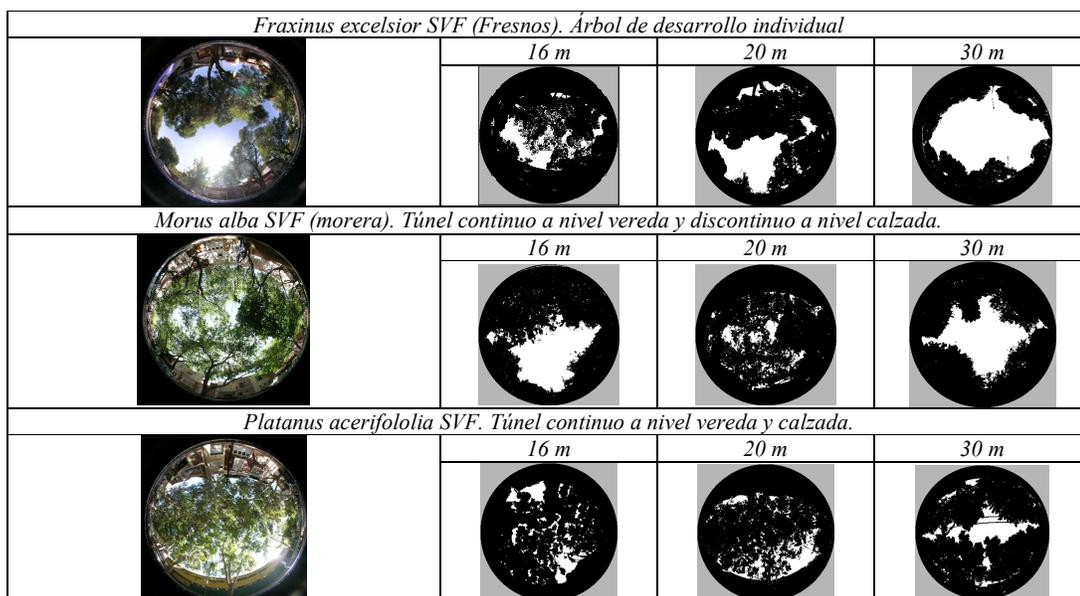


Figura 1. Resultados del procesamiento del factor de visión de cielo (SVF) para cada uno de los casos evaluados.

Los valores de permeabilidad de las distintas especies evaluadas han sido tomadas de estudios previos realizados en nuestra unidad (Cantón et al, 1993)

### Evaluación de las condiciones de confort térmico.

Para la evaluación bioclimática de un lugar o área específica, se requiere no sólo un único parámetro meteorológico, sino una compleja valoración de los efectos de las condiciones climáticas y termo-fisiológicas a fin de describir los efectos del ambiente térmico en los seres humanos.

Los índices bioclimáticos inicialmente propuestos (-THI; TS, WGT) consideran sólo algunos de los parámetros meteorológicos (Thom, 1959; Clarke, 1971, Unger, 1999; Matzarakis et al., 2000). Los modelos recientes, están basados en la ecuación de balance de energía para el cuerpo humano. En este estudio, uno de ellos, el método de COMFA (Brown y Gillespie, 1995) se aplicó con el fin de cuantificar las condiciones de confort que prevalece en los casos de estudio.

El método COMFA consiste principalmente en la siguiente fórmula básica (ver ecuación 2), que calcula el balance de energía de una persona en un espacio abierto (Scudo G. 2002; Gaetani et al, 2007):

$$\text{Budget (balance)} = M + \text{RABS} - \text{CONV} - \text{EVAP} - \text{TREMITTED} \quad (2)$$

Donde:

M: energía metabólica producida por el organismo                      RABS: radiación solar y terrestre absorbida

CONV: calor sensible perdido o ganado por convección              EVAP: pérdida de calor por evaporación.

TREMITTED: radiación terrestre emitida

Cuando el balance energético es cercano a cero, la persona se siente térmicamente confortable. Si el balance arroja un valor positivo elevado, la persona recibe más energía que la perdió, por lo que podría ocurrir un sobrecalentamiento y la persona estaría en disconfort por calor. Por otra parte, si el resultado es negativo, la persona puede sentir frío. (Tabla 1)

Budget (W/m2)	Sensación
Budget < -150	preferiría estar mucho más cálido
-150 < Budget < -50	preferiría estar más cálido
-50 < Budget < 50	preferiría no cambiar de estado
50 < Budget < 150	preferiría estar más fresca
150 < Budget	preferiría estar mucho más fresca

Tabla 1. Muestra la relación entre el valor del balance energético y la sensación de confort del individuo. (Brown and Gillespie, 1995).

