

IMPACTO SOBRE LA VISIÓN DE CIELO DE LAS DISTINTAS DENSIDADES EDILICIAS FORESTADAS. EVALUACIÓN A PARTIR DE IMÁGENES HEMIESFÉRICAS.

Correa E. N.¹; Martínez C.²; Córica M. L.²; Cantón M. A.³; Pattini A.³; Lesino G.^{3*}.

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. LAHV- INCIHUSA- CONICET
Av. Ruiz Leal s/n. Parque Gral. San Martín. 5500 Mendoza. Tel 0261 4287370.

Fax: 0261 4287370 E-mail: ecorrea@lab.cricyt.edu.ar

(*)INENCO - Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales – U.N.Sa.– CONICET.
Universidad Nacional de Salta. Avda. Bolivia 5150 – CP 4400 – Salta Capital – Argentina. Tel. 0387-4255424 – Fax 0387-4255489 E-mail: lesino@unsa.edu.ar

RESUMEN

El factor de visión de cielo (SVF) es un parámetro que expresa la relación entre el área visible de cielo y la porción de bóveda celeste cubierta por los distintos componentes del medio ambiente. Este factor de singular importancia en el balance térmico de las ciudades, es además considerado uno de los elementos clave en la formación de isla de calor urbana.

En ciudades localizadas en zonas sísmicas y desérticas, que presentan canales viales anchos en oposición al modelo de la ciudad compacta de desierto; y que además poseen una configuración de oasis, es interesante analizar con profundidad el efecto de las distintas especies forestales presentes en la trama sobre el balance térmico de los recintos.

En este trabajo se presentan para el área metropolitana de Mendoza, las evaluaciones del impacto sobre el factor de visión de cielo de las distintas combinaciones de densidades edilicias (alta, media y baja) y diferentes magnitudes que alcanzan las especies forestales en cuanto a su altura final y su altura actual; en distintas estaciones del año. Debido a la complejidad morfológica de los espacios para llevar a cabo el estudio, se ha desarrollado una herramienta computacional que permite obtener el valor del factor de visión de cielo a partir del procesamiento de imágenes hemiesféricas digitales.

Palabras clave: Factor de visión de cielo (SVF), densidad edilicia, forestación urbana.

ABSTRACT

The sky view factor (SVF) is a parameter that expresses the relationship between the visible sky area and the portion of sky hemisphere covered by the different components from environment. This factor has singular importance in the thermal balance of the cities, in addition is considered one of the key elements in the formation of urban heat island.

In cities located in seismic and desert zones, that display wide road channels in opposition to the compact city's model; and that show, in addition, an oasis urban configuration, it is interesting deeply analyze the effect of the different forest species and their configurations on the thermal balance of urban canyons.

¹ Becaria Pos-doctoral CONICET.

² Becaria doctoral CONICET.

³ Investigador CONICET.

In this work, is evaluated for the case of Mendoza's Metropolitan Area; the impact on the sky view factor that is produced by the combinations of different buildings densities (high, medium and low) and diverse magnitudes that reach the forest species as far as their final height and its present height; in different seasons of the year. Due to the morphologic complexity of the spaces to carry out this study, a computational tool has been developed; it allows us to obtain the value of the sky view factor from digital hemiesféricas image processing.

Key words: Sky View Factor (SVF), building density, urban forest.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de las áreas urbanas las características del clima local o regional son modificadas por una serie de elementos artificiales que el hombre introduce en el ecosistema humano, entre los cuales podríamos destacar la concentración de materiales procedentes de la construcción que aumentan la acumulación de calor en la ciudad y además la disposición de estos materiales y otros elementos que componen los espacios urbanos (vegetación, mobiliario, etc.) que no favorecen el intercambio de calor con los alrededores, aumentando la absorción de calor por fenómenos de reflexión y disminuyendo las posibilidades de enfriamiento radiativo y convectivo durante la noche. Estos factores, entre otros efectos nocivos, contribuyen a crear situaciones microclimáticas en la que la temperatura media del aire en la ciudad aumenta, dando lugar a un efecto de carácter local que se denomina "Isla de calor".

Diversos estudios (Yamashita et al, 1986; Morris et al, 2001; Unger et al, 1996; Oke et al, 1991) han tratado de encontrar relaciones estadísticas entre la intensidad de la isla de calor y distintos factores tales como población, condiciones meteorológicas y geometría urbana.

En particular, la visión de bóveda celeste de un cañón urbano, es probablemente uno de los parámetros de mayor relevancia en el balance térmico de los espacios dado que condiciona tanto la ganancia por radiación durante el día como el enfriamiento radiativo durante la noche.

En este contexto, el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), Argentina, se presenta como un caso interesante de estudio debido a sus características climáticas, topográficas y morfológicas.

Mendoza se encuentra ubicada al pie de la cordillera de los Andes, sobre la región árida correspondiente al centro-oeste argentino, entre los 31° 59' y 37° 33' de latitud sur y entre los 63° 30' y 70° 35' de longitud oeste, su clima se caracteriza por una elevada heliofanía y escasa frecuencia e intensidad de vientos y precipitaciones; además presenta una anomalía térmica positiva en altura y frecuentes inversiones de temperatura, condiciones que resultan óptimas para el desarrollo de la isla de calor urbana.

