

CONFORT TÉRMICO EN CIUDADES DE ZONAS ÁRIDAS. ESTUDIO DE CANALES VIALES DE BAJA DENSIDAD EDILICIA FORESTADOS CON ESPECIES DE SEGUNDA MAGNITUD.

Erica Correa (1), M. Angélica Ruiz (2) y M. Alicia Cantón (3)

(1) Dra. Ingeniera, Investigadora Adjunta de Conicet, ecorrea@mendoza-conicet.gov.ar

(2) Ing. Agrónoma, Becaria Doctoral ANPCyT, aruiz@mendoza-conicet.gov.ar

(3) DAE Arquitecta, Investigadora Adjunta de Conicet, macanton@mendoza-conicet.gov.ar
INCIHUSA – LAHV. Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales- Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. (CONICET – CCT-Mendoza). C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza. Argentina

RESUMEN

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. Particularmente, las ciudades insertas en contextos áridos o semiáridos muestran un modelo de desarrollo urbano que está basado en la compacidad de formas. En este estudio, la ciudad analizada es el Área Metropolitana de Mendoza (AMM)-Argentina, también inserta en un contexto semiárido; cuyo modelo de desarrollo difiere de la estructura descripta. Su concepción urbanística está definida por calles anchas y edificios contenidos en una trama en damero flanqueada en sus límites por líneas de árboles que conforman túneles verdes. Para el caso de estas ciudades resulta interesante 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 o diversidad. 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

One of the main reasons for considering microclimate in landscape design is its contribution to the creation of thermally comfortable habitats for people. When the climate interacts with the local landscape, a unique microclimate is created, its evaluation in terms of its energy balance is fundamental in order to understand how the flows of energy can be modified through landscape design. Particularly, cities settled in arid or semi-arid regions usually follow an urban development model based on compact morphologies. In this study, the reference case is Mendoza Metropolitan Area (MMA), Argentina, located in a seismic and semiarid zone. The city displays wide road channels and different tree species along the streets in opposition to the compact city model. 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. For this reason; this paper evaluates the impact on thermal and comfort conditions of urban canyons of low building density forested with tree species of second magnitude, in summer. The results show that the observed thermal behaviors respond clearly to the characteristics of growth and development of the evaluated forest configurations and its entailment with the climatic resources and morphology of the evaluated city.

Key words: urban forest, urban canyon, outdoor thermal comfort, low building density, arid regions.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se estima que aproximadamente 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.

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 Soraya, et al., 2004). Ellas pueden generar dependiendo de su magnitud, un discomfort momentáneo o una situación de estrés permanente, comprometiendo probablemente las relaciones del hombre con su entorno.

En la concepción urbanística 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).

Esto es un ejemplo de cómo la aplicación de una estrategia de mitigación de isla de calor descontextualizada de los recursos climáticos y las características morfológicas de la ciudad puede obrar en perjuicio del fenómeno que intenta mitigar. Es por tanto importante diseñar, construir y desarrollar capacidades regionales de adaptación y mitigación de los efectos de la existencia de las ciudades sobre el clima local como una componente indispensable y urgente para una planificación sustentable del desarrollo urbano.

Basados en ello, la línea de investigación dentro de la cual se enmarcan los resultados de este trabajo, pretende monitorear y analizar el comportamiento energético-ambiental de distintas configuraciones trama-edilicia-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.

1.1 Antecedentes.

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 termolumínicas del espacio, es decir 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 propuesta 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 configuración 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*).

Tomando como parámetro el factor de visión de cielo (SVF), el cual expresa la relación entre el área visible de cielo y la porción de bóveda celeste cubierta por los distintos componentes del medio ambiente; el cual es de singular importancia en el balance térmico de las ciudades, y 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). Estudios previos han mostrado para la ciudad analizada el impacto negativo sobre el factor de visión de cielo 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).