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante el mes de febrero y marzo del año 2009, en un lapso de 30 días; se tomaron registros continuos de las condiciones de temperatura y humedad del aire para los casos analizados. Todos poseen orientación O-E, que presenta las mejores condiciones de asoleamiento en la trama y por lo tanto la condición más rigurosa a controlar durante el verano.

Para evaluar mejor la incidencia de las distintas configuraciones sobre el comportamiento térmico del espacio durante las horas de mayor habitabilidad del mismo, el análisis estadístico de los datos se realizó para el período considerado como “calentamiento” que se considera desde la 8.00 AM hasta las 20.00 PM y para el periodo de enfriamiento que abarca entre las 20.30 y las 7.30 de la mañana (hora oficial). Los parámetros considerados y evaluados en cada caso se presentan en la tabla 2.

VARIABLES CONSIDERADAS	<i>Fraxinus excelsior</i>			<i>Morus alba</i>			<i>Platanus acerifolia</i>		
	16 m	20 m	30 m	16 m	20 m	30 m	16 m	20 m	30 m
Permeabilidad de la especie forestal (verano) (%)	16.2			31.4			9.8		
Reflectancia solar de los edificios (albedo)	0.4	0.5	0.45	0.5	0.55	0.4	0.5	0.4	0.45
Reflectancia solar del suelo (albedo)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Rugosidad del espacio urbano evaluado	0.81	0.77	0.73	0.88	0.85	0.81	0.82	0.78	0.74
Aislamiento de la ropa (s/m) - calentamiento -	75 (remera, pantalones largos, medias y zapatos)								
Aislamiento de la ropa (s/m) - enfriamiento -	125 (remera, pantalones largos, medias, zapatos y rompevientos)								
Permeabilidad de la ropa - calentamiento -	150 (remera, pantalones largos, medias y zapatos)								
Permeabilidad de la ropa - enfriamiento -	65 (remera, pantalones largos, medias, zapatos y rompevientos)								

Tabla 2. Variables utilizadas para el cálculo del grado de confort, mediante el método COMFA, en los espacios evaluados.

A partir de ellos y de las variables meteorológicas monitoreadas, se desarrollaron los balances térmicos correspondientes para cada uno de los espacios. A modo de ejemplo en la tabla 3 se muestran los resultados para el caso de los canales de 20 m., n distintos horarios.