Su ciudad capital ocupa el cuarto lugar en la jerarquía de ciudades del país y su población ha crecido un 14% durante la última década; el 80% de la misma vive en áreas urbanas. Dentro del área metropolitana la población se distribuye en un espacio de edificación continua, de aproximadamente 27 kilómetros de largo y 18 de ancho, lo que denota la linealidad de la estructura, además la densidad de habitantes entre 61 y 157 habitantes por hectárea pone de manifiesto la preferencia de las personas de habitar en viviendas individuales, lo cual responde al fenómeno típico de gran extensión de zonas urbanas de baja densidad en las ciudades latinoamericanas. Aproximadamente el 80% de la densidad edilicia del gran Mendoza corresponde a baja densidad.

En la concepción urbanística de esta ciudad, una intensa forestación urbana ha sido empleada como estrategia de acondicionamiento bioclimático de los espacios abiertos durante las horas de mayor insolación, pero hasta ahora no se ha analizado con profundidad cómo y dónde se manifiestan las ventajas y desventajas de las distintas configuraciones edilicias y forestales sobre el clima urbano.

A pesar de ser una ciudad en la que predominan los canales viales anchos, la baja densidad edilicia y la intensa forestación urbana, estudios recientes indican que presenta una isla de calor tanto en verano como en invierno cuyos máximos alcanzan los 10°C, los registros muestran que es un fenómeno esencialmente nocturno con mayor frecuencia e intensidad alrededor de 1 hora antes de la salida del sol, por lo que se puede concluir que el mismo está estrechamente vinculado a los patrones de enfriamiento de la ciudad (Correa, 2006)

Si tomamos en cuenta las características climáticas del área de implantación de la ciudad: baja frecuencia e intensidad de vientos y precipitaciones, y altos niveles de heliofanía (gran cantidad de

días claros durante el año), se desprende que el mecanismo de enfriamiento nocturno más importante con el que cuenta la ciudad es el radiativo; y siendo el factor de visión de cielo, un parámetro clave para este tipo de transferencia térmica, resulta de gran impacto su cuantificación y análisis para las distintas configuraciones edilicia-forestales presentes en la ciudad con el objeto final de examinar su incidencia en el comportamiento térmico de la misma.

2. METODOLOGÍA

2.1. Selección de los casos de estudio representativos de la situación edilicia y forestal de la ciudad.

2.1.1 Consideraciones respecto a la configuración edilicia.

A partir de los procesos que experimentó la ciudad de Mendoza en su evolución histórica, vemos que en el actual tejido se destacan tres tipos de Cañones Viales Urbanos (CVU) tomando como variable de enfoque las dimensiones del ancho de los calles. Es así que se detectan canales viales de 15m que constituyen un 25% del total de la trama, canales de 20m, que representan el 70% y de 30m 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

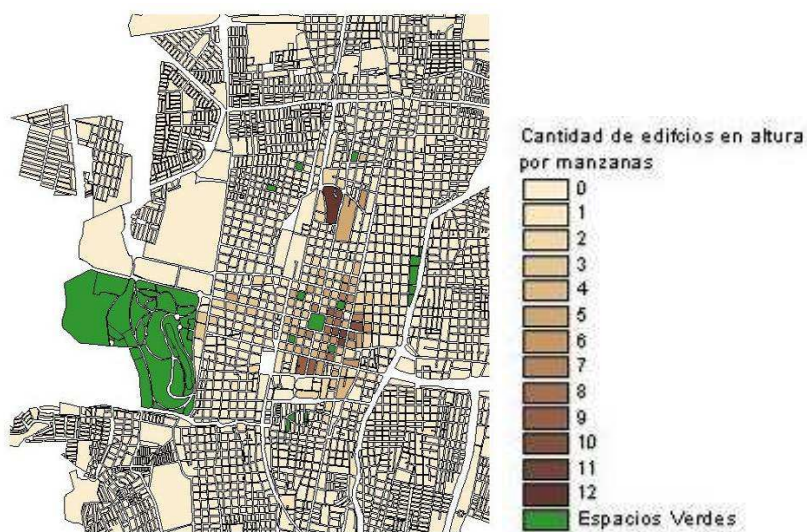


Figura 1: Distribución de las densidad edilicia dentro del Área Metropolitana de Mendoza