Para el caso de la alta densidad edilicia, especialmente durante el verano (condición térmica más comprometida) no existe diferencia significativa en cuanto a la visión de cielo, entre los forestales de 1era o 2da magnitud, por lo que el uso de una u otra magnitud debe sustentarse en otra variable (longevidad, manejo, adaptación hídrica, etc.). (Correa et al. 2007)

Otros estudios (Correa, et al. 2008), muestran que si se mantiene constante la densidad edilicia y se varía el ancho de canal vial en la trama urbana, el uso de forestales 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 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.

De acuerdo a las características de la trama urbana de la ciudad de Mendoza: compuesta en un 80% por baja densidad edilicia y en la cual el 83.78% de las especies forestales se concentra en 3 tipos arbóreos que corresponden a la Primera y Segunda Magnitud -*Platanus acerifolia* 21.52%, *Morus alba* 38.27%, *Fraxinus excelsior* 19.36%- (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 térmico que presentan los canales viales de baja densidad edilicia forestados con especies de segunda magnitud.



Figura 1- Distribución de las densidad edilicia de y ancho de canales viales dentro del Área Metropolitana Mendoza

2. OBJETIVO

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 forestados con especies de segunda magnitud en condición de homogeneidad y heterogeneidad o diversidad.

El objetivo final es avanzar sobre las estrategias que permitan obtener un diseño urbano bioclimático, es decir, adecuado a las características climáticas de los lugares de emplazamiento de las ciudades. Esta evaluación incluye por supuesto la contribución de las estructuras verdes urbanas.

3. METODOLOGÍA

3.1. 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 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 1.

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%). 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 88.4% se distribuye entre especies arbóreas que pertenecen predominantemente a la segunda magnitud. (Cantón et al, 2003).

Basados en éstas características y sobre la base de los antecedentes descriptos precedentemente, 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).

3.2. Monitoreo y evaluación del comportamiento térmico de los casos de estudio.

Con el propósito de monitorear el comportamiento térmico de los espacios seleccionados, seis estaciones fijas fueron instaladas. 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 enero de 2009, y se han sido evaluados estadísticamente a fin de estimar la distribución de frecuencia de los resultados encontrados.

3.3. 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, que involucran diversos aspectos relacionados con los componentes del medioambiente físico y social. En este trabajo nos focalizaremos sólo en un aspecto del medioambiente físico: el medioambiente térmico. Definiendo como medioambiente térmico a todos aquellos elementos del medioambiente físico que condicionan el confort térmico del ser humano. (Herrington Lee, et al, 1977).

En este trabajo, el índice de disconfort (DI), también conocido como THI por sus siglas en inglés (Thermal Discomfort Index) propuesto por Thom (Thom EC, 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 1).

$$THI = 0.8 * t + RH * t / 500 \quad (\text{ecuación 1})$$

Tabla 1- Categorías para la clasificación del grado de confort mediante el uso del índice de Disconfort (DI o THI)

<i>Categorías THI</i>	
Muy frío	DI < -1.7
Frío	-1.7 ≤ DI ≤ +12.9
Templado	+13 ≤ DI ≤ +14.9
Agradable o confortable	+15 ≤ DI ≤ +19.9
Caluroso	+20 ≤ DI ≤ +26.4
Muy Caluroso	+26.5 ≤ DI ≤ +29.9
Tórrido	DI ≥ + 30

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 S., 1977):

Para valores de THI definidos entre:

$21 \leq \text{THI} \leq 24$ = el 100% de las personas se sienten confortables

$24 < \text{THI} \leq 26$ = el 50% de las personas se sienten confortables

$\text{THI} > 26$ = el 100% de las personas se encuentran en disconfort por calor.

El índice de disconfort (DI) también 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, J.R., 1974). Aunque hay muchos métodos para determinar el confort térmico en espacios exteriores que son más complejos y requieren múltiples variables, uno de los mejores índices para estimar la temperatura eficaz es el índice del disconfort de Thom (Deosthali V., 1999), método avalado por diversos trabajos (Clarke et al, 1971; Giles et al, 1990; Unger J, 1999).