<b>Balance energético a partir de la aplicación del método COMFA: Análisis para canales viales de 20 metros.</b>											
<i>*Tsup and *Tsu son las temperaturas de las superficies verticales y del suelo.</i>											
<b>10:00 AM</b>	<b>Ta °C</b>	<b>Win m/s</b>	<b>SVF</b>	<b>Tsup °C</b>	<b>Tsu °C</b>	<b>BGD W/m2</b>	<b>CONV W/m2</b>	<b>EVAP W/m2</b>	<b>RABS W/m2</b>	<b>TRE W/m2</b>	
Fraxinus exc.	23.72	0.01	0.32	28	36	-25.28	160.1	270	527.7	440.4	
Morus alba	23.82	0.01	0.16	29	32	11.76	159	269.4	563.5	441	
Platanus acerifolia	23.92	0.01	0.157	24	28	-72.61	157.9	268.9	477.9	441.6	
<b>1:00 PM</b>	<b>Ta °C</b>	<b>Win m/s</b>	<b>SVF</b>	<b>Tsup °C</b>	<b>Tsu °C</b>	<b>BGD W/m2</b>	<b>CONV W/m2</b>	<b>EVAP W/m2</b>	<b>RABS W/m2</b>	<b>TRE W/m2</b>	
Fraxinus exc.	28.61	0.01	0.32	38	44	87.74	105.2	235.6	573	470.2	
Morus alba	29.2	0.01	0.16	33	39.5	103.5	98.53	230.4	579.6	473.8	
Platanus acerifolia	29.3	0.01	0.157	31	36	44.41	97.41	229.5	518.9	474.5	
<b>4:00 PM</b>	<b>Ta °C</b>	<b>Win m/s</b>	<b>SVF</b>	<b>Tsup °C</b>	<b>Tsu °C</b>	<b>BGD W/m2</b>	<b>CONV W/m2</b>	<b>EVAP W/m2</b>	<b>RABS W/m2</b>	<b>TRE W/m2</b>	
Fraxinus exc.	32.86	0.21	0.16	35.8	43	163.3	67.85	203.2	593.4	491.2	
Morus alba	31.93	0.21	0.16	35.8	43	163.3	67.85	203.2	593.4	491.2	
Platanus acerifolia	31.73	0.24	0.157	34	40	104.4	70.09	205.4	538.1	489.9	
<b>7:00 PM</b>	<b>Ta °C</b>	<b>Win m/s</b>	<b>SVF</b>	<b>Tsup °C</b>	<b>Tsu °C</b>	<b>BGD W/m2</b>	<b>CONV W/m2</b>	<b>EVAP W/m2</b>	<b>RABS W/m2</b>	<b>TRE W/m2</b>	
Fraxinus exc.	33.18	0.16	0.32	38	42	124.8	53.84	188.8	532.1	499.3	
Morus alba	31.12	0.14	0.16	35	39	83.93	76.94	211.8	528.3	486	
Platanus acerifolia	30.51	0.16	0.157	33	39	53.12	83.78	218	507.8	482.1	
<b>10:00 PM</b>	<b>Ta °C</b>	<b>Win m/s</b>	<b>SVF</b>	<b>Tsup °C</b>	<b>Tsu °C</b>	<b>BGD W/m2</b>	<b>CONV W/m2</b>	<b>EVAP W/m2</b>	<b>RABS W/m2</b>	<b>TRE W/m2</b>	
Fraxinus exc.	25.46	0.61	0.32	31	34	-72.29	139.7	258.7	457.1	451.3	
Morus alba	26.83	0.52	0.16	32	35	-37.91	124.5	249.2	472.7	459.5	
Platanus acerifolia	26.24	0.59	0.157	28.2	31	-68.47	131	253.4	450.3	456	

Tabla 3. Variables y valores de los distintos términos que intervienen en el balance energético de los canales viales de 20 m forestados con distintas especies.

De acuerdo a los tres esquemas de forestación que cada una de las especies evaluadas representa, - túnel continuo sobre calzada y vereda (Platanus acerifolia), túnel interrumpido a nivel de calzada y pantalla homogénea sobre vereda (Morus alba), o bien el desarrollo individual del forestal sin superposición de copas (Fraxinus excelsior), en la figura 2 se observa el funcionamiento de cada uno de estos esquemas y su relación con el ancho de la trama urbana de baja densidad edilicia en términos de su confort térmico. Además en la tercera columna de la figura 2 se muestra el comportamiento de la temperatura del aire, y de las temperaturas correspondientes a las superficies verticales y horizontales.

En la figura 2 se observa claramente que el esquema forestal que muestra mejor comportamiento respecto del confort térmico del espacio exterior es el correspondiente al túnel continuo sobre calzada y vereda, esquema representado por la especie Platanus acerifolia. Además, para este esquema, el grado de confort térmico del espacio aparece poco influenciado por el ancho de la trama urbana el la que el forestal se inserta (ver figura 2), tanto para el periodo de calentamiento como de enfriamiento.

El comportamiento más desfavorable está representado por esquemas: túnel interrumpido a nivel de calzada y pantalla homogénea sobre vereda -esquema Morus alba-, para el caso de canales de 16 m de ancho y el Fraxinus excelsior (desarrollo individual del forestal sin superposición de copas) en canales de 30m. En este caso, el grado de confort asociado a ambas estructuras forestales se ve influenciado por el ancho de la trama (ver figura 2).

En términos generales, todos los esquemas forestales evaluados presentan problemas de disconfort térmico por calor. Los espacios forestados con fresnos y moreras ingresan en condición de disconfort térmico a partir de las 12 PM hasta las 8 PM, siendo esto crítico para la habitabilidad de los espacios pues coincide con parte del periodo de mayor ocupación de los espacios abiertos de la ciudad. Para el caso de la forestación con Plátanos, los espacios ingresan en disconfort a partir de las 2 PM y salen de esta condición a partir de las 7 PM. En este sentido se favorece la ocupación confortable de los espacios durante la mañana y las últimas horas de la tarde.