2.1.2 Consideraciones respecto a la configuración forestal.


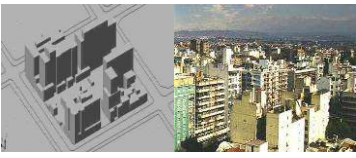
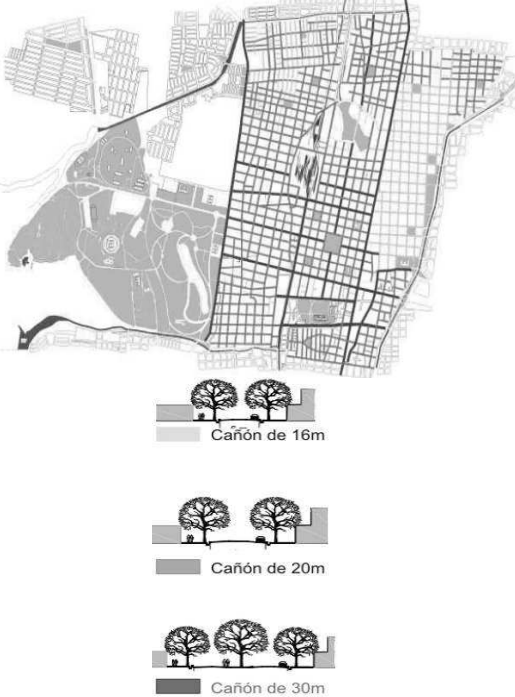




El criterio de clasificación de las magnitudes forestales se basa en la altura final que alcanzan los forestales según sus características genéticas, y que se corresponden aproximadamente a los 20 años desde su plantación.

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). Para ampliar este criterio y en vistas a abarcar la mayor cantidad de casos urbanos para su evaluación, se ha considerado la altura actual de los forestales al momento del estudio. De este modo hemos considerado a los ejemplares jóvenes de “fresno” que en su máxima expresión vegetativa responden a una especie de Segunda magnitud, dentro de la categoría Tercera magnitud dado que la altura relevada es de 5 metros.

El AMM (Área Metropolitana de Mendoza) presenta el 83.78% de las especies forestales concentradas en 3 tipos arbóreos que corresponden a la Primera y Segunda Magnitud (*Platanus acerifolia* “plátanos” 21.52%, *Morus alba* “morera” 38.27%, *Fraxinus excelsior* “fresnos” 19.36%). Si se analiza la distribución de cada especie forestal en cuanto a su relación con la densidad edilicia; se observa la máxima concentración de “moreras” y “plátanos” en la alta densidad, en donde el 88.4% se distribuye entre los dos tipos mencionados. Para el caso de la media y baja densidad, un porcentaje similar se distribuye entre 4 y 5 tipos arbóreos que pertenecen a la segunda y tercera magnitud. (Cantón et al, 2001).

De acuerdo a lo expresado en los párrafos precedentes sobre las características edilicias y forestales que presenta la ciudad, se eligen como casos de estudio aquellos que responden a las combinaciones aritméticas de tres variables urbanas: la magnitud de la especie forestal, la densidad edilicia y el ancho del canal vial. La tabla 1 muestra las categorías consideradas dentro de cada variable que resultan representativas de la configuración de los cañones urbanos de la ciudad.

Tabla 1. Clasificación de las variables urbanas utilizadas para componer los casos de estudio.

| Magnitud forestal | Densidad edilicia | Ancho canal vial |
|---|---|---|
| <p>Primera Magnitud.</p>  | <p>Alta Densidad</p>  |  |
| <p>Segunda Magnitud</p>  | <p>Media Densidad</p>  | |
| <p>Tercera Magnitud</p>  | <p>Baja Densidad</p>  | |

2.2. Determinación del factor de visión de cielo mediante el procesamiento de imágenes hemisféricas.

En la actualidad no existe una técnica definitiva para el cálculo del SVF. Durante la década de los 80's las metodologías empleadas estaban principalmente basadas en el modelo geométrico de los cañones (Johnson & Watson; 1984). Estos modelos proveen una determinación relativamente rápida del parámetro cuando las dimensiones del cañón son conocidas; pero en la mayoría de los casos asumen condiciones ideales dentro del cañón urbano considerando solo un par de elementos. De este modo los resultados que derivan de estos métodos son sólo de carácter estimativo.

En las condiciones presentes dentro del AMM, es imposible la obtención del factor de visión de cielo a partir de modelos geométricos, por lo que para obtener un valor del parámetro de SVF más ajustado a la realidad, se propone el uso del procesamiento de imágenes hemisféricas digitales.

Para esto se ha desarrollado una herramienta computacional sencilla que permite calcular el factor de visión de cielo en un punto determinado dentro del área de estudio, a partir del procesamiento de una imagen digital hemisférica tomada con una lente de ojo de pez.

2.2.1 Algoritmo y metodología empleada.

El programa al que llamamos PIXEL DE CIELO ha sido desarrollado en DELPHI 5.0 y opera en entorno Windows. Esta herramienta permite obtener el valor del factor de visión de cielo para un determinado punto a partir de imágenes digitales en formato JPG. Las mismas son tomadas con una cámara digital Nikon CoolPix equipada con una lente de ojo de pez. Para el procesamiento de las mismas se asume una proyección equiangular.

En una proyección equiangular de un campo de visión de 180°, la imagen circular resultante presenta una vista completa de todas las direcciones de la bóveda celeste, con el cenit en el centro de la imagen y los horizontes en sus bordes. En las proyecciones equi-angulares, el ángulo entre el cenit y cualquier punto en ella es directamente proporcional a la distancia a lo largo de un eje radial dentro de la imagen.

