

Morfología forestal y confort térmico en “ciudades oasis” de zonas áridas

Urban forest structure and Thermal Comfort in “OASIS cities” of arid zones

Erica Norma Correa
María Angélica Ruiz
María Alicia Cantón

Resumen

Usualmente, las ciudades insertas en contextos áridos o semiáridos muestran un modelo de desarrollo urbano basado en la compacidad de formas como estrategia bioclimática para el control de la radiación solar. La ciudad de Mendoza, Argentina; también inserta en un contexto semiárido, presenta un modelo urbano diferente. El mismo está definido por calles anchas y edificios contenidos en una trama en damero rodeada en sus límites por líneas de árboles que conforman túneles verdes. En este modelo, la estrategia de sombra se materializa a través de la estructura vegetal. Para éstas ciudades de zonas áridas, denominadas “oasis”, es importante analizar en profundidad el efecto de las diferentes especies forestales y sus configuraciones sobre el balance térmico de los cañones urbanos. En este trabajo se evalúa el comportamiento térmico y el grado de confort alcanzado en canales viales típicos de la trama urbana de baja densidad, forestados con especies de segunda magnitud en condición de homogeneidad y heterogeneidad, durante el verano. Los resultados muestran que los comportamientos térmicos observados y el grado de confort responden claramente a las características de crecimiento y desarrollo de las configuraciones forestales evaluadas y su vinculación con los recursos climáticos y la forma edilicia de la ciudad.

Palabras-clave: Forestación urbana. Canales viales. Confort térmico. Baja densidad. Zonas áridas.

Abstract

Usually, cities settled in arid or semi-arid regions follow an urban development model based on compact morphologies as a bioclimatic strategy for the control of solar radiation. However, the reference case in this study, the city of Mendoza, Argentina, located also in a seismic and semiarid zone, has a different urban model. The city displays wide road channels and different tree species along the streets in opposition to the compact city model. In this scheme, the shadow is achieved through the urban forest structure. For these cities in dry-lands called "oasis cities" it is interesting to analyze in depth the effect of the different tree species and their green structures on the thermal balance of urban canyons. For this reason; this paper evaluates the thermal comfort conditions, in urban canyons of low building density forested with tree species of second magnitude, in summer. The results show that the observed thermal behavior and the thermal comfort conditions are clearly consistent with the characteristics of growth and development of forest configurations evaluated and its entailment with the climatic resources and morphology of the evaluated city.

Keywords: Urban forest. Urban canyon. Outdoor thermal comfort. Low building density. Dry-lands.

Erica Norma Correa
Consejo Nacional de
Investigaciones Científicas y
Técnicas
INCIHUSA. Laboratorio de
Ambiente Humano y Vivienda
Avenida Ruiz Leal S/N Pque Gral
San Martín. Mendoza - Argentina
CP 5500
Tel.: (54) 261-5244321
E-mail: ecorrea@mendoza-
conicet.gov.ar

María Angélica Ruiz
Consejo Nacional de
Investigaciones Científicas y
Técnicas
Universidad Nacional de Cuyo
Tel.: (48) 3721-7090
E-mail: aruiz@mendoza-
conicet.gov.ar

María Alicia Cantón
Consejo Nacional de
Investigaciones Científicas y
Técnicas
Universidad Nacional de Cuyo
Tel.: (82) 3214-1290
E-mail: macanton@mendoza-
conicet.gov.ar

Recebido em 29/03/10
Aceito em 05/08/10

Introducción

La apropiación del campo por parte de la ciudad ha atravesado diferentes etapas a través de la historia, acentuándose a lo largo del siglo XX debido a un proceso urbanizador guiado por el desarrollismo como valor central del urbanismo moderno. En consecuencia la construcción del espacio urbanizado constituye, en este siglo, la forma más radical de transformación del paisaje natural dado que su impacto no sólo se limita a cambiar la morfología del terreno, su rugosidad, la biodiversidad, etc., sino modifica fundamentalmente las condiciones climáticas y ambientales del paisaje natural.

Una de las razones principales para considerar las características microclimáticas en el diseño del paisaje es la creación de hábitats térmicamente confortables. Cuando el clima local interactúa con los elementos del espacio urbano, se crea un microclima único, su evaluación en términos de balances energéticos es información básica para entender cómo los flujos de energía se pueden modificar mediante el diseño del paisaje.

Por otra parte, un tercio de la población mundial vive en ciudades localizadas en regiones clasificadas como extremadamente áridas, áridas o semi-áridas (UNEP, 1996; ICCD 2004). Si analizamos con detenimiento la distribución de las zonas áridas del planeta, vemos cómo dentro de esta condición se encuentran localizadas muchas ciudades importantes del mundo Ver Figura 1.

Particularmente, las ciudades insertas en contextos áridos o semiáridos muestran un modelo de desarrollo urbano que está basado en la compacidad de formas. Mendoza - ciudad emplazada en un contexto semidesértico - no ha sido ajena al proceso urbanizador. Sin embargo su concepción urbanística, definida por calles anchas y edificios contenidos en una trama en damero flanqueada en sus límites por líneas de árboles que conforman túneles verdes, ha modificado la condición agreste del ámbito natural en un lugar apto para el desarrollo urbano. El modelo confiere un carácter único a la ciudad por lo que es reconocida en el orden nacional e internacional como ciudad "oasis" y es el resultado de decisiones de diseño adoptadas intuitivamente a partir de la condición árida y sísmica del emplazamiento y las ideas higienistas del urbanismo francés de mediados del SXIX.

La trama verde introduce en la ciudad lo que Le Corbusier llamó años más tarde "les conditions de nature" (LE CORBUSIER, 1945) y permite equilibrar obra muerta (edificaciones, pavimentos) con obra viva (árboles, parques, plazas). Los

beneficios del modelo están asociados a la menor acumulación de calor durante las horas del día sobre las superficies duras debido a la sombra arrojada por la copa de los árboles sobre el espacio urbano y la edificación.

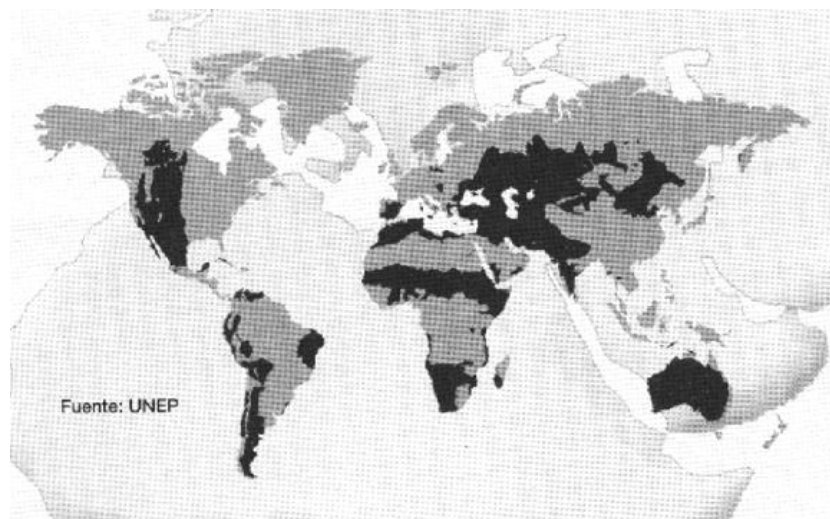
Sin embargo, en la ciudad de Mendoza; estudios realizados con anterioridad (Correa *et al.*, 2006) han demostrado que, durante la noche la condición abovedada de la estructura verde disminuye el factor de visión de cielo¹ hecho que sumado a las características climáticas del emplazamiento (baja frecuencia e intensidad de los vientos) reducen el potencial de enfriamiento pasivo por radiación y convección. Este fenómeno genera una isla de calor nocturna² que alcanza máximas de 10 °C y se sucede en todas las estaciones del año. El impacto energético del fenómeno equivale a un incremento del 20% de las necesidades de enfriamiento dentro del área metropolitana (CORREA *et al.*, 2008).

Frente a este escenario es necesario reflexionar sobre las directrices de diseño morfológico de los canales viales a los efectos de potenciar sus beneficios y minimizar sus efectos negativos. Este artículo tiene como objetivo determinar el comportamiento térmico y el grado de confort alcanzado en canales viales típicos de la trama urbana de baja densidad forestada con especies de segunda magnitud en condición de homogeneidad y heterogeneidad o diversidad.

El objetivo final es avanzar sobre estrategias que permitan obtener un diseño urbano bioclimático, es decir, adecuado al clima del lugar de emplazamiento de la ciudad. Esta evaluación incluye por supuesto la contribución de las estructuras verdes urbanas.

¹ El factor de visión de cielo expresa para un punto de observación determinado, la relación entre el área visible de cielo y la porción de bóveda celeste cubierta por los distintos componentes del medio ambiente (topografía, edificios, árboles, luminarias, mobiliario, etc.). El factor de visión de cielo o SVF (sky view factor) por sus siglas en inglés, es un parámetro adimensional que toma valor entre 0 y 1. Se aproximará a la unidad en un terreno abierto y plano y por el contrario en situaciones urbanas de gran cantidad de obstrucciones edilicias y forestales, su valor será considerablemente menor.

² En zonas urbanas densamente construidas las temperaturas del aire son mayores que las temperaturas en los alrededores de la ciudad. Este fenómeno se conoce como "isla de calor urbana" y está caracterizado por una importante variación temporal y espacial, en relación con el clima de la región, la topografía y la implantación física de la ciudad que se analiza y en el momento en que se analiza. Hablamos de isla de calor nocturna cuando el fenómeno ocurre en el lapso de tiempo comprendido entre la puesta y la salida del sol.



Fonte: UNEP (1990).