Del análisis de los procesos de transferencia térmica, puede concluirse que aquellos esquemas forestales-urbanos que maximizan las posibilidades de acceso al sol, acumulación de calor e incremento de las temperaturas superficiales y minimizan las posibilidades de refrescamiento convectivo y radiativo de los espacios, presentan las peores condiciones en términos de confort. En este sentido las variables como el ancho y orientación del canal vial, la densidad edilicia, el factor de visión de cielo (SVF), la permeabilidad de las especies forestales y el albedo de las superficies determinan la cantidad de radiación que recibe un espacio y condicionan las temperaturas de las superficies que los componen. Por otra parte la relación entre el ancho y la profundidad de un canal vial, la proporción de cielo que ven las superficies (SVF) y la rugosidad de la estructura forestal-urbana, definen sus posibilidades de enfriamiento (convectivo y radiativo).

En nuestro estudio los resultados reflejan claramente las interacciones entre las variables presentes en las distintas estructuras forestales y urbanas evaluadas. Por ejemplo si observamos los resultados de la ecuación 2 para distintos anchos de canal vial (balance energético= BGD), vemos que para la mayoría de los casos no existen variaciones significativas entre las temperaturas del aire de los espacios evaluados, pero se observan variaciones importantes en cuanto a la magnitud de sus temperaturas superficiales, su SVF, la permeabilidad de las especies evaluadas y los albedos de las superficies en los recintos (ver tablas 2 y 3) y tercer columna figura 2; además las características morfológicas de las especies y la trama en la que se inserta determinan la rugosidad del espacio.

En este estudio, los parámetros que varían más significativamente en el balance térmico que plantea la ecuación 2 son: en primer lugar la radiación absorbida (RABS), seguidas por las pérdidas por convección (CONV). Se desprende que el esquema que el fresno representa sea para las horas de calentamiento el más desfavorable para canales viales de 30 m. Pues

combina máximas posibilidades de acceso a la radiación. Mientras que la morera en canales de 16m combina una mayor exposición (> SVF) y un incremento de la rugosidad del terreno que disminuye sus posibilidades de pérdida convectiva. En general para el caso de los canales viales de 30m el SVF parecería ser la variable que comanda las condiciones de confort; en cambio para los canales de 20 y 16 el término convectivo adquiere mayor importancia y de este modo el resultado no solo depende del acceso al sol, sino del acceso al viento; esto explica porqué para canales de 16 m el esquema que presenta el fresno (mayor acceso de radiación, menor rugosidad) se comporta mejor que el que presenta la morera (menor acceso al sol mayor rugosidad) (Ver tabla 3 y 2).