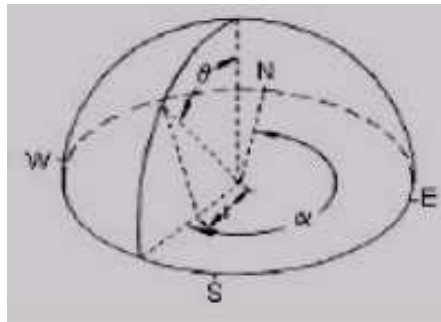


Figura 2. Proyección hemisférica

Dicho de otra manera, las fotografías hemisféricas representan ángulos y no distancias; donde cada punto corresponde a una coordenada referida al ángulo respecto del cenit y un azimut en un sistema hemisférico de coordenadas (Figura 2).

Para el proceso de delineación de la imagen se seleccionan desde la misma los rangos de colores presentes en el cielo en formato RGB, denominando bajo al color más oscuro del rango y alto al más claro. A partir de esta diferenciación un píxel individual $P(x, y)$ en la posición (x, y) dentro de la imagen asume un nuevo color $P_t(x, y)$; correspondiendo blanco a los píxeles de cielo y negro a los demás.

Una vez que los píxeles de cielo han sido delineados, el cálculo del factor de visión de cielo o SVF ha sido desarrollado a partir del trabajo de Steyn (1980); en este trabajo se aproxima la integral de la ecuación 1 a una suma de senos y cosenos, a partir de la cual el factor de visión de cielo puede calcularse desde una imagen digital de ojo de pez delineada como una serie de n anillos concéntricos de igual ancho y desplazamiento angular α ; donde r_0 es el radio de la imagen digital.

$$\psi_s = \frac{1}{2r_0} \int_{\alpha} \int_r \sin\left(\frac{\pi r}{2r_0}\right) \cos\left(\frac{\pi r}{2r_0}\right) dr d\alpha$$

[ec. 1]

De esta forma la suma a lo largo del desplazamiento angular completo de cielo visible para cada anillo, representa la composición del factor de visión de cielo Ψ_s .

En la figura 3 se muestra el menú principal y las ventanas mediante las cuales se ejecuta la herramienta.

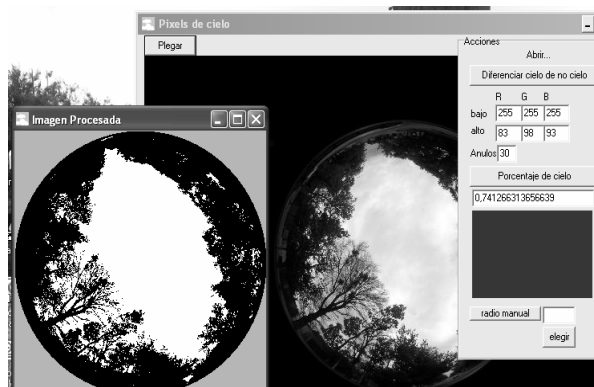


Figura 3 Formato de la ventana del Programa

3. RESULTADOS OBTENIDOS.

El valor de factor de visión de cielo obtenido para cada uno de los casos analizados, siguiendo la metodología propuesta se muestra en la tabla 2. Cabe acotar que, para algunas de las posibles combinaciones entre las variables propuestas no se han encontrado casos de estudio presentes en la ciudad, como es por ejemplo el caso de la alta densidad edilicia combinada con la tercera magnitud forestal; en el caso de la densidad edilicia media, sucede algo similar debido a que esta densidad edilicia no se encuentra consolidada en la ciudad, entonces es difícil encontrar casos de estudio representativos que respondan a los objetivos de análisis previstos.

Tabla 2. Porcentaje de visión de cielo para cañones urbanos típicos presentes en la ciudad de Mendoza, Argentina, de acuerdo a su densidad edilicia, configuración forestal y ancho de canal vial. En condiciones de invierno, verano y ausencia de forestación.

| Magnitud forestal | Densidad Edilicia | Ancho canal vial | SVF verano | SVF invierno | SVF solo edificio |
|-------------------|-------------------|------------------|------------|--------------|-------------------|
| <i>1era</i> | <i>Alta</i> | 30 m | 15.5 | 37.5 | 64.0 |
| | | 20 m | 13.5 | 24.0 | 65.4 |
| | | 16 m | 22.0 | - | 72.0 |
| | <i>Media</i> | 30 m | 17.7 | 59.1 | 82.7 |
| | | 20 m | - | - | - |
| | | 16 m | - | - | - |
| | <i>Baja</i> | 30 m | 21.7 | 63.5 | 97.8 |
| | | 20 m | 18.0 | 55.0 | 92.5 |
| | | 16 m | 29.7 | 58.6 | 96.0 |
| <i>2da</i> | <i>Alta</i> | 30 m | 16.7 | - | 69.6 |
| | | 20 m | 19.6 | - | 63.7 |
| | | 16 m | 13.5 | - | 69.5 |
| | <i>Media</i> | 30 m | 74.2 | 87.7 | 89.9 |
| | | 20 m | - | - | - |
| | | 16 m | - | - | - |
| | <i>Baja</i> | 30 m | 76.4 | 83.5 | 91.5 |
| | | 20 m | 81.8 | 92.9 | 96.9 |
| | | 16 m | 14.1 | 66.8 | 95.5 |
| <i>3ra</i> | <i>Alta</i> | 30 m | - | - | - |
| | | 20 m | - | - | - |
| | | 16 m | - | - | - |
| | <i>Media</i> | 30 m | - | - | - |
| | | 20 m | 80.2 | 84.1 | 88.9 |
| | | 16 m | - | - | - |
| | <i>Baja</i> | 30 m | - | - | - |
| | | 20 m | 87.12 | 91.9 | 97.1 |
| | | 16 m | 88.3 | 92.6 | 98.1 |