Figura 1 - Distribución de las zonas áridas en el mundo

El criterio de clasificación de las magnitudes forestales se basa en la altura final que alcanzan los árboles según sus características genéticas a los 20 años- aproximadamente- desde su plantación. De este modo los árboles de *Primera Magnitud* son especies cuya altura final supera los 15 metros, la *Segunda Magnitud* corresponde a especies entre 10 y 15 metros de altura y, la *Tercera Magnitud* a especies con alturas inferiores a 10 metros (CARRIERI, 2004).

Desde el punto de vista energético, la elección de la magnitud del árbol que será utilizado en los canales viales debe dar respuesta a las necesidades termo-lumínicas del espacio.

Desde el punto de vista morfológico, las estructuras verdes en los canales viales 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 -túnel continuo sobre calzada y vereda-, 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 -túnel interrumpido a nivel de calzada y pantalla homogénea sobre vereda-, 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 -desarrollo individual del forestal sin superposición de copas-, 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 Mendoza, Argentina; “ciudad oasis” 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*).

Por otra parte, está demostrado que el factor de visión de cielo es de singular importancia en el balance térmico de las ciudades; considerado además uno de los elementos clave en la formación de isla de calor urbana (YAMASHITA *et al.*, 1986; OKE *et al.*, 1991; UNGER *et al.*, 1996; MORRIS *et al.*, 2001).

Si tomamos como parámetro el factor de visión de cielo, estudios previos en la ciudad analizada, han demostrado el impacto negativo de forestar la baja densidad edilicia con especies de 1era magnitud, siendo muy ventajoso en este caso usar especies de 2da y 3ra magnitud (CORREA *et al.*, 2007). La primera magnitud forestal combinada con la baja densidad edilicia produce una disminución de la visión de bóveda celeste del espacio que oscila entre el 70 a 80% en verano, y entre 35 a 40% en invierno. Mientras que, forestar los espacios urbanos de baja densidad con especies de segunda magnitud produce un bloqueo adicional de la bóveda celeste del 25% en verano y entre 5% a 10 % en invierno. Para el caso de la tercera magnitud forestal solo se registran casos consolidados en la baja densidad edilicia, mostrando mínimo impacto tanto en invierno como en verano. (10% de

bloqueo en verano y 5% en invierno). Si consideramos que el enfriamiento radiativo nocturno es un recurso fundamental para el refrescamiento de esta ciudad debido a sus características climáticas y topográficas, es evidente la ventaja de forestar con especies que permitan una mejor visión de cielo nocturno.

Para el caso de la alta densidad edilicia, durante el verano (condición térmica más comprometida), no existe diferencia significativa entre el factor de visión de cielo que presentan los canales viales forestados con especies de 1era o 2da magnitud; por lo que la selección de la magnitud del árbol para forestar la trama de alta densidad edilicia debe apoyarse en otra variable (longevidad, manejo, adaptación hídrica, etc.), (CORREA *et al.*, 2007).

Otros estudios han demostrado que, si se mantiene la densidad edilicia constante y se varía el ancho de la trama urbana, el uso de árboles de primera magnitud 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 edilicia 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 (CORREA *et al.*, 2008).

Finalmente, si consideramos las características de la ciudad de Mendoza: compuesta en un 80% por baja densidad edilicia y en la cual aproximadamente el 84% de las especies forestales se concentra en 3 tipos arbóreos que corresponden a la Primera y Segunda Magnitud (CANTÓN *et al.*, 2003); y sobre la base de los resultados encontrados hasta el momento que muestran el impacto negativo de forestar la baja densidad edilicia con especies de primera magnitud; este trabajo decide avanzar sobre la evaluación del grado de habitabilidad térmica que presentan los canales viales de baja densidad edilicia forestados con especies de segunda magnitud.

Metodología

Selección de los casos de estudio

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 las calles. Es así que se detectan canales viales de 16 m que constituyen un 25% del total de la trama, canales de 20 m, que representan el 70% y de 30 m en un 5%. La estructura espacial se ha desarrollado en forma piramidal concentrando la mayor masa edilicia y en altura en el sector fundacional que corresponde al microcentro de la ciudad y va decreciendo progresivamente hacia la periferia de la mancha urbana total del Área Metropolitana de Mendoza, hasta alcanzar las mínimas densidades en las áreas residenciales. En este aspecto, 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 (ver Figura 2).

Respecto a su configuración forestal, como se expuso anteriormente el 84% de las especies forestales corresponden a la Primera y Segunda Magnitud representadas mayoritariamente por (*Platanus acerifolia* 22%, *Morus alba* 38%, *Fraxinus excelsior* 19 %). Si se analiza la distribución de cada especie forestal en cuanto a su relación con la densidad edilicia; para el caso de la baja densidad, un porcentaje aproximado al 88 % se distribuye entre especies arbóreas que pertenecen predominantemente a la segunda magnitud. (CANTÓN *et al.*, 2003).

En la Tabla 1 se muestran las condiciones climáticas medias del área de estudio (ciudad de Mendoza, Argentina)



Figura 2 - Distribución de la densidad edilicia y ancho de canal vial dentro del Área Metropolitana de Mendoza

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| HGLO | 25,7 | 24,0 | 18,6 | 14,70 | 11,10 | 9,10 | 9,90 | 14,10 | 17,20 | 22,70 | 24,50 | 25,40 | 18,08 |
| HDIF | 10,5 | 9,0 | 8,9 | 6,80 | 5,30 | 4,80 | 5,00 | 5,40 | 7,80 | 8,40 | 10,50 | 10,90 | 7,78 |
| TMAA | 37,4 | 37,0 | 34,6 | 31,50 | 29,20 | 28,50 | 27,80 | 29,00 | 33,90 | 34,70 | 37,50 | 39,00 | 39,00 |
| TMAM | 30,1 | 28,9 | 26,0 | 21,90 | 18,20 | 14,60 | 14,70 | 17,30 | 19,90 | 23,20 | 26,80 | 29,20 | 22,60 |
| TM | 23,6 | 22,5 | 19,8 | 15,40 | 11,60 | 7,90 | 7,80 | 10,10 | 13,20 | 16,70 | 20,10 | 22,30 | 15,90 |
| TMIM | 18,4 | 17,3 | 15,0 | 10,90 | 7,30 | 3,80 | 3,40 | 5,00 | 7,70 | 11,10 | 14,80 | 17,30 | 11,00 |
| TMIA | 6,2 | 7,7 | 1,5 | 0,50 | -1,20 | -6,90 | -5,70 | -3,50 | -2,60 | 1,20 | 3,30 | 6,20 | 6,20 |
| HREL | 49,0 | 53,0 | 59,0 | 60,00 | 62,30 | 64,00 | 61,3 | 51,00 | 46,70 | 49,30 | 48,00 | 50,00 | 54,70 |
| HELRL | 65,5 | 68,5 | 59,0 | 60,50 | 59,00 | 54,50 | 57,00 | 68,00 | 61,00 | 69,00 | 63,50 | 62,00 | 62,33 |
| KT | 0,6 | 0,62 | 0,56 | 0,57 | 0,56 | 0,54 | 0,55 | 0,62 | 0,58 | 0,62 | 0,59 | 0,58 | 0,58 |
| PREC | 35,0 | 32,0 | 28,0 | 11,00 | 8,00 | 8,00 | 5,00 | 6,00 | 8,00 | 25,00 | 22,00 | 30,00 | 218,00 |
| HGCC | 30,4 | 27,5 | 22,9 | 17,30 | 12,70 | 10,60 | 11,50 | 15,20 | 20,50 | 25,80 | 29,50 | 30,70 | 0,00 |
| NUBM | 3,3 | 3,3 | 3,6 | 3,40 | 4,00 | 4,10 | 3,70 | 3,50 | 3,30 | 3,50 | 3,50 | 3,40 | 3,50 |

Legenda:

- HGLO: Radiación Solar Global sobre superficie horizontal [Mj/m^2]
- HDIF: Radiación Solar Difusa sobre superficie horizontal [Mj/m^2]
- TMAA: Temperatura Máxima Absoluta ($^{\circ}C$)
- TMAM: Temperatura Máxima Media ($^{\circ}C$)
- TMIM: Temperatura Mínima media ($^{\circ}C$)
- TMIA: Temperatura Mínima Absoluta ($^{\circ}C$)
- NUBM: Nubosidad Media medida en octavos
- TM: Temperatura media ($^{\circ}C$)
- HREL: Humedad Relativa (%)
- HELRL: Heliofanía Relativa (%)
- KT: Índice de Claridad (%)
- PREC: Precipitaciones (mm)
- HGCC: Radiación Solar de cielo claro [Mj/m^2]

Localización:

- Latitud $32^{\circ} 52' S$
- Longitud $68^{\circ} 51' O$

Tabla 1 - Condición climática del área metropolitana de Mendoza

| | Diversidad | | Fraxinus Excelsior | | Morus alba | |
|--|------------|------|-----------------------|------|------------|------|
| | 16 m | 20 m | 16 m | 20 m | 16 m | 20 m |
| Permeabilidad solar de la especie forestal durante el verano (%) | 16.2 /31.4 | | 16.2 | | 31.4 | |
| Relación altura media edificios / ancho canal vial (H/W) | 0.22 | 0.27 | 0.22 | 0.31 | 0.24 | 0.27 |
| Factor de visión de cielo (SVF) | 0.18 | 0.30 | 0.24 | 0.35 | 0.32 | 0.16 |

Tabla 2 - Variables morfológicas relacionadas con los espacios y las especies evaluadas

Basados en éstas características y los antecedentes precedentes, se decidió evaluar el comportamiento térmico de verano, de distintas configuraciones de cañones urbanos de baja densidad forestados con especies de segunda magnitud, que fueran representativos de las configuraciones urbanas típicas de la ciudad y al mismo tiempo presentasen perfiles forestales que ofrecen distintas respuestas a las necesidades termo-lumínicas de los espacios que fueron discutidas en los antecedentes.