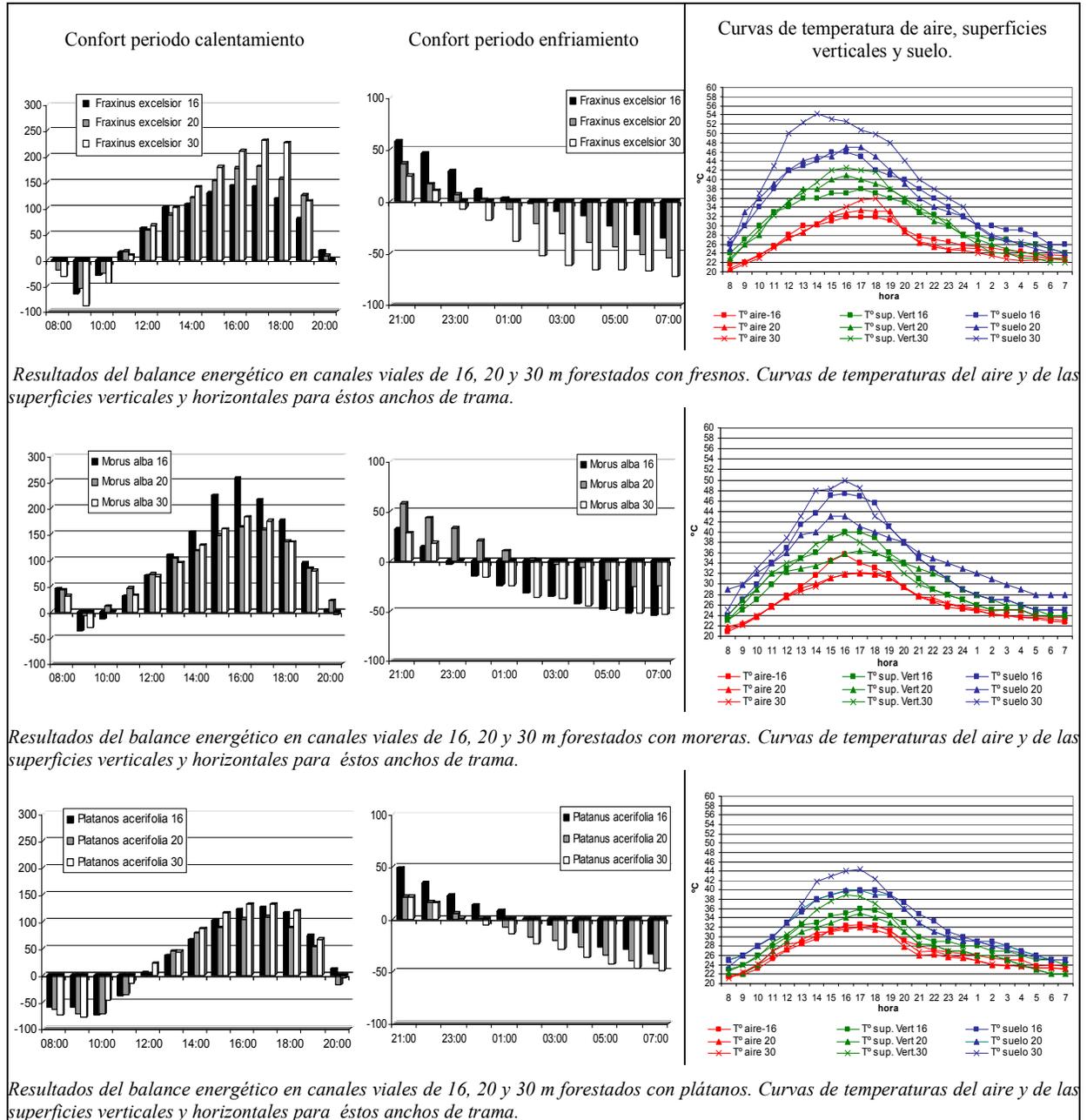


Figura 2. Resultados del balance energético (grado de confort para cada una de las especies forestales evaluadas). Comportamiento de las curvas de temperatura del aire y de las superficies verticales y horizontales.

Si analizamos el porcentaje de frecuencia cada una de las categorías de confort consideradas (tabla 1), para cada esquema forestal y cada ancho de trama evaluado. Los resultados muestran que para el canal vial de 30m la forestación con plátanos presenta la mejor opción permaneciendo el espacio en confort por más del 50% del periodo de calentamiento considerado, durante el periodo de enfriamiento el 100% del tiempo, este esquema forestal se mantiene en condiciones de confort. El abrigo que ofrece la morfología de este árbol ofrece para este ancho de trama disminución de la cantidad de radiación absorbida durante el día y reparo del viento durante la noche. En el caso del canal vial de 20 m además de la forestación con

plátanos, la forestación con moreras ofrece similares frecuencias de condiciones de confort. De modo similar, en canales viales de 16m los fresnos presentan similar frecuencia de condición de confort que la forestación con plátanos.

Respecto del comportamiento de las temperaturas del aire en los canales viales evaluados, estudios precedentes (Correa, et al. 2008), muestran que si se mantiene constante la densidad edilicia y se varía el ancho de canal vial de la trama urbana, el uso de forestales de primera magnitud (plátanos) limita las posibilidades de acondicionamiento térmico de los cañones urbanos, tanto en verano como en invierno, presentando la configuración más favorable diferencias de temperaturas que no superan los 2 °C respecto de la condición más desfavorable. Además, la forestación de la baja densidad con especies de primera magnitud anula cualquier posibilidad de acondicionamiento térmico asociado al manejo de la geometría del espacio durante el período de calentamiento en invierno.

Las tablas 4 y 5 muestran los resultados del análisis estadístico del comportamiento de la temperatura del aire para los casos evaluados, tanto durante el período de calentamiento, como de enfriamiento.

CALENTAMIENTO												
Baja Densidad	16 m				20 m				30 m			
	Media	Desv st	Min	Máx	Media	Desv st	Min	Máx	Media	Desv st	Min	Máx
fresno	29,97	4,16	22,48	34,01	29,95	4,88	20,19	35,27	30,63	5,45	20,19	37,44
morera	30,56	5,22	20,95	37,00	29,76	4,19	21,71	34,01	29,81	4,18	21,71	34,43
plátano	30,11	4,53	21,71	36,13	29,98	4,28	21,33	34,01	30,34	4,17	20,95	34,01

Tabla 4. Comportamiento de la temperatura del aire en canales de 16, 20 y 30 m. Forestados con fresnos, moreras y plátanos. Período calentamiento (8 A.M. a 8 P.M.). Verano.