Además, se debe mencionar que los rangos anteriormente mencionados fueron desarrollados 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 R., 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 R., 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.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante el mes de enero 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.

4.1. 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.

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 las posibilidades de enfriamiento convectivo y radiante nocturno, con las consecuencias negativas citadas anteriormente (Correa, et al, 2008). Es por ello que se evaluaron tres condiciones forestales alternativas, con especies de segunda magnitud, típicas de canales de baja densidad. La forestación homogénea con moreras, presenta la posibilidad de sombrear parte de la calzada y gran parte de la vereda, de modo de suministrar sombra a los espacios peatonales y disminuir el impacto sobre la visión de bóveda que gobierna los procesos de enfriamiento radiativo y sobre la rugosidad del terreno que incide sobre los procesos de intercambio convectivo. Por otra parte, la forestación homogénea con fresnos representa el mínimo impacto tanto sobre los intercambios radiativos nocturnos como sobre la rugosidad del terreno, debido a que es un árbol de desarrollo individual cuya copa no forma entrecruzamiento lateral ni frontal, pero posee la desventaja de ofrecer geoméricamente una menor distribución de sombra. Finalmente se propone analizar el comportamiento que ofrece un perfil forestal heterogéneo compuesto por especies de segunda magnitud, situación que se repite frecuentemente en la baja densidad de nuestra ciudad, como consecuencia de la no planificación del recambio de los forestales.

4.2. Comportamiento térmico de los espacios evaluados durante el periodo de calentamiento.

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

La figura 2 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 3 muestra el comportamiento térmico de un mismo ancho de canal vial, vegetado con distintas configuraciones forestales de segunda magnitud.

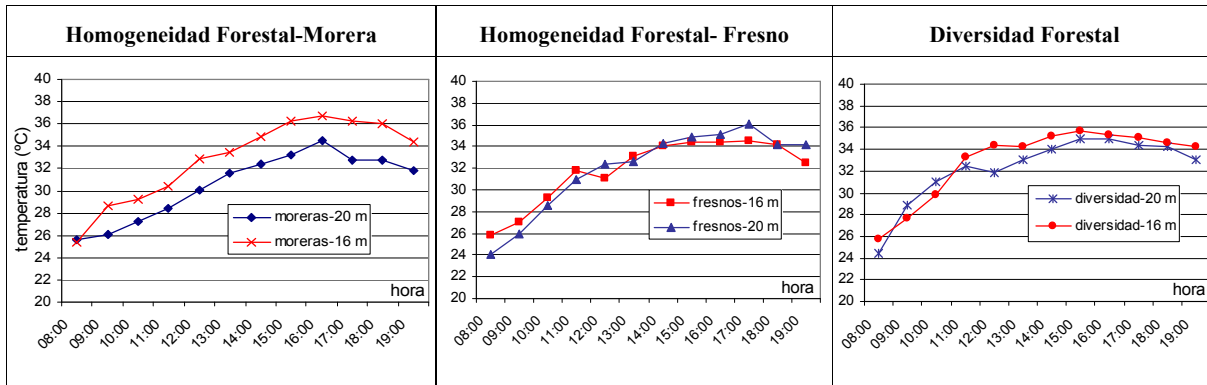


Figura 2 - Curvas de comportamiento térmico canales 20 m. versus. canales de 16 m.