Para ello se seleccionaron seis casos de estudio. Los casos son representativos de la combinación entre dos tipos de ancho de canal vial predominante en la baja densidad (20 y 16 m) y tres tipos de configuración vegetal de 2da. Magnitud (homogeneidad de moreras, homogeneidad de fresnos y diversidad). En la Tabla 2 se presentan los parámetros vinculados a la morfología vegetal y edilicia, correspondientes a los casos evaluados. Los datos de permeabilidad corresponden a los trabajos realizados previamente por Cantón *et al.* (1993). Los datos correspondientes a la relación ancho/alto de cada canal fueron relevados en campo y el factor de visión de cielo se ha obtenido a partir del procesamiento de imágenes digitales hemiesféricas.

Monitoreo y evaluación del comportamiento térmico

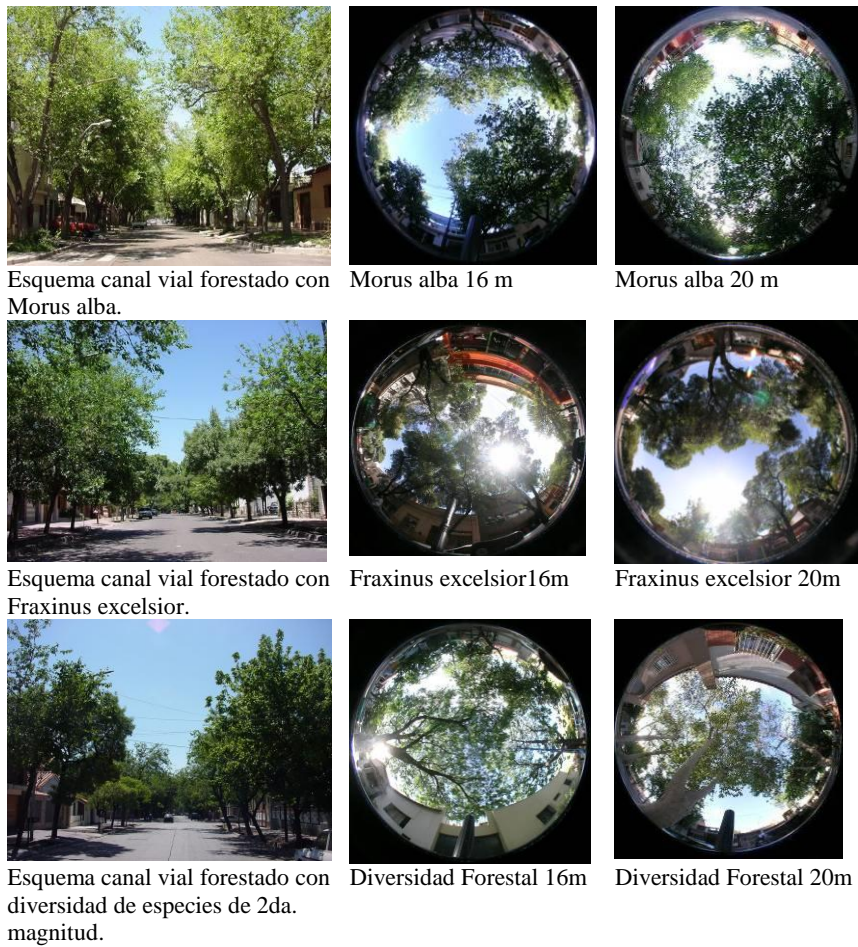
Con el propósito de monitorear el comportamiento térmico de los espacios seleccionados, seis dataloggers tipo H08-003-02, HOBO-ONSET, dos canales internos de temperatura y humedad relativa

(RH), rango de temperatura: -20 a 70 °C, precisión: +/- .7° a 21 °C, rango de RH: 25 a 95 % RH, precisión: +/- 5%. Los sensores se han colocado a una altura de 2 m desde el nivel del suelo (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 verano de 2009, desde el 15 de febrero al 15 de marzo, midiendo cada 15 minutos; y han sido evaluados estadísticamente a fin de estimar la distribución de frecuencia de los resultados encontrados.

Ver en la Figura 3, los esquemas forestales a los que responden los cañones urbanos evaluados y su imagen hemiesférica correspondiente. El factor de visión de cielo (SVF) fue calculado a partir de imágenes hemiesféricas 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 3).

En la Figura 4 se muestra esquemáticamente la localización de los sensores en el centro del cañón urbano y en detalle su disposición en campo. Los casos evaluados corresponden a canales viales orientación E-O y los sensores se encuentran colocados en la fachada que mira al sur sobre columnas de alumbrado al borde de la calle, protegidos (sombreados) y ventilados.



Obs.: Imagen ojo de pez de los espacios evaluados.
 Figura 3 - **Morfología forestal de los esquemas analizados**

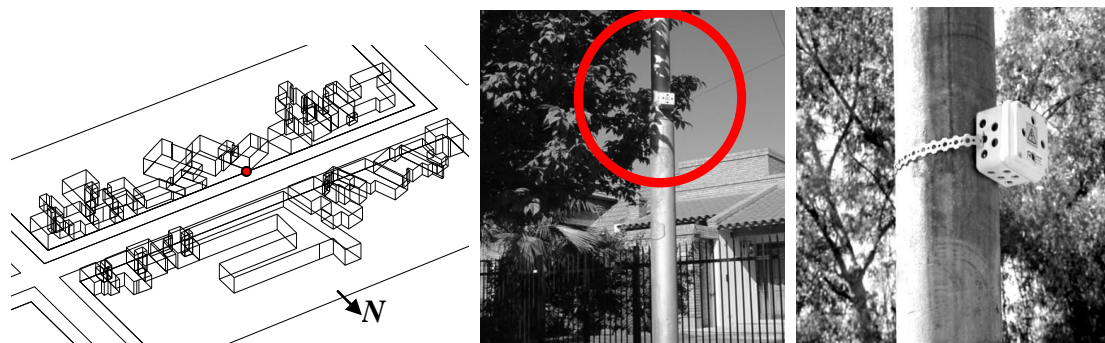


Figura 4 - **Esquema y localización de los sensores en el canal vial**

Evaluación de las condiciones de confort térmico de los casos evaluados

Dado que el “éxito” de un espacio abierto, entendido como el grado de habitabilidad del mismo, es influenciado por muchos factores relacionados con los componentes del medioambiente físico y social. En este trabajo nos focalizaremos sólo en un aspecto del

medioambiente físico: el medioambiente térmico. Definiendo como medioambiente térmico a todos aquellos elementos del medioambiente físico que condicionan el confort térmico del ser humano. (HERRINGTON *et al.*, 1977).

El índice de disconfort conocido como THI por sus siglas en inglés (Temperature-Humidity Index) propuesto por Thom (THOM, 1959) fue utilizado

para evaluar el grado de habitabilidad térmica de los espacios evaluados.

La ecuación para el cálculo del THI requiere de la temperatura del aire (t) medida en grados Celsius y la humedad relativa (RH) en porcentaje (véase ecuación 1). Según la fórmula, el nivel óptimo de confort se obtiene para valores de THI que oscilan entre 15 y 20°C (ver Tabla 3).

$$\text{THI} = 0.8 * t + \text{RH} * t / 500 \quad \text{Ec. 1}$$

Mediante el testeo empírico de los valores de THI sobre seres humanos, los límites de confort para la estación estival se han definido de la siguiente manera (NIEUWOLT, 1977).

Para valores de THI definidos entre:

- (a) $21 \leq \text{THI} \leq 24$ = el 100% de las personas (se) sienten confort;
- (b) $24 < \text{THI} \leq 26$ = el 50% de las personas sienten disconfort por calor; y
- (c) $\text{THI} > 26$ = el 100% de las personas se encuentran en disconfort por calor.

El índice de disconfort conocido como índice de la temperatura-humedad (THI), propuesto por Thom, proporciona una medida de fácil evaluación que permite describir el grado de confort térmico en varias combinaciones de la temperatura y de la humedad (Mather, 1974). Aunque existen métodos más complejos para determinar el confort térmico en espacios exteriores, que requieren mayor cantidad de variables, el índice de disconfort de Thom (DEOSTHALI, 1999) es un método eficaz y sencillo avalado por diversos trabajos (CLARKE *et al.*, 1971; GILES *et al.*, 1990; UNGER, 1999).

Además, los rangos utilizados para la clasificación del grado de confort, se han desarrollado en ciudades de latitudes medias en donde se localiza la ciudad analizada. Estas razones hacen del THI el índice de mayor difusión particularmente para establecer las condiciones de confort en espacios abiertos (EMMANUEL, 2005).

Es importante observar que todos los índices bioclimáticos tienen ciertas limitaciones. Debido a la naturaleza del ser humano y a los efectos combinados de las variables atmosféricas, las cuales varían ampliamente tanto en el espacio como en el tiempo. Por lo tanto el uso de THI, parece ser una alternativa razonable para analizar de manera general las condiciones de estrés térmico de una ciudad en un cierto plazo (EMMANUEL, 2005).

Los datos de temperatura y humedad registrados durante las campañas de mediciones fueron procesados y los valores de THI obtenidos se han analizado estadísticamente.

Análisis de resultados

Durante los meses de verano del año 2009; se tomaron registros continuos de las condiciones de temperatura y humedad del aire para los casos analizados. Todos los casos evaluados poseen orientación O-E, pues corresponde a canales viales con mayor asoleamiento en la trama y por lo tanto representan la condición más rigurosa a controlar durante el verano.