ENFRIAMIENTO												
Baja Densidad	16 m				20 m				30 m			
	Media	Desv st	Min	Máx	Media	Desv st	Min	Máx	Media	Desv st	Min	Máx
fresno	26,25	2,28	22,48	31,93	25,00	2,49	20,19	31,93	25,14	2,47	20,19	31,93
morera	25,57	2,50	20,95	31,93	26,14	2,34	21,71	31,52	26,01	2,30	21,71	31,52
plátano	26,29	2,26	21,71	31,52	25,32	1,96	21,71	30,71	25,65	2,50	20,95	31,93

Tabla 5. Comportamiento de la temperatura del aire en canales de 16, 20 y 30 m. Forestados con fresnos, moreras y plátanos. Período enfriamiento (8.30 P.M. a 7.30 A.M.). Verano.

Si tomamos en cuenta el comportamiento de la temperatura del aire. En canales viales de 16 m la morera presenta la configuración más desfavorable durante el periodo de calentamiento y en canales viales de 20 y 30 el fresno, alcanzando las máximas temperaturas. El mejor comportamiento se observa para canales de 16 m forestados con fresnos, canales de 20 m forestados con moreras y canales de 30 m forestados con plátanos. (ver tabla 4)

Para el periodo de enfriamiento las configuraciones más favorables parecerían ser: la morera para canales viales de 16 m, el fresno para canales de 20 m y 30 m. (ver tabla 5).

Los resultados presentados muestran que las distintas estructuras evaluadas, contraponen la combinación óptima edilicia-urbana-forestal, ya sea que se trate de su comportamiento durante el periodo de calentamiento o de enfriamiento. A esto se suma la controversia entre la configuración que ofrece mejor grado de confort y la que ofrece el mejor comportamiento termo-energético.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación del grado de confort alcanzado y el comportamiento térmico de canales viales típicos de la trama urbana de baja densidad, de la ciudad de zona árida evaluada, forestado con especies que presentan distintos esquemas morfológicos trama forestal-trama urbana.

Los resultados muestran que el esquema de túnel continuo sobre calzada y vereda, representado por la forestación con plátanos, muestra el mejor comportamiento desde el punto de vista del confort térmico.

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 (plátanos), y utilizar la forestación con moreras para la trama de baja densidad de 20m de ancho y forestar con fresnos los canales de 16 m; de acuerdo a los resultados arrojados en este estudio.

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.

El porcentaje de tiempo, en el cual los individuos que habitan el espacio se hallan en desconfort por calor oscila entre el 46% (para el mejor de los casos) y el 62% para el peor. Lo que indica la grave condición térmica presente en los canales típicos de la baja densidad de la ciudad. Es decir que es necesario el manejo de otras variables además del ancho de trama y el arreglo forestal para obtener confort en los espacios evaluados. En este sentido en próximos trabajos se propone avanzar en el análisis del impacto de la manipulación de otras variables como por ejemplo el albedo de las superficies, etc.

Los resultados muestran que, en el caso particular de las zonas áridas, los dos indicadores - temperatura del aire y confort térmico- evalúan objetivos diferentes; el primero, respecto del consumo energético de la ciudad y el segundo, la habitabilidad del espacio. Se observa que las estrategias de diseño no siempre dan respuesta biunívoca a ambos objetivos.