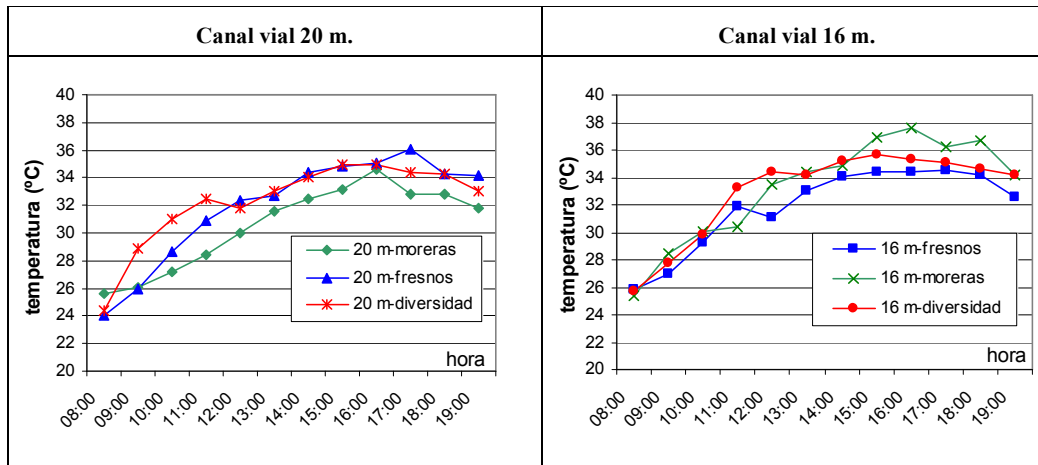


Figura. 3 - Comportamiento térmico de un mismo ancho de canal vial en baja densidad forestado con distintas configuraciones de especies de segunda magnitud.

Al mismo tiempo en la tabla 2 se observan la distribución de las temperaturas (máximas, mínimas y medias) para cada uno de los casos evaluados.

Tabla 2- Distribución de las temperaturas de los casos analizados. Valor de las máximas, medias y mínimas

	Homogeneidad Forestal-Morera	Homogeneidad Forestal- Fresno	Diversidad Forestal			
Canales viales 20 m	°Tmáx	37,5 °C	°Tmáx	39 °C	°Tmáx	36 °C
	°T mín	25 °C	°T mín	23,5 °C	°T mín	24,5 °C
	°T media	31 °C	°T media	32 °C	°T media	32,5 °C
Canales viales 16 m	°Tmáx	39 °C	°Tmáx	35 °C	°Tmáx	36,5 °C
	°T mín	25 °C	°T mín	25 °C	°T mín	25,5 °C
	°T media	33 °C	°T media	32 °C	°T media	33 °C

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

De la observación de la tabla 2 y los gráficos 2 y 3, los resultados podrían expresarse respecto de:

El impacto de la variación del ancho del canal vial de la trama de baja densidad en la que se inserta una misma especie o configuración vegetal. Respecto de ello, los gráficos de la figura 2, muestran claramente que sólo se registra impacto al variar el ancho del canal vial sobre el comportamiento térmico de los casos forestados con homogeneidad de moreras. Para el resto de las configuraciones evaluadas no se observan diferencias importantes. Este comportamiento se explica a partir de las características de configuración y desarrollo de las copas de las configuraciones forestales evaluadas, como se explicará más adelante.

Si tomamos en cuenta el impacto de la variación de la configuración vegetal en el comportamiento térmico de un determinado ancho de canal vial en la trama de baja densidad. Los gráficos de la figura 3 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.

Estos resultados sustentan la explicación 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 2), 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 fresnos. Esto coincide con lo explicado anteriormente y verifica para ambos casos que la relación entre la geometría que la configuración forestal ofrece no es la adecuada para el manejo de los balances térmicos de los espacios. En el caso de la morera debido al incremento excesivo de la rugosidad del terreno que disminuye las posibilidades de enfriamiento convectivo y en el caso del fresno la magnitud de la sombra que no es suficiente para el manejo adecuado de la ganancia solar del espacio.

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.