Para evaluar mejor la incidencia de las distintas configuraciones sobre el comportamiento térmico del espacio, el análisis estadístico de los datos se realizó para dos periodos: “calentamiento” de 7.30 AM a 8.30 PM. y “enfriamiento” de 8.30 PM a 7.30 AM.

Comportamiento térmico de verano

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.

| Categorías THI | |
|-------------------------|------------------------------------|
| Muy frío | $\text{THI} < -1.7$ |
| Frío | $-1.7 \leq \text{THI} \leq +12.9$ |
| Templado | $+13 \leq \text{THI} \leq +14.9$ |
| Agradable o comfortable | $+15 \leq \text{THI} \leq +19.9$ |
| Caluroso | $+20 \leq \text{THI} \leq +26.4$ |
| Muy Caluroso | $+26.5 \leq \text{THI} \leq +29.9$ |
| Tórrido | $\text{THI} \geq +30$ |

Tabla 3 - Clasificación del grado de confort mediante el uso del índice de Disconfort (DI o THI)

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 radiativo, con las consecuencias negativas mencionadas anteriormente (CORREA *et al.*, 2008). Es por ello, que en este trabajo se evalúan tres condiciones forestales alternativas, con especies de segunda magnitud. Dichas especies se encuentran con frecuencia en los canales viales de la trama urbana de baja densidad de la ciudad.

Comportamiento térmico durante el periodo de calentamiento

Las gráficas a continuación representan el comportamiento térmico de los casos evaluados respecto de dos situaciones.

La Figura 5 muestra las curvas de temperatura del aire correspondientes al desempeño de cada una de las configuraciones forestales analizadas (homogeneidad con fresnos y moreras; y diversidad en especies de segunda magnitud), respecto del ancho de calle de la trama de baja densidad en la cual se inserta el forestal (20 o 16 m).

La Figura 6 muestra el comportamiento térmico de un mismo ancho de canal vial, vegetado con distintas configuraciones forestales de segunda magnitud.

Al mismo tiempo en la Tabla 4 se observa la distribución de las temperaturas (máximas, mínimas y medias) para cada uno de los casos evaluados, durante el periodo de calentamiento.

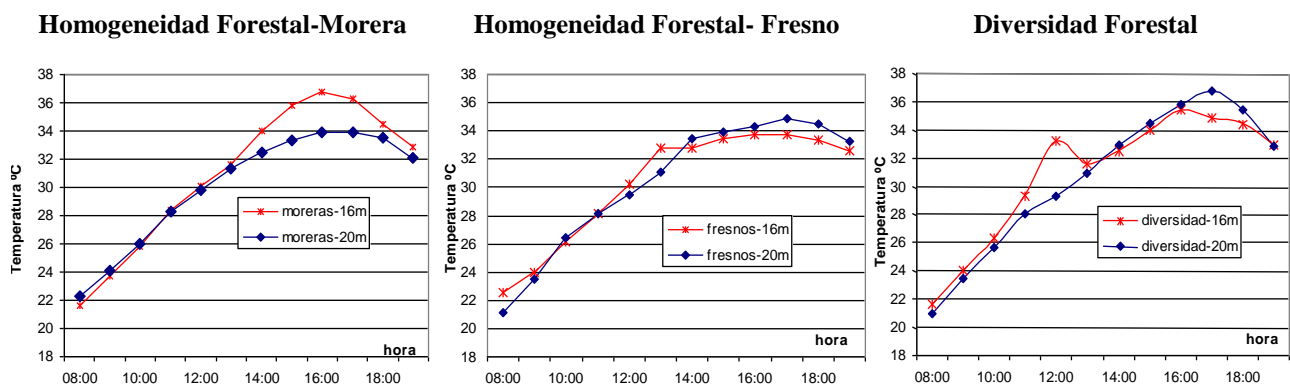


Figura 5 - Curvas de comportamiento térmico canales 20 m versus canales de 16 m (7.30 AM a 8.30 PM)

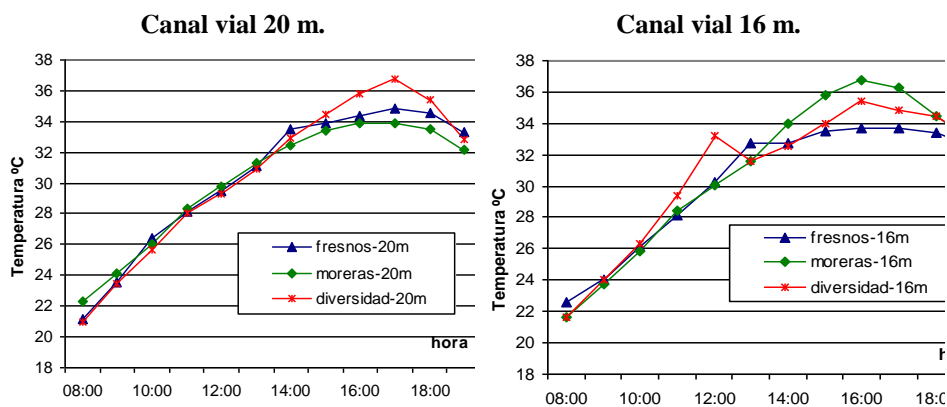


Figura 6 - Comportamiento térmico de un mismo ancho de canal vial en baja densidad forestado con distintas configuraciones de especies de segunda magnitud (7.30 AM a 8.30 PM)

| CALENTAMIENTO | Baja Densidad | | fresno | morera | diversidad |
|---------------|--------------------|---------------|--------|--------|------------|
| | Canal Vial 16 m | °T Media [°C] | 30,0 | 30,6 | 30,5 |
| | | Desv st | 4,2 | 5,2 | 4,8 |
| | | Mín | 22,5 | 21,0 | 21,0 |
| | | Máx | 34,0 | 37,0 | 35,7 |
| | Canal Vial 20 m | °T Media [°C] | 30,0 | 29,5 | 30,2 |
| | | Desv st | 4,9 | 4,2 | 5,3 |
| | | Mín | 20,0 | 21,7 | 20,5 |
| | | Máx | 35,3 | 34,0 | 37,0 |

Obs.: Valor de las máximas, medias y mínimas (7.30 AM a 8.30 PM).

Tabla 4 - Distribución de las temperaturas de los casos analizados

Todas las curvas de temperatura del aire presentan un máximo alrededor de las 16:00 a 17:00 hs. en coincidencia con las características de inercia térmica que presenta la ciudad analizada. (CORREA, 2006).

De la observación de la Tabla 4 y los gráficos 5 y 6, los resultados pueden analizarse tomando en cuenta:

(a) el impacto de la variación del ancho del canal vial considerando que está forestado con una misma especie. En este sentido, los gráficos de la Figura 5, muestran una variación importante, sólo para el caso de los canales forestados con homogeneidad de moreras. Presentando mejor comportamiento térmico la especie en canales de 20m. Para el resto de las configuraciones, no se observan diferencias importantes. Este comportamiento se explica a partir de las características morfológicas y el desarrollo de las copas de las configuraciones forestales evaluadas, como se explicará más adelante; e

(b) cómo una determinada especie forestal afecta el comportamiento térmico de un ancho determinado de canal vial. En este sentido, los gráficos de la Figura 6 muestran claramente la ventaja de forestar los canales viales de 20 m presentes en la baja densidad con homogeneidad de moreras. Mientras que para el caso de los canales de 16 m la mejor alternativa parece ser la forestación con homogeneidad de fresnos.

Éstos resultados avalan la hipótesis de que el comportamiento térmico óptimo de un canal vial se obtiene mediante el ajuste de las distintas variables que participan tanto de los balances radiativos como térmicos; mostrando que el beneficio de la sombra debido a las características de desarrollo de la copa de la morera combinado con la mejor circulación de viento que ofrecen los canales de 20 m convierte a esta alternativa en la más eficiente. Sin embargo para el caso de los canales de 16 m parecería ser que una copa de desarrollo individual, del tipo de la que presentan

los fresnos, ofrece mejores resultados cuando se trata de balancear el impacto de la ganancia radiativa del espacio con las posibilidades de enfriamiento convectivo del mismo.

Si analizamos las temperaturas máximas, medias y mínimas registradas en cada uno de los casos (ver Tabla 4), las máximas temperaturas se registran en dos configuraciones: canales viales de 16 m de ancho forestados con moreras y canales viales de 20 m de ancho forestados con diversidad de especies de segunda magnitud.

Respecto de las temperaturas mínimas, la mejor situación se relaciona con las mejores posibilidades de enfriamiento radiativo y convectivo nocturno que ofrece el canal vial de 20 m forestado con fresnos.

Se realizó el estudio de distribución de frecuencias de las diferencias en el comportamiento térmico de los casos analizados, los gráficos 7 y 8 muestran los resultados de este análisis en dos situaciones:

(a) considerando constante la configuración forestal y variando el ancho de la trama (Figura 5);

(b) considerando constante el ancho de la trama y variando su configuración forestal (Figura 6).

Si comparamos las diferencias de temperaturas, durante el periodo de calentamiento, entre los canales viales de 16 y 20 m (ver Figura 5). Vemos para la forestación con fresnos (*Fraxinus excelsior*) que aproximadamente un 60 % de las diferencias de temperatura correspondientes entre los canales de 16 y 20 m están entre -1 °C y 1 °C, lo cual significa que no hay distinción en el funcionamiento térmico de la especie de acuerdo a la variación del ancho de calle en la trama (para los casos evaluados).

Sin embargo, sí existe diferencia para el caso de la morera (*Morus alba*), siendo el canal de 20 m de ancho por lo menos 2 °C más fresco que el de 16 m en un 72 % de los casos.