## REFERENCIAS

- Akbari H., Davis S., Dorsano S. Huang J. And Winert S. (1992). "Cooling our Communities". US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division.
- Brown RD, Gillespie TJ. (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
- Carrieri, S. (2004). Diagnóstico y propuesta sobre la problemática del Arbolado de calles en Mendoza. Cátedra de Espacios Verdes. Facultad de Ciencias Agrarias. UNC. Cap.11, 1-6.
- Clarke Jf, Bach B. (1971). Comparison of the comfort conditions in different urban and suburban microenvironments. *International Journal of Biometeorology* 1971; 15:41-54.
- Correa, E. Et Al. (2007). Evaluación del impacto sobre la visión de cielo de las distintas densidades edilicias forestadas a partir de imágenes hemisféricas. Caso del Área Metropolitana de Mendoza. IX Brazilian Meeting on Comfort and Energy Efficiency in the Built-Up Environment. Brazil, Dec. 8-10.
- Correa, E. Et Al. (2008). Urban Heat Island Effect On Heating And Cooling Degree Days Distribution In Mendoza Metropolitan Area. Proceedings of Eurosun 2008. 1st International Congress on Heating, Cooling, and Buildings. 7th to 10 th. October Lisbon- Portugal.
- Correa, E.N (2006). Tesis Doctoral. Isla de Calor Urbana. El Caso del Área Metropolitana de Mendoza. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas. Argentina.
- Forman, Richard. (1997). Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge: Cambridge University Press.
- 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
- Gilbert, Oliver L. 1991. The ecology of urban habitats. London: Chapman & Hall.
- Hough, Michael. 1995. City form and natural processes. London: Routledge.
- Jabareen Yosef R (2006) Sustainable Urban Forms: Their Typologies, Models, and Concepts, *Journal of Planning Education and Research*. < <http://jpe.sagepub.com/cgi/content/abstract/26/1/38>>
- Kendle, Tony, And Stephen Forbes. (1997). Urban nature conservation. London: Spon Press.
- Kjelgren, R., Montague, T.(1998). Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces. *Atmos. Environ.* 32, 35-41.
- Matzarakis A, Rutz F, Mayer H (2000) Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. In: *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium* (ed. by R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R. Oke and A. Auliciems).
- Masmoudi, et al. (2004). Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions. *Energy and buildings* ISSN 0378-7788 CODEN ENEBDR
- Mc Pherson E., 1988. Functions of Buffer Plantings in Urban Environments. *Agriculture, Ecosystems and Environments*, Chicago: 17p.
- Niemela, Jari. 1999. Ecology and urban planning. *Biodiversity and Conservation* 8: 119-31.
- Nowak, D. J. 1994A. Air Pollution Removal by Chicago's Urban Forest. In: McPherson, Nowak, Rowntree eds. *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban forest Climate Project*. Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: USDA Forest Service, NEFES.
- Oke, T.R (2004). "Initial Guidance To Obtain Representative Meteorological Observations At Urban Sites". Iom Report, Td In Press, World Meteorological Organization, Geneva.
- Plummer, Brian, And Don Shewan. (1992). City open spaces and pollution. In *City gardens: An open space survey in the city of London*, ed. Brian Plummer and Don Shewan, 111-19. London: Belhaven.
- Rosenfeld, A., Akbari, H., Romm, J., Pomerantz, M., (1998). Cool communities: strategies For Heat Island Mitigation And Smog Reduction. *Energy And Buildings* 28, 51-62.
- Sailor, D.J., Muñoz, J.R. (1997) Sensitivity of electricity and natural gas consumption to climate in the USA- Methodology and results for eight states. *Energy* 22, 987-998.
- Santamouris, M. (2001). *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. James & James. UK. ISBN 1873936907.
- Scudo G. (2002). Radiation control and thermal comfort in green urban structure. Lecture material. SAMSA.
- Thom Ec. The discomfort index. *Weatherwise* 1959; 12:57-60.
- Unger J. (1999) Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a central-European city. *International Journal of Biometeorology* 1999;43:139-44.
- Von Stulpnagel, A., M. Horbert, And Herbert Sukopp. (1990). The importance of vegetation for the urban climate. In *Urban ecology: Plants and plant communities in urban environments*, ed. Herbert Sukopp and Hejny Slavomil, 175-93. The Hague, the Netherlands: SPB Academic Publishing.

**ABSTRAC:** At the worldwide level, the urban development of cities in arid zones, has followed two distinct patterns: the compact city and the oasis city model, as is the case of the city analyzed. In both, the design strategies are conducted to control solar radiation. Using for it: the buildings plot in compact cities, or the forest in the oasis cities. For these cities, it is interesting to analyze in depth the effect of the different tree species and their configurations on the thermal balance of urban canyons. This paper presents the thermal behaviour and the comfort condition evaluation achieved on different road channels forested with different tree species. The results show that in the particular case of the arid zones, the two indicators, air temperature and thermal comfort; assesses different objectives: the first on the power consumption of the city and the second, the habitability of space. It is noted that the design strategies are not always two-way response to both.

**Key words:** outdoor spaces, urban forest, thermal comfort, urban climate, arid zones.