Con los datos registrados en el período monitoreado, se realizó el estudio de la distribución de frecuencias de las diferencias en el comportamiento térmico de los casos analizados, los gráficos 4 y 5 muestran los resultados de este análisis en dos situaciones: 1-Considerando constante la configuración forestal y variando el ancho de la trama. Figura 4. 2- Considerando constante el ancho de la trama y variando su configuración forestal. Figura 5

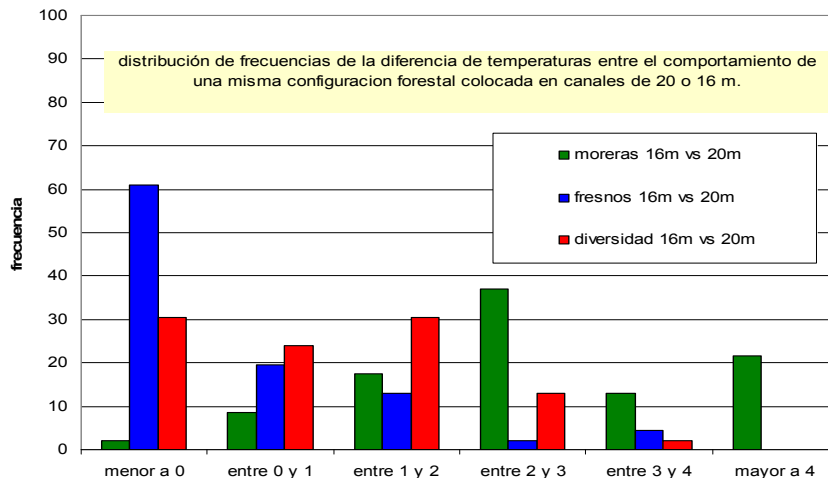


Figura 4 – Distribución de frecuencias de las diferencias de temperatura horarias registradas para una misma configuración forestal colocada en distintos anchos de canal vial (20 y 16 m).

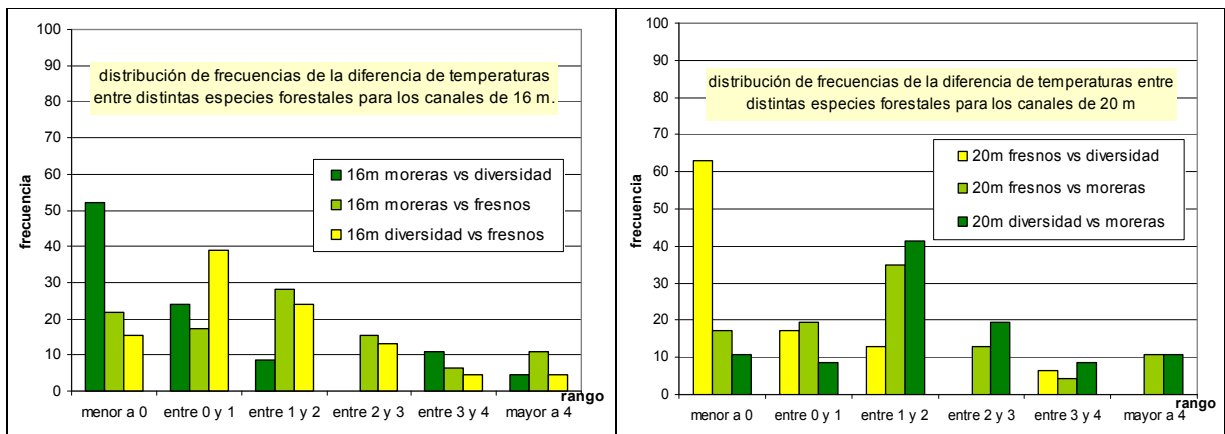


Figura 5 – Distribución de frecuencias de las diferencias de temperatura horarias registradas para un mismo ancho de canal vial forestado con distintas configuraciones de especies de segunda magnitud.

Si comparamos las diferencias de temperaturas, durante el periodo de calentamiento, entre los canales viales de 16 y 20 m (ver figura 4). Vemos que la forestación con fresno europeo (*Fraxinus excelsior*) muestra que aproximadamente un 60 % de las diferencias de temperatura correspondientes entre los canales de 16 y 20 m están entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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.

Sin embargo, sí existe diferencia para el caso de la morera (*Morus alba*), siendo el canal de 20 m de ancho por lo menos $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ más fresco que el de 16 m en un 71,74 % de los casos.