En el caso de la diversidad de especies forestales en el 70 % de los casos el canal de 16 m se encuentra a mayor temperatura que el de 20 m.

Los comportamientos observados responden cualitativamente a las características de crecimiento y desarrollo de cada una de las especies y su vinculación con los recursos climáticos y la forma edilicia de la ciudad. En el caso del fresno, especie de desarrollo individual la modificación de 4 m en el ancho de canal vial no modifica las características de desarrollo de su copa y por lo tanto la proporción de sombra, el incremento de la rugosidad del terreno y el grado de obstrucción de la bóveda no se ven modificados significativamente de una alternativa a otra, sobretodo si tenemos en cuenta que en la baja densidad el impacto de la geometría edilicia sobre

los balances radiativos de los espacios es menos significativa que para el caso de la alta densidad.

El caso de la morera responde a la situación opuesta, al ser una especie que presenta una copa amplia, abovedada, formada de ramas alargadas muy ramificadas, la diferencia de espacio determina de alguna manera el grado de superposición o entrecruzamiento lateral y frontal de sus copas, formando en los canales viales de 16 m un túnel (continuo o discontinuo) que si bien ofrece buena condición de sombra frena significativamente las posibilidades de enfriamiento convectivo de los espacios durante el período de calentamiento; esto se traduce en un empeoramiento de las condiciones térmicas. Situación que se ve reflejada cuando se comparan las temperaturas máximas y medias de los canales de 20 y 16 m forestados con moreras, ver Tabla 4.

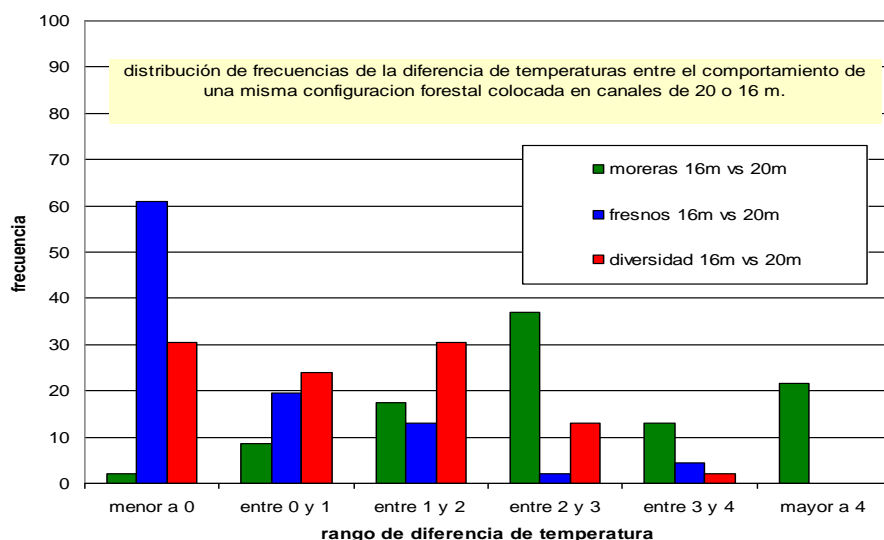


Figura 7 - Distribución de frecuencias de las diferencias de temperatura horarias registradas para una misma configuración forestal colocada en distintos anchos de canal vial (20 y 16 m)

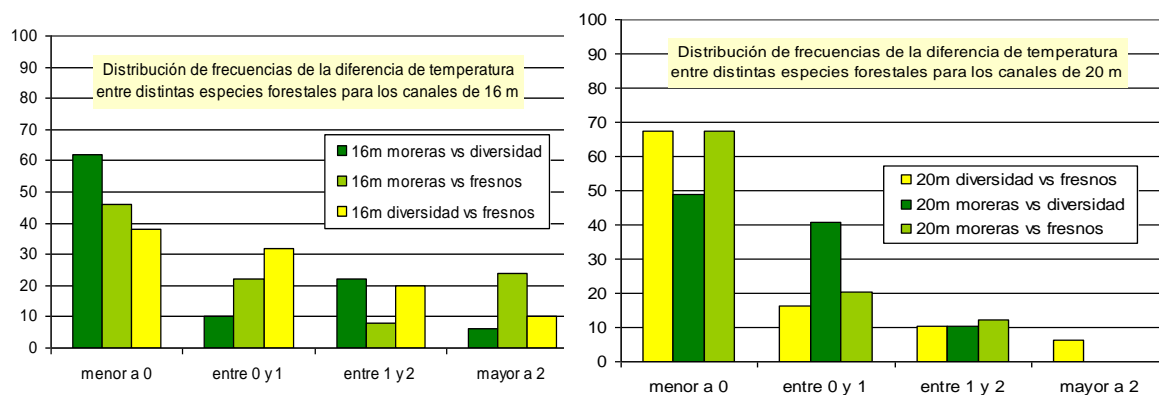


Figura 8 - Distribución de frecuencias de las diferencias de temperatura horarias registradas para un mismo ancho de canal vial forestado con distintas configuraciones de especies de segunda magnitud

Para el caso de la diversidad forestal, el comportamiento térmico responde claramente al comando de la estructura de la trama de baja densidad, en la cual, el mayor confinamiento del canal de 16 m no es significativo respecto del bloqueo de la radiación y por tanto el efecto de la disminución de las posibilidades de enfriamiento convectivo gobierna el comportamiento térmico del espacio. Pareciera ser que el resultado de la combinación de los efectos de las distintas tipologías vegetales; tanto las que responden a las características de la morera como a las del fresno; anulan tanto los beneficios como los perjuicios que cada una de ellas ofrecen.

Si analizamos las diferencias de temperatura para cada ancho de canal. Para el caso de canales de 20 m de ancho, los forestados con moreras se encuentran más frescos que los forestados con fresnos (con un 67% de frecuencia). Si comparamos el comportamiento de la morera con la diversidad, no se aprecia un comportamiento determinante (aproximadamente el 50% de los registros indican que el canal con moreras es más fresco). Si consideramos no sólo el comportamiento térmico sino también las variables relacionadas con el manejo del forestal (poda, control fitosanitario, etc.); vemos que la forestación con homogeneidad de moreras para un canal de 20 m en condición de baja densidad edilicia resulta ser la alternativa más ventajosa de las evaluadas para el período de calentamiento.

Para los canales viales de 16 m de ancho; los forestados con fresnos se encuentran durante el período de calentamiento más frescos que los forestados con moreras un 56 % de los casos y que los forestados con diversidad un 62% de los casos.

Comportamiento térmico durante el periodo de enfriamiento

Los resultados de los análisis descriptos precedentemente pero para el periodo de enfriamiento (8.30 PM a 7.30 AM) muestran:

(a) el impacto de la variación del ancho del canal vial forestado con una misma especie sobre las posibilidades de enfriamiento del canal. En este sentido, los gráficos de la Figura 9 muestran variación sólo para el caso de los canales forestados con homogeneidad de moreras y fresnos, presentando mejor condición térmica siempre el canal de 20m. Si analizamos la distribución de frecuencias (Figura 11) vemos que el canal de 20m forestado con fresnos está un 95% de los casos más fresco que el de 16m. Para el caso de la morera el canal de 20m está más fresco que el de 16 un 82% de los casos evaluados. En este caso el ancho de la trama parece comandar primordialmente el grado de enfriamiento. Sin embargo la morfología forestal del fresno que permite para un mismo ancho de trama mayor visión de bóveda celeste y menor rugosidad del terreno acentúa las posibilidades de enfriamiento;

y
(b) cuando analizamos, cómo una determinada especie forestal afecta el grado de enfriamiento de un ancho de canal vial determinado. Las curvas de la Figura 10 muestran claramente que no existen diferencias importantes durante el enfriamiento de los canales de 16m cualquiera sea el tipo de forestación evaluado. Mientras que para el caso de los canales de 20m la forestación con fresnos se presenta como la mejor configuración. Respaldao lo explicado en el párrafo anterior.