De los resultados que muestra la tabla 2 se observa que si tomamos en cuenta solo la configuración edilicia de la ciudad, el bloqueo de la bóveda celeste ocasionado por las distintas densidades edilicias, en ausencia de los demás componentes, refleja que la alta densidad presenta entre un 28 a 36% de bloqueo, es decir que el porcentaje de cielo visible disponible para las transferencias térmicas oscila entre el 74 a 82% para la alta densidad, para las demás densidades los valores de bloqueo alcanzan valores de 10 a 17% y 2 a 8,5% (%SVF 91-98) respectivamente para la media y baja densidad.

Sin embargo el impacto del ancho del canal vial sobre el factor de visión de cielo, considerando solo la edilicia, no responde al comportamiento esperado (a menor ancho de canal vial, menor porcentaje de visión de cielo), sino que muestra un comportamiento aleatorio, y en algunos casos hasta inverso como se observa en la tabla 2 para la primera magnitud forestal y la alta densidad edilicia. En este caso particular los resultados pueden explicarse debido a los patrones de uso de suelo, dado que la alta densidad concentrada en el microcentro, se localiza alrededor de los ejes arteriales más importantes, norte-sur, oeste-este, vías que en general son de 30 m de ancho, los usos del suelo alrededor de ellos presentan una edilicia con mayor homogeneidad en cuanto a la altura de fachadas (menor cantidad de huecos), por lo que a pesar de ser más ancho el canal vial la componente edilicia más compacta, es de mayor impacto. (ver tabla 1 distribución de canales viales dentro de la ciudad y comparar con figura 1)

La presencia de la primera magnitud forestal en la alta densidad disminuye su visión de cielo aproximadamente entre un 70 a 80% en verano y 40 a 60% en invierno, dependiendo de la composición geométrica del espacio y su intercepción con las copas de las especies forestales, otro factor importante es la distancia entre árboles, a menor distancia mayor entrecruzamiento lateral de copas, en este caso el menor ancho de canal vial combinado con especies de primera magnitud condiciona, sobre todo en verano, la formación de túnel. Ver figura 4. En el otro extremo la primera magnitud forestal combinada con la baja densidad edilicia disminuye la visión de bóveda del espacio entre el 70 a 80% en verano y 35 a 40% en invierno, sorprendentemente las proporciones de bloqueo de la primera magnitud forestal tanto para la alta como para la baja densidad, son semejantes para el verano, mientras que su impacto en el invierno es menor para la baja densidad, esto se explica por el desarrollo del follaje en verano que cubre todos los huecos de la edilicia ya sea en baja como en alta, mientras que en invierno la baja densidad combinada con el ramaje permite una mayor cantidad de visión de cielo. Ver figura 5.

La presencia de la segunda magnitud en la alta densidad edilicia disminuye su visión de cielo entre 75-80% durante el verano, mientras que para la baja densidad el impacto oscila entre el 25% para el verano y el 5-10 % durante el invierno. Como caso especial el comportamiento de la segunda magnitud para la baja densidad y 16 m de ancho de canal vial corresponde a la situación más desventajosa, dado que el caso evaluado combina: heterogeneidad de especies, mínimo espaciamiento entre las mismas y conformación de túnel sobre calzada, esto ocasiona un bloqueo de 85% en verano y 30 % 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).

A modo de ejemplo las figuras 4 y 5 muestran los resultados del procesamiento de las imágenes con el software para el caso de primera magnitud forestal en alta y baja densidad edilicia para canales viales de 30 y 20 m. El mismo proceso se ha llevado a cabo para los demás casos analizados en la tabla 2.