En el caso de la diversidad de especies forestales en el 69,57 % 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, aboal, 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 periodo 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 2.

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 16m. 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 tipología de canal; vemos que para el caso de los canales de 20 m de ancho, tanto el comportamiento de la forestación con fresnos como con diversidad de especies no muestra diferencias significativas dado que un 50 % de las mismas está entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Si evaluamos el comportamiento del fresno versus el de la morera en los canales de 20 m, vemos que el 82,61 % de las diferencias son positivas y mayores a $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Si comparamos la forestación con diversidad vegetal y con moreras para canales de 20 m, el 89,13 % de las diferencias son positivas y mayores a $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por lo 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 los canales viales de 16 m de ancho; si comparamos las diferencias de temperatura entre la forestación con moreras y con diversidad de especies, vemos que el 54,35 % de los casos oscilan entre -1 °C y 1 °C, por lo que no existe diferencia significativa entre ambas alternativas.

Los canales de 16 m forestados con moreras son más cálidos en el 78,26 % de los casos que los que tienen fresnos. Para el caso de la diversidad vegetal, se observa que el 84,78 % de las diferencias son positivas, es decir, los canales forestados con fresnos son más frescos, aunque la magnitud de la diferencia de temperaturas entre ambos es significativamente menor.

4.3. Evaluación del grado de confort térmico de los espacios.

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 por Nieuwolt (1977); los resultados pueden verse en la figura 6.

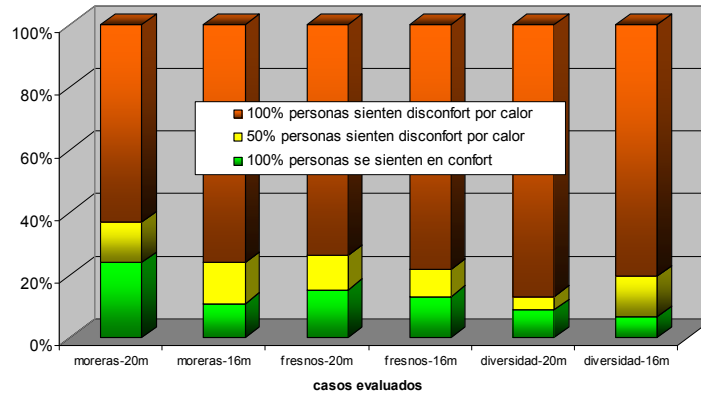


Figura 6– Grado de confort térmico alcanzado por cada uno de los espacios evaluados. Usando como indicador el índice de desconfort de Thom (THI)

Si analizamos los resultados que muestra la figura 6 vemos que: El porcentaje de tiempo, en el período evaluado, en el cual el 100% de los individuos que habitan el espacio se hallan en desconfort por calor oscila entre el 63% (para el mejor de los casos) y el 96% 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 durante el período evaluado 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 63% del periodo evaluado con el 100% de los individuos en desconfort.

Los canales viales de 16 m presentan un comportamiento interesante desde el punto de vista del grado de confort, si se observa el comportamiento de la curva de temperatura (figura 3) 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, resultando incluso la morera levemente más beneficiosa si tomamos en cuenta la suma del porcentaje de tiempo en que el canal se encuentra en condición de 100% de confort y 50% de desconfort. 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.

Tabla 3- Distribución horaria de los niveles de desconfort en los casos evaluados.