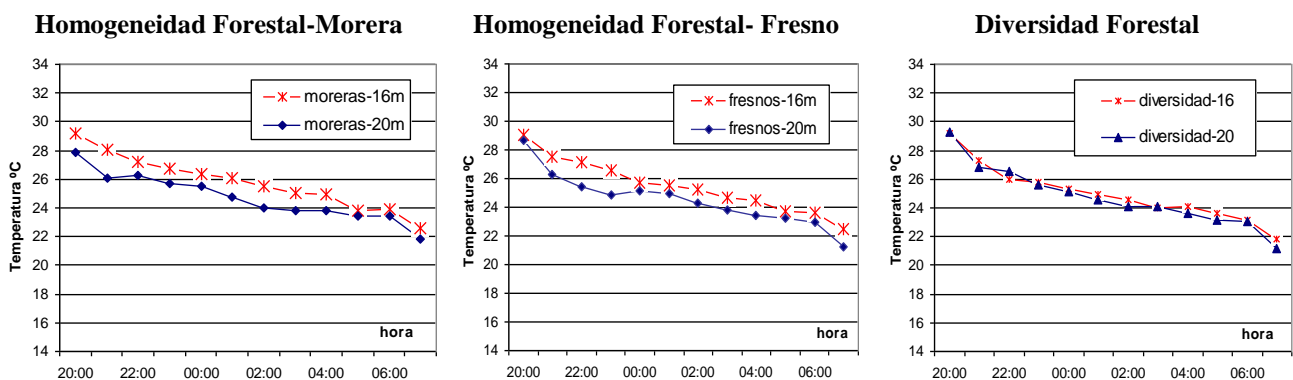


Figura 9 - Curvas de comportamiento térmico canales 20 m versus canales de 16 m

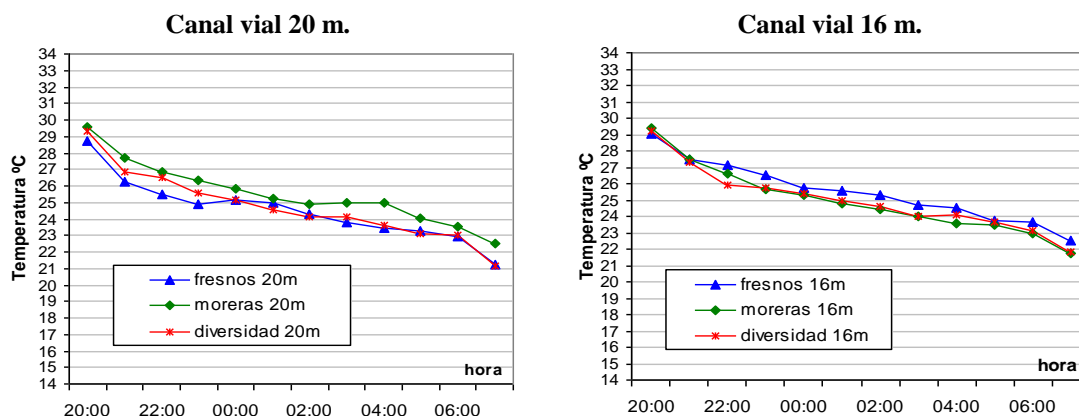


Figura 10 - Comportamiento térmico de un mismo ancho de canal vial en baja densidad forestado con distintas configuraciones de especies de segunda magnitud

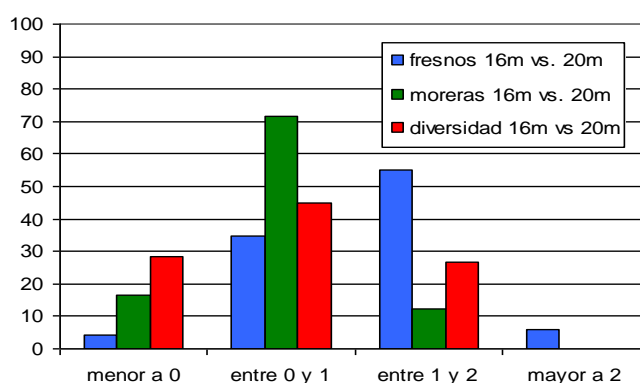


Figura 11 - Distribución de frecuencias de las diferencias de temperatura horarias registradas para una misma configuración forestal colocada en distintos anchos de canal vial (20 y 16 m)

| | | Baja Densidad | | fresno | morera | Diversidad |
|--------------------|------------------------|---------------|--|--------|--------|------------|
| EFRIAMIENTO | Canal Vial 16 m | °T Media [°C] | | 26.2 | 25.6 | 25.7 |
| | | Desv st | | 2.3 | 2.5 | 2.6 |
| | | Mín | | 22.0 | 21.0 | 21.0 |
| | | Máx | | 32.0 | 32.0 | 32.4 |
| | Canal Vial 20 m | °T Media [°C] | | 25.0 | 26.1 | 25.1 |
| | | Desv st | | 2.5 | 2.3 | 2.5 |
| | | Mín | | 20.2 | 21.7 | 20.5 |
| | | Máx | | 32.0 | 31.5 | 32.0 |

Tabla 5 - Distribución de las temperaturas de los casos analizados - valor de las máximas, medias y mínimas

Respecto del análisis de distribución de frecuencias (Figura 11), solo se aprecian diferencias para el caso de los canales de 20m. Siendo los canales forestados con fresnos más frescos que los forestados con moreras en un 78% de los casos; y que los forestados con diversidad en un 65% de los casos.

Si analizamos, para el período de enfriamiento, las temperaturas máximas, medias y mínimas registradas en cada uno de los casos (ver Tabla 5). Las máximas temperaturas para los canales viales

de 16 m de ancho no presentan variaciones respecto de su configuración forestal, al igual que las temperaturas medias y mínimas. En canales viales de 20 m la forestación con fresnos ofrece las mejores condiciones de enfriamiento, asociado a las posibilidades de enfriamiento radiativo y convectivo nocturno que ofrece la morfología de esta especie.

Evaluación del grado de confort térmico de los espacios

La evaluación del grado de confort alcanzado en cada uno de los casos de estudio se realizó usando como indicador el índice de disconfort de Thom o THI, como se ha explicado previamente en la metodología. De acuerdo al rango de valores que propone el método las Figuras 12 y 13 muestran la evolución horaria del grado de confort alcanzado en cada una de las configuraciones durante el día,

que coincide con el periodo de mayor habitabilidad de los espacios.

Para el caso de canales de 16m la forestación con fresnos presenta el mejor desempeño, sin embargo todas las configuraciones de encuentran en distintos grados de disconfort por calor a partir de las 9.00 de la mañana y esta situación se mantiene hasta las últimas horas de la tarde. Para el caso de los canales viales de 20m, el mejor comportamiento se presenta en los espacios forestados con morera.

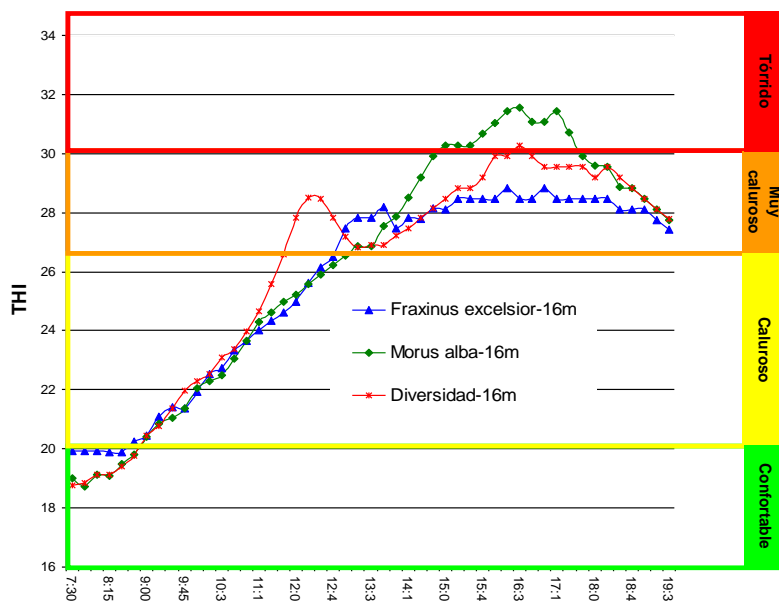


Figura 12 - Distribución horaria del índice de confort para los canales viales de 16m de ancho forestados con las distintas estructuras forestales evaluadas - periodo de calentamiento

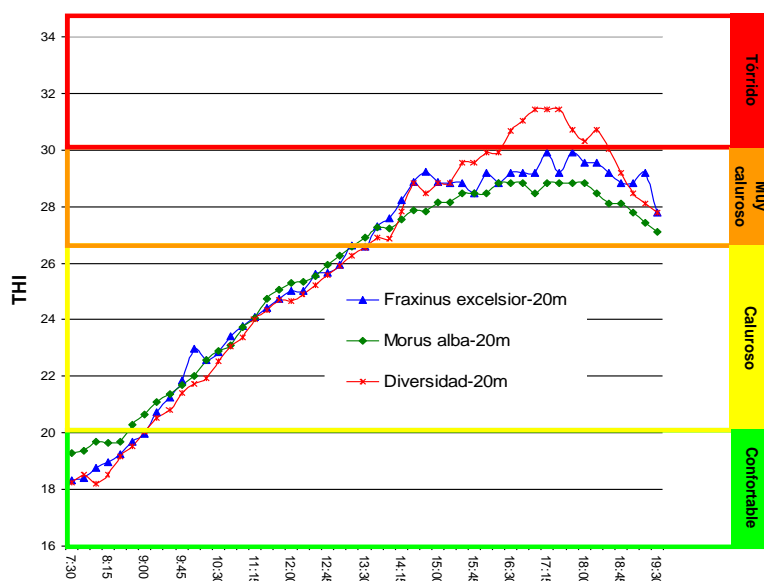


Figura 13 - Distribución horaria del índice de confort para los canales viales de 20m de ancho forestados con las distintas estructuras forestales evaluadas - periodo de calentamiento

Durante el periodo de enfriamiento, la situación se invierte, y los casos que presentan el mejor desempeño en términos de confort térmico durante el día, se muestran como los más desfavorables durante la noche (ver Figuras 14 y 15). Esta situación expone claramente un dilema al que se expone este modelo de ciudad oasis en zona árida, por un lado la necesidad de la sombra para conseguir el confort durante el día y por otra parte la necesidad de despejar la bóveda celeste para potenciar el enfriamiento radiativo nocturno, en este tipo de ciudades donde la frecuencia e

intensidad de los vientos es leve. Por esto el esquema morfológico urbano-forestal que da las mejores respuestas durante el día no es el que ofrece la mejor alternativa durante la noche. En este punto las soluciones urbanas deben asegurar un adecuado nivel de confort durante las horas de mayor habitabilidad de los espacios que se corresponden con las del día y al mismo tiempo posibilitar el enfriamiento de la ciudad durante la noche con el fin de mitigar el efecto de la isla de calor urbana.