Ancho de Canal Vial:
30 m

Edilicia sin forestales



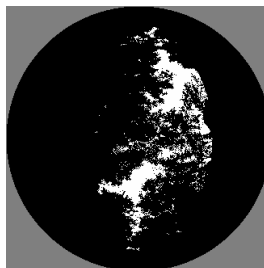
64.0



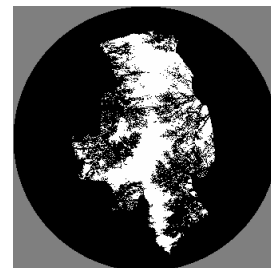
Verano



Invierno



15.5



37.5

Ancho de Canal Vial:
20 m

Edilicia sin forestales



Verano



Invierno

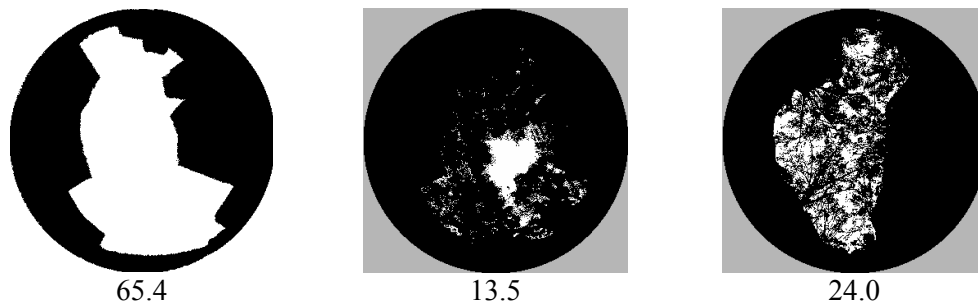


Figura 4: Factor de visión de cielo (expresado en /100) en invierno y verano para morfologías urbanas que corresponden a alta densidad edilicia, primera magnitud forestal y canal vial de 30 y 20 m. de ancho.

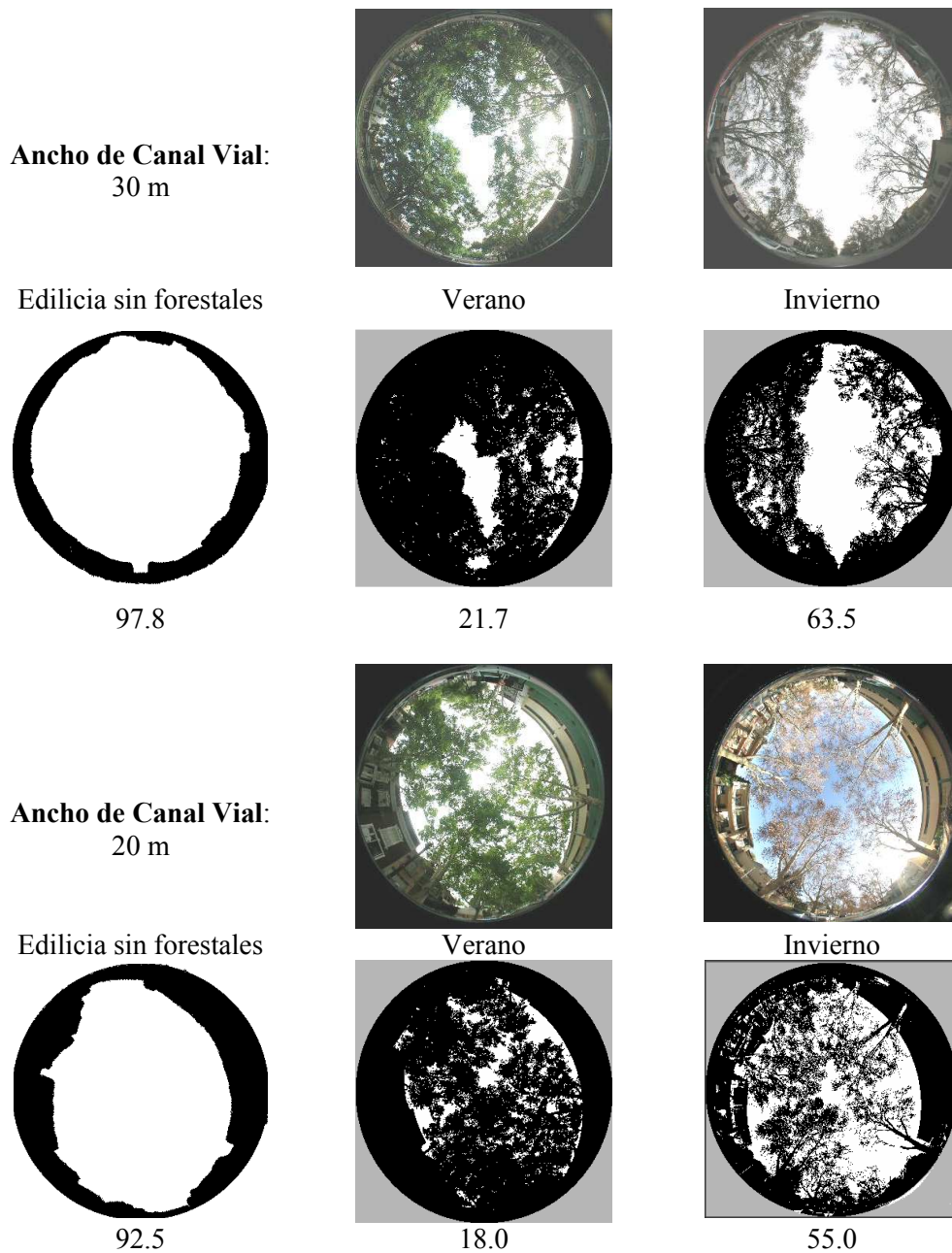


Figura 5: Factor de visión de cielo en invierno y verano para morfologías urbanas que corresponden a baja densidad edilicia, primera magnitud forestal y canal vial de 30 y 20 m. de ancho.