	Moreras 20m	Moreras 16m	Fresnos 20m	Fresnos 16m	Diversidad 20m	Diversidad 16m
21 ≤ THI ≤ 24 100% personas en confort	Hasta las 11:15	Hasta las 10:15	Hasta las 10:15	Hasta las 9:45	Hasta las 9:15	Hasta las 9:00
24 < THI ≤ 26 50% personas en desconfort por calor	11:30 a 12:45	10:30 a 11:45	10:30 a 11:45	10:00 a 10:45	9:30 a 10:45	9:15 a 10:30
THI > 26 100% personas en desconfort por calor	13:00 a 19:45	12:00 a 19:46	12:00 a 19:46	11:00 a 19:45	11:00 a 19:46	10:45 a 19:46

Finalmente la tabla 3 muestra la distribución horaria de los niveles de confort registrados en los espacios, de ella se desprende que a partir de las 13 hs todos los canales analizados entran en condición de

discomfort 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 forestados con diversidad, los cuales a partir de las 9.00 AM registran algún grado de discomfort. El mejor comportamiento se observa en los canales viales de 20 m forestados con moreras, quienes durante buena parte de las horas de la mañana se mantendrían en niveles aceptables de confort.

5. 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.

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, 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 periodo 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. Finalmente, el porcentaje de tiempo, en el cual el 100% de los individuos que habitan el espacio se hallan en discomfort por calor oscila entre el 63% (para el mejor de los casos) y el 96% para el peor. Lo que indica la grave condición térmica presente en los canales típicos de la baja densidad de la ciudad.

6. REFERENCIAS

- 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. Universidad Nacional de Cuyo. 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.N (2006). Tesis Doctoral. Isla de Calor Urbana. El Caso del Área Metropolitana de Mendoza. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas.
- 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, December 8-10.
- CORREA, E. ET AL. (2008). "Influencia Del Uso De Distintas Magnitudes Forestales Sobre El Comportamiento Térmico De Los Cañones Urbanos. El Caso De La Primera Magnitud En Ciudades De Zonas Áridas." Revista AVERMA. Vol. 12, N°1. pp 01.29-01.34
- DEOSTHALI V. (1999). Assessment of impact of urbanization on climate: an application of bio-climatic index. *Atmospheric Environment* 1999;33(24-25):4125-33.
- EMMANUEL R. (2005). Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city:the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka *Building and Environment* 40 1591-1601
- GILES BD, BALAFOUTIS CH. (1990) The greek heatwaves of 1987 and 1988. *International Journal of Climatology*;10:505-17.
- HERRINGTON, LEE P.; VITTUM, J. S. (1977). Human thermal comfort in urban outdoor spaces. In: Heisler, Gordon M.; Herrington, Lee P., eds. *Proceedings of the conference on metropolitan physical environment*; Gen. Tech. Rep. NE-25. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 130-138.
- ICCD (Convention to Combat Desertification), (2000): Traditional Knowledge: Report of the ad hoc Panel, ICCD/COP (4)/CST/2 [On line] Cited 28 October 2004. Available at <http://www.unccd.int/cop/officialdocs/cop4/pdf/cst2eng.pdf>.
- MASMOUDI, et al. (2004). Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions *Said MAZOUZ Energy and buildings* 36:77, 710-719, Elsevier,
- MATHER, J.R., 1974. *Climatology: Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill, USA.
- MORRIS C., SIMMONDS I, PLUMMER N. (2001). "Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city." *Journal of Applied Meteorology* 40: 169-182.
- NIEUWOLT S. *Tropical climatology*. London: Wiley; 1977.
- OKE, T.R (2004). "Initial Guidance To Obtain Representative Meteorological Observations At Urban Sites". Iom Report, Td In Press, World Meteorological Organization, Geneva.
- OKE, T.R., JOHNSON, G.T., STEYN, D.G. (1991) "Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night. Part 2: Diagnosis of causation". *Boundary- Layer Meteorology* 56 pp339-358
- THOM EC. The discomfort index. *Weatherwise* 1959; 12:57-60.
- UNEP 1996. *Status of Drylands & Desertification In the World*
- UNGER J. (1996). "Heat island intensity with different meteorological conditions in a medium-sized town: Szeged, Hungary". *Theoretical and Applied Climatology* 54: 147-151.
- 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.
- YAMASHITA S, SEKINE K, SHODA M, YAMASHITA K, HARA Y. (1986). "On relationships between heat island and sky view factor in the cities of Tama River basin, Japan." *Atmospheric Environment* 20: 681-686.