

APORTE DE LA FORESTACION AL CONTROL DEL CLIMA URBANO EN ZONA ARIDA

A. Kurbán¹, A. Papparelli², M. Cúnsulo³
Colaboradores: E. Montilla⁴, C. Herrera⁵

AREA ARQUITECTURA AMBIENTAL
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño - Universidad Nacional de San Juan
Santa Fe 198 oeste - 5400 San Juan - Argentina
Tel: (0264) 4202664 - E-mail: arqamb@unsj.edu.ar

RESUMEN: El objetivo del trabajo es obtener la real eficiencia de sombreado de la forestación pública como aporte al confort higrotérmico de la población en una ciudad de zona árida, con el propósito de compararla con patrones internacionales. Se calculan los valores de Superficie de Sombra y los de Cobertura Arbórea Efectiva con su real eficiencia de sombreado en relación con la permeabilidad a la radiación solar en invierno y verano; se correlacionaron las coberturas arbóreas con las variables climáticas de temperatura y humedad relativa. Se concluye que las normas internacionales no se adaptan a los requisitos bioclimáticos de zonas áridas y se obtiene la superficie horizontal de sombra óptima en los canales viales urbanos para una ciudades con índices urbanísticos similares a la estudiada.

Palabras clave: radiación solar, permeabilidad arbórea, clima urbano.

INTRODUCCION

Dentro de los elementos que conforman el potencial higrotérmico de las ciudades, la forestación constituye uno de los aspectos del diseño bioclimático más factibles de intervención por su facilidad de ejecución y bajo costo de instalación, tanto en áreas consolidadas como en las poco consolidadas o en nuevas urbanizaciones. No obstante no existen en nuestro país estudios particularizados a las condiciones bioclimáticas de cada región, que definan patrones de cobertura arbórea, para ser tomados como referencia, particularmente respecto a su potencial para la modificación del clima urbano.

Normas internacionales respecto a las áreas verdes urbanas, definen para las ciudades 10,0m² por habitante. Este valor considera los efectos positivos que la forestación incorpora al ambiente urbano (perceptuales, urbanísticos), pero se hace necesario verificar su comportamiento como aporte bioclimático, teniendo en cuenta situaciones rigurosas a la hora de calcular los requerimientos de sombra en zonas con un importante déficit de agua, altas temperaturas estivales y muy bajas temperaturas invernales, como es el caso de las zonas áridas.

Con el propósito de verificar los valores normativos y en el caso que correspondiera, cuantificar los déficit reales, se realizó el estudio de forestación en la ciudad de San Juan (R.A.), caracterizada por un clima árido mesotermal de altura, con altos índices de continentalidad (Gorzinski: 4,1) y de aridez (Penman: 0,102), grandes amplitudes térmicas diarias y estacionales, y un índice hídrico de $I_h = -53,8$.

El presente estudio de forestación abarca toda la ciudad (Ripoll, Kurbán, 2001), a través de un muestreo espacial de 48 Nodos Urbanos distribuidos a lo largo de 16 orientaciones cardinales (rumbos y medio-rumbos) con origen en el baricentro de la ciudad: plaza 25 de Mayo. En total se relevaron 179 Canales Viales Urbanos (CVU), definiéndose como tales, a los espacios públicos limitados en horizontal por la calzada y la vereda, y en vertical por las edificaciones adyacentes (Papparelli et al 2001a). Se trabajó sobre planos y planillas electrónicas en las que se volcó la información de cada CVU respecto a: Cantidad de árboles, Especie arbórea, Altura del fuste, Altura y Diámetro de la copa, Fenotipo (ideal y real), Estado sanitario.

La distribución espacial de la forestación pública de las calles en la ciudad es un dato importante a la hora de mantener o incrementar el número de árboles en los Canales Viales Urbanos (CVU). Al respecto, las ciudades presentan diferentes características conforme la distribución espacial de la edificación. En la ciudad de San Juan, se diferencian cuatro Bandas Urbanas Características (BUC): Eminentemente Urbana, Urbana, Suburbana y No Urbana (Papparelli, Kurbán, Cúnsulo, 2001b).

Las BUC se definen como: áreas homogéneas y continuas del ejido urbano, con índices urbanísticos de similar valor, los que identifican su condición territorial y su estado de situación espacial, quedan comprendidas entre dos isolíneas representativas

¹ Profesor Titular UNSJ, Profesional Principal CONICET,

² Profesor Titular UNSJ, Profesional Principal CONICET

³ Profesional Principal CONICET

⁴ Profesor JTP UNSJ

⁵ Profesor JTP UNSJ

de Factor de Ocupación del Suelo (FOS), que actuando como límites determinan una superficie circunvalar al baricentro urbano. Los límites de cada una de las BUC contienen los siguientes índices urbanísticos (Ríos, Papparelli, 2001):

	Factor de Ocupación del Suelo	Densidad Edilicia
BUC Eminentemente Urbana	FOS \geq 50%	DE \geq 20.000m ³ /Ha
BUC Urbana	50% > FOS \geq 30%	20.000m ³ /Ha > DE \geq 10.000m ³ /Ha
BUC Suburbana	30% > FOS \geq 5%	10.000m ³ /Ha > DE \geq 1.500m ³ /Ha
BUC No urbana	5% > FOS	1.500m ³ /Ha > DE

En atención a lo mencionado, el trabajo particulariza el estudio arbóreo en función de cada Banda Urbana Característica, espacializando los resultados de acuerdo a la fisonomía y los índices urbanísticos de la ciudad.

SUPERFICIE DE SOMBRA POR HABITANTE

Se compararon las condiciones de cobertura arbórea en la ciudad teniendo en cuenta parámetros internacionales, relacionando las superficies arbóreas (en planta y considerando la superposición) con la cantidad de habitantes por Nodo Urbano. Siguiendo pautas de otros trabajos sobre cobertura arbórea (Nowak, McPherson, 1993), se relacionaron también las superficies de espacios verdes con la cantidad de familias en la ciudad, teniendo en cuenta los datos poblacionales del Censo argentino del año 2001 (INDEC, 2002).

En función de la cantidad de habitantes del Gran San Juan, 414.129 personas y su superficie aproximada de 7.700 Ha, la densidad del área urbana es de \approx 54,0hab/Ha, la cantidad aproximada de familias de 92.000 y 20 familias por Nodo como valor promedio entre las tres BUC que conforman el área urbana.

Los valores de impronta de la arboleda pública en todo el ejido urbano, fueron obtenidos en función de los valores calculados para cada Nodo relevado y