En los gráficos siguientes se representa la porción de bóveda celeste cubierta para el caso de alta y baja densidad de las distintas combinaciones de magnitud forestal y ancho de canal vial. Ver figuras 6

y 7. En la figura 8, se muestra el impacto para la media densidad edilicia de las distintas especies forestales.

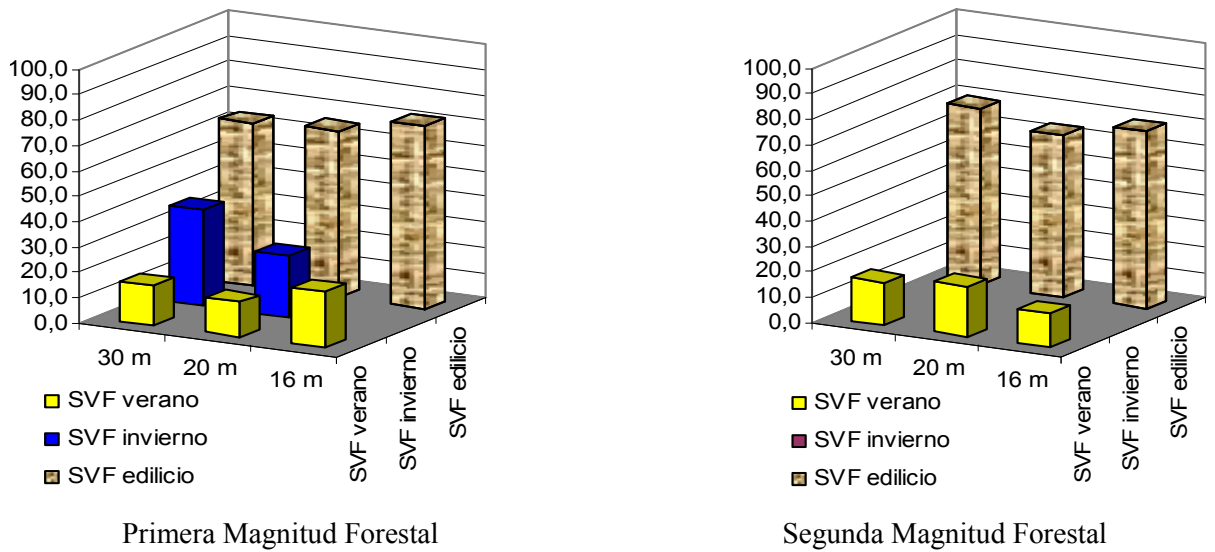


Figura 6: Variación de la porción de bóveda celeste disponible para el caso de alta densidad edilicia y distintas magnitudes de especies forestales y anchos de canal vial, presentes en el AMM.

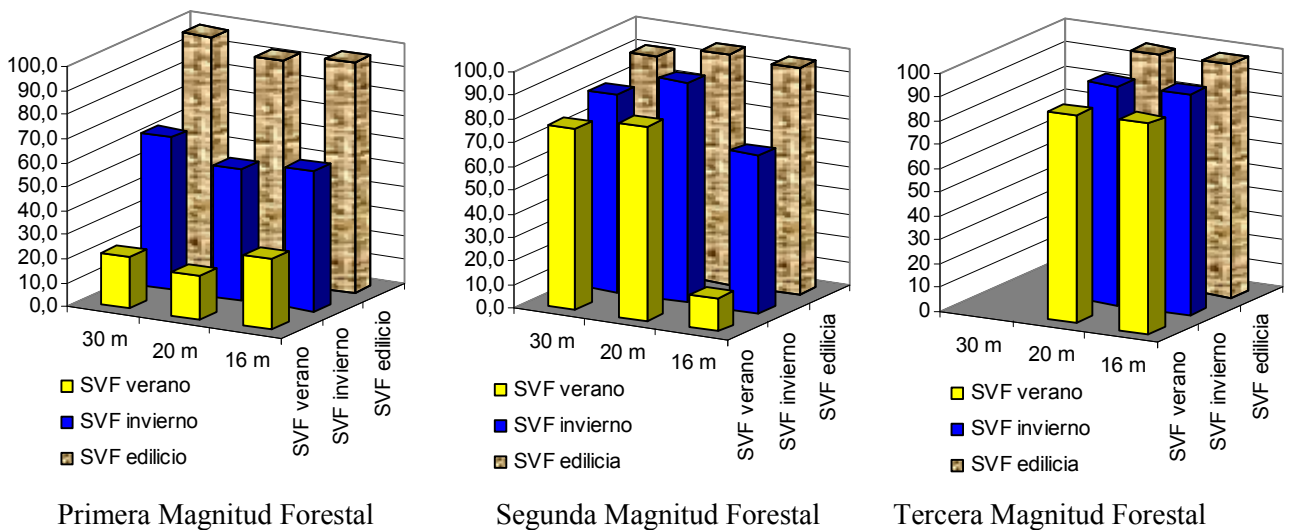


Figura 7: Variación de la porción de bóveda celeste disponible para el caso de densidad edilicia baja y distintas magnitudes de especies forestales y anchos de canal vial, presentes en el AMM.

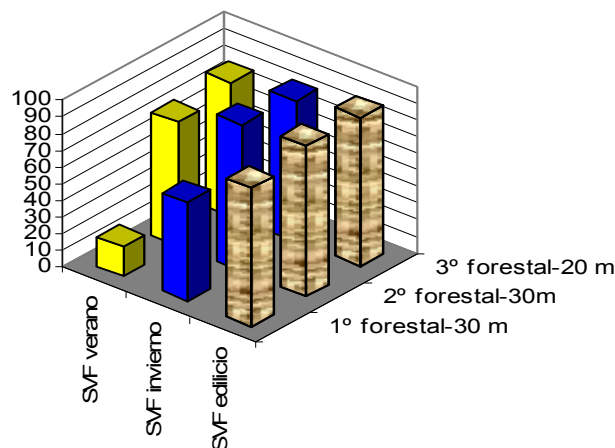


Figura 8: Variación de la porción de bóveda celeste disponible para el caso de densidad edilicia media y distintas magnitudes de especies forestales y anchos de canal vial, presentes en el AMM.

Las figuras corroboran el alto impacto sobre el factor de visión de cielo de la forestación de la alta densidad edilicia, particularmente en condiciones de verano. (Ver figura 6). Para el caso de la baja densidad, se observa claramente la desventaja, en cuanto a disponibilidad de visión de cielo, de forestar con especies de 1era magnitud, mientras que para los casos con 2da y 3ra magnitud el impacto es casi insignificante. Ver figura 7. Finalmente las evaluaciones para la media densidad edilicia no contradicen el comportamiento anteriormente descrito, presentando alto impacto la 1era magnitud y mucho menor la 2da y 3ra magnitud. Ver figura 8.

4. CONCLUSIONES

En líneas generales, los resultados muestran el alto impacto sobre las posibilidades de enfriamiento de la ciudad, de forestar la baja densidad edilicia con especies de 1era magnitud, siendo muy ventajoso en este caso usar especies de 2da y 3ra magnitud. Para la alta densidad, especialmente durante el verano (condición térmica más comprometida) no existe mucha diferencia en cuanto a la visión de cielo, entre la forestación con 1era o 2da magnitud, por lo que el uso de una u otra especie debe sustentarse en otra variable (longevidad, manejo, adaptación hídrica, etc.). Como propuesta para nuevos emprendimientos, sería interesante comprobar el comportamiento de la 3ra magnitud en esta densidad. Además la magnitud del impacto de la forestación sobre la visión de cielo se potencia o disminuye de acuerdo a las combinaciones entre el ancho de canal vial y el distanciamiento en la colocación de las distintas especies.

Siempre la elección de las distintas magnitudes debe estar relacionada al perfil forestal que se quiere lograr –túnel continuo sobre calzada y vereda, túnel interrumpido a nivel de calzada y pantalla homogénea sobre vereda, o bien el desarrollo individual del forestal sin superposición de copas-; la primera configuración ofrece la ventaja de la sombra y la disminución de la ganancia solar sobre las evolventes 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 transitables 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.

Cabe aclarar; que la sustentabilidad urbana debe estar apoyada no sólo en la optimización de las condiciones térmicas de los espacios, además debe considerar la sustentabilidad de todos los recursos. En este sentido es necesario recordar que la magnitud forestal se relaciona con la longevidad de los árboles en proporcionalidad directa, es decir la primera magnitud abarca a las especies de mayor vida útil. Este punto es importante a considerar, ya que elegir forestales de corta longevidad, implica que el turno de renovación forestal será más corto que si se elige una primera o segunda magnitud, por lo tanto es necesario corroborar si las ventajas de la optimización energética de los espacios superan el consumo de recursos asociados a la reforestación.

5. 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.
- CORREA E.N., DE ROSA C. AND LESINO G. (2006) "Impact of the urban design strategies on the urban climate in arid regions. The case of Mendoza's Metropolitan Area, in Argentina". In International Conference "Living in hot Deserts: Is a sustainable urban design still possible in arid regions". Algeria
- JOHNSON, G.T. & WATSON, I.D. (1984) "The determination of view-factors in urban canyons". Journal of Applied Climate and Meteorology 23. pp 329-335
- 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.
- 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
- STEYN, D.G. (1980) "The calculation of view-factors from fisheye-lens photographs: Research". Note. Journal of Atmospheric and Ocean Sciences 18.3 pp254-258
- UNGER J. (1996). "Heat island intensity with different meteorological conditions in a medium-sized town: Szeged, Hungary". Theoretical and Applied Climatology 54: 147-151.
- 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.