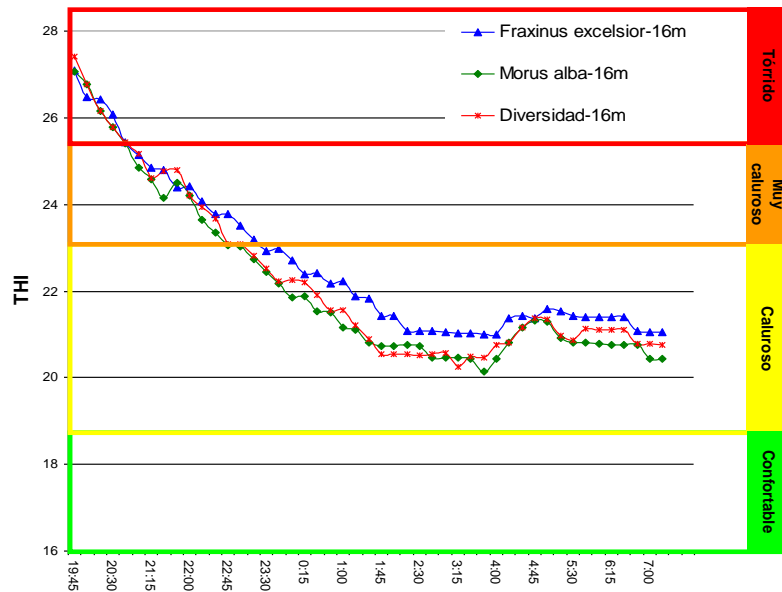


Figura 14 - Distribución horaria del índice de confort para los canales viales de 16m de ancho forestados con las distintas estructuras forestales evaluadas - periodo de enfriamiento

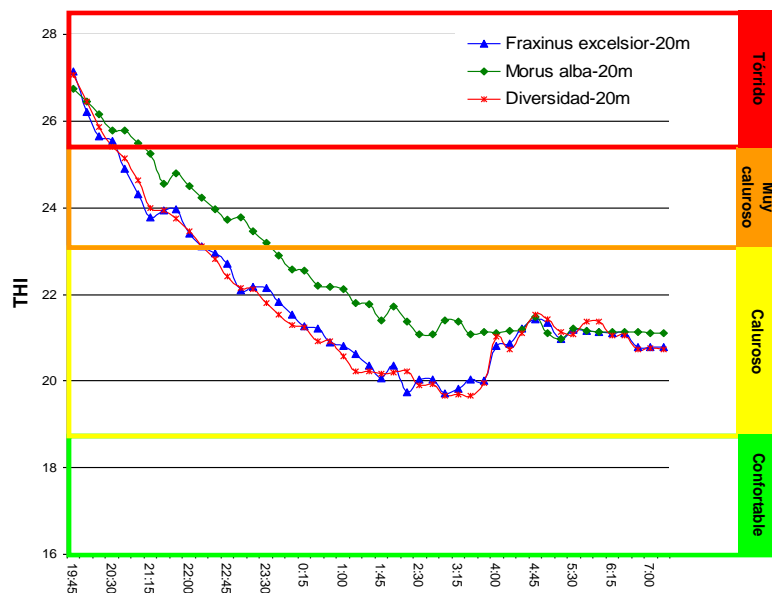
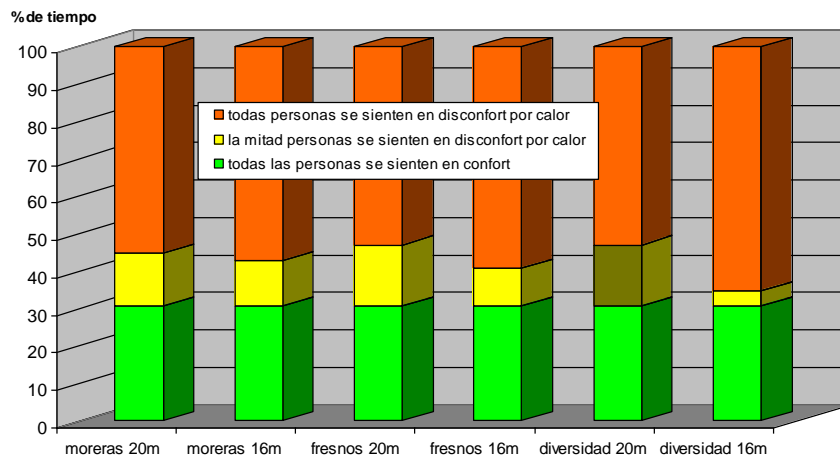


Figura 15 - Distribución horaria del índice de confort para los canales viales de 20m de ancho forestados con las distintas estructuras forestales evaluadas - periodo de enfriamiento



Obs.: periodo de 7.30 AM a 8.30 PM.

Figura 16 - Grado de confort térmico alcanzado por cada uno de los espacios evaluados usando como indicador el índice de disconfort de Thom (THI)

Sumado a ello, las personas desarrollan mecanismos de adaptación a sus climas, por lo cual el rango de condiciones en las cuales se encuentran en condición de confort difiere en cierta medida con los rangos que arrojan los balances energéticos. En este sentido este trabajo aborda el análisis de los resultados a partir del trabajo realizado por Nieuwolt (1977). Los valores correspondientes de THI horario; tomados durante el periodo de calentamiento, para cada uno de los casos estudiados se han agrupado de acuerdo a los rangos propuestos en su trabajo, como se ha descrito en la metodología y los resultados pueden verse en la Figura 16.

Si analizamos los resultados que muestra la Figura 14 vemos que: El porcentaje de tiempo, en el período evaluado, en el cual todos los individuos que habitan el espacio se hallan en disconfort por calor oscila entre el 60% (para el mejor de los casos) y el 70% para el peor. Lo que indica la grave condición térmica presente en los canales típicos de la ciudad, con independencia de las interacciones entre la trama urbana-edilicia y forestal.

Aquellos casos que presentan diversidad en su configuración forestal son los que muestran peor comportamiento en el periodo evaluado.

El caso que presenta mayor grado de confort, es el canal de 20 m forestado con homogeneidad de moreras. Es importante aclarar que aún para este caso, el espacio se encuentra aproximadamente el 58% del periodo evaluado con todos los individuos en disconfort por calor.

Los canales viales de 16 m presentan un comportamiento interesante desde el punto de vista del confort. Si se observa el comportamiento de la

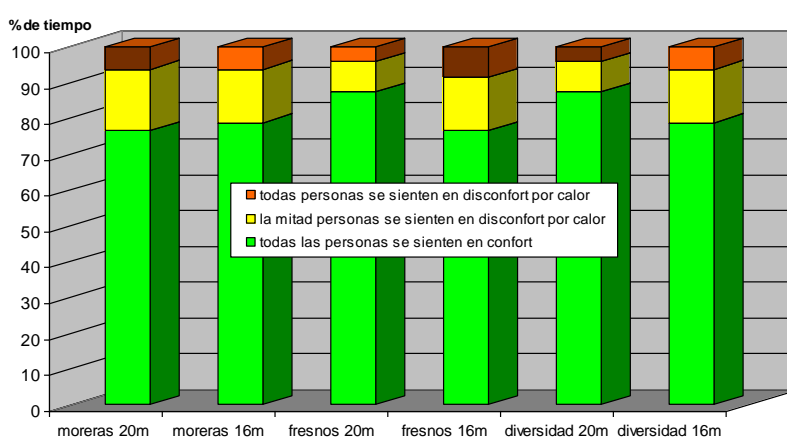
curva de temperatura (Figura 5) resulta que la mejor opción esta representada por la forestación con fresnos, pero cuando evaluamos el comportamiento respecto de las condiciones de confort tanto moreras como fresnos presentan un comportamiento similar. Posiblemente hay una diferencia respecto del contenido de humedad de los espacios que no se ve reflejada por las curvas de temperatura y que tiene como consecuencia, que a pesar de ser visiblemente diferentes los comportamientos térmicos de los canales forestados con moreras y fresnos, sus balances en términos de confort son semejantes. En este sentido es necesario avanzar sobre la influencia de la estructura vegetal sobre otras variables.

Finalmente la Tabla 6 muestra la distribución horaria de los niveles de confort registrados en los espacios, de ella se desprende que alrededor de las 11.45 a 13 h. todos los canales analizados entran en condición de disconfort total y se mantienen así más allá de la puesta de sol, horario de máxima habitabilidad de los espacios. La peor condición se registra en los canales de 16 m forestados con diversidad, los cuales a partir de las 11.45 AM registran disconfort total por calor.

La Figura 17 muestra las condiciones de confort correspondientes al periodo de enfriamiento. Se observa que todas las configuraciones evaluadas presentan condiciones de confort durante el 70% o más del periodo correspondiente. La combinación de canal vial de 20m forestado con homogeneidad de fresnos se presenta como la mejor en este periodo respondiendo claramente a sus características morfológicas - mayor visión de bóveda nocturna y menor rugosidad del terreno - lo que incrementa sus posibilidades de enfriamiento.

| | Moreras 20m | Moreras 16m | Fresnos 20m | Fresnos 16m | Diversidad 20m | Diversidad 16m |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $21 \leq \text{THI} \leq 24$ 100% personas en confort | Hasta las 11:00 | Hasta las 11:00 | Hasta las 11:00 | Hasta las 11:00 | Hasta las 11:00 | Hasta las 11:00 |
| $24 < \text{THI} \leq 26$ 50% personas en disconfort por calor | 11:15 a 12:45 | 10:15 a 12:30 | 11:15 a 13:00 | 11:15 a 12:15 | 11:15 a 13:00 | 11:15 a 11:30 |
| $\text{THI} > 26$ 100% personas en disconfort por calor | A partir de: 13:00 | A partir de: 12:45 | A partir de: 13:15 | A partir de: 12:30 | A partir de: 13:15 | A partir de: 11:45 |

Tabla 6 - Distribución horaria de los niveles de disconfort en los casos evaluados - periodo de calentamiento (7.30 AM a 8.30 PM)



Obs.: periodo de 7.30 AM a 8.30 PM

Figura 17 - Confort térmico alcanzado por cada uno de los casos evaluados, - 8.30 PM a 7.30 AM-, usando como indicador el índice de disconfort de Thom (THI)

| | Moreras 20m | Moreras 16m | Fresnos 20m | Fresnos 16m | Diversidad 20m | Diversidad 16m |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $21 \leq \text{THI} \leq 24$ 100% personas en confort | A partir de: 22:30 | A partir de: 22:15 | A partir de: 21:15 | A partir de: 22:30 | A partir de: 21:15 | A partir de: 22:15 |
| $24 < \text{THI} \leq 26$ 50% personas en disconfort por calor | 20:30 a 22:15 | 20:30 a 22:00 | 20:30 a 21:00 | 20:45 a 22:15 | 20:30 a 21:00 | 20:15 a 22:00 |
| $\text{THI} > 26$ 100% personas en disconfort por calor | 19:30 a 20:15 | 19:30 a 20:15 | 19:30 a 20:15 | 19:30 a 20:30 | 19:30 a 20:15 | 19:30 a 20:00 |

Obs.: periodo de 7.30 AM a 8.30 PM.

Tabla 7 - Distribución horaria de los niveles de disconfort en los casos evaluados

Además en la Tabla 7 puede observarse que esta configuración es una de las primeras en ingresar al rango de confort (a partir de las 21.15 h.). El resto de las configuraciones evaluadas entra en la zona de confort alrededor de 1 hora más tarde.

Es importante recalcar, que aún para el periodo de enfriamiento, los canales viales permanecen en

disconfort por calor durante las primeras horas (19.30 a 22.00 h.). Este lapso es coincidente con el horario de mayor habitabilidad de estos espacios urbanos. Es decir, a pesar de que las condiciones de confort mejoran durante la noche, los espacios entran en confort cuando la demanda o uso del espacio es menor.

Conclusiones

En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación del comportamiento térmico y el grado de confort alcanzado en canales viales típicos de la trama urbana de baja densidad forestados con especies de segunda magnitud en condición de homogeneidad y heterogeneidad o diversidad.

Los comportamientos observados responden claramente a las características de crecimiento y desarrollo de las configuraciones forestales evaluadas y su vinculación con los recursos climáticos y la forma edilicia de la ciudad. Mostrando que el comportamiento térmico óptimo de un canal vial se obtiene mediante el ajuste de las distintas variables que participan de los balances térmicos y radiativos del espacio. Principalmente a las características vinculadas con la morfología de la copa y la permeabilidad del forestal.

Si tenemos en cuenta que el control de la radiación solar resulta determinante del confort térmico para este tipo de climas y se resuelve mediante la forestación en el esquema de una ciudad oasis, pero además, que la combinación de forma y permeabilidad de la copa afecta tanto las posibilidades de enfriamiento radiativo como convectivo, modificando el grado de visión de cielo y la rugosidad del espacio, notamos que estas variables afectan de manera compleja los distintos flujos de energía que componen el balance térmico del espacio.

Para el caso de las combinaciones evaluadas mediante los casos de estudio puede concluirse que:

Desde el punto de vista del comportamiento térmico y del grado de confort alcanzado durante el período de calentamiento (7.30 AM a 8.30 PM), forestar los canales viales de 20 m presentes en la baja densidad con homogeneidad de moreras se muestra como la mejor de las alternativas evaluadas. Por otra parte los canales viales de 16 m presentan un mejor comportamiento térmico si son forestados con fresnos, pero el grado de confort a lo largo del período de calentamiento es similar al alcanzado por la forestación con moreras. De lo que se desprende que es necesario evaluar con mayor profundidad el impacto de la selección de las especies forestales sobre otras variables que atañan al grado de confort de los espacios, como es el caso de la humedad.

El porcentaje de tiempo, en el cual todos los individuos que habitan el espacio se hallan en disconfort por calor oscila entre el 60% (para el mejor de los casos) y el 70% para el peor. Lo que

indica la grave condición térmica presente en los canales típicos de la baja densidad de la ciudad.

El comportamiento térmico durante el enfriamiento (8.30 PM a 7.30 AM) muestra el mejor funcionamiento de canales de 20m forestados con fresnos, mientras que para el canal de 16m no se registran diferencias notorias entre los casos evaluados.

Durante el enfriamiento los canales evaluados permanecen (un) aproximadamente entre el 70% y un 80% del tiempo en condición de confort. El problema reside en que el 30% del periodo restante que se encuentra en disconfort coincide con las horas de mayor habitabilidad de los espacios.

Éstas conclusiones son válidas para la condición de verano, en un futuro se propone evaluar la condición de invierno, para poder tener una visión acabada de los efectos de las estructuras verdes en el ambiente térmico de los espacios.

Referencias

- CANTÓN, M. A.; ROSA, C. de; KASPERIDUS, H. Sustentabilidad del Bosque Urbano en el Área Metropolitana de la Ciudad de Mendoza: análisis y diagnóstico de la condición de las arboledas. **AVERMA**, v. 7, n. 1 p. 29-34, 2003.
- CANTÓN, A., CORTEGOSO J., ROSA, C. Solar Permeability of Urban Trees in Cities of Western Argentina. **Energy and Buildings**, v. 20, p. 219-230, 1993.
- CARRIERI, S. **Diagnóstico y Propuesta sobre la Problemática del Arbolado de Calles en Mendoza. Cátedra de Espacios Verdes**. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo. 2004. cap.11, p. 1-6.
- CLARKE, J. F, BACH, B. Comparison of the Comfort Conditions in Different Urban and Suburban Microenvironments. **International Journal of Biometeorology**, v. 15, n. 1, p. 41-54, 1971.
- CORREA, E. N. **Isla de Calor Urbana: el caso del área metropolitana de Mendoza**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta, Salta, 2006.
- CORREA, ERICA; ROSA, C.; LESINO, G. Monitoreo de Clima Urbano: análisis estadístico de los factores que determinan la isla de calor y su aporte al diseño de los espacios urbanos. **AVERMA**, Salta, v. 10, p. 41-48, 2006.

- CORREA, E.; ROSA, C. de; LESINO, G. Isla de Calor Urbana: distribución espacio-temporal de temperaturas dentro del área metropolitana de Mendoza. **AVERMA**, Salta, v. 10, p. 121-128, 2006.
- CORREA, *et al.* 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. In: BRAZILIAN MEETING ON COMFORT AND ENERGY EFFICIENCY IN THE BUILT-UP ENVIRONMENT, 9., Brazil, 2007. **Proceedings...** Brazil, 2007.
- CORREA, *et al.* 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. **AVERMA**, Salta, v. 12, n. 1, p. 29-34, 2008.
- CORREA, *et al.* Urban Heat Island Effect on Heating and Cooling Degree Days Distribution in Mendoza's Metropolitan Area and Environmental Costs. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLAR HEATING, COOLING AND BUILDINGS, Lisboa, 2008. **Proceedings...** Lisboa, 2008.
- DEOSTHALI, V. Assessment of Impact of Urbanization on Climate: an application of bioclimatic index. **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 24/25, p. 4125-4133, 1999.
- EMMANUEL, R. Thermal Comfort Implications of Urbanization in a Warm-Humid City: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. **Building and Environment**, v. 40, n. 12, 1591-1601, 2005.
- GILES, B. D.; BALAFOUTIS, C. H. The Greek Heatwaves of 1987 and 1988. **International Journal of Climatology**, v. 10, n. 5, 505-517, 1990.
- HERRINGTON, LEE P.; VITTUM, J. S. Human Thermal Comfort in Urban Outdoor Spaces. In: **Gen. Tech. Rep. NE-25**. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. P. 130-138.
- CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION. **Traditional Knowledge**: report of the ad hoc Panel, ICCD/COP (4)/CST/2. Disponível em: <<http://www.unccd.int/cop/officialdocs/cop4/pdf/cst2eng.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2004
- LE CORBUSIER. **Les Trois Établissements Humains**. Paris: Donoël, 1945.
- MASMOUDI *et al.* Relation of Geometry, Vegetation and Thermal Comfort Around Buildings in Urban Settings: the case of hot arid regions Said MAZOUZ. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 77, p. 710-719, 2004.
- MATHER, J. R. **Climatology**: fundamentals and applications. Blacklick: McGraw-Hill, 1974.
- MORRIS, C.; SIMMONDS, I.; PLUMMER, N. Quantification of the Influences of Wind and Cloud on the Nocturnal Urban Heat Island of a Large City. **Journal of Applied Meteorology**, v. 40, n. 2, p. 169-182, 2001.
- NIEUWOLT, S. **Tropical Climatology**. London: Wiley, 1977.
- OKE, T. R. **Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites**. IOM Report, Td In Press, World Meteorological Organization, Geneva. 2004
- OKE, T. R.; JOHNSON, G. T.; STEYN, D. G. Simulation of Surface Urban Heat Islands Under 'Ideal' Conditions at Night. Part 2: diagnosis of causation. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 56, n. 4, p. 339-358, 1991.
- THOM EC. The Discomfort Index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57-60, 1959.
- UNEP. **Status of Drylands & Desertification in the World**. 1992. (Data from United Nations Environmental Programme).
- UNGER, J. Heat Island Intensity with Different Meteorological Conditions in a Medium-Sized Town: Szeged, Hungary. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 54, n. 3/4, p. 147-151, 1996.
- UNGER, J. Comparisons of Urban and Rural Bioclimatological Conditions in the Case of a Central-European City. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 139-144, 1999.
- YAMASHITA, S. *et al.* On Relationships Between Heat Island and Sky View Factor in the Cities of Tama River Basin, Japan. **Atmospheric Environment**, v. 20, n. 4, p. 681-686, 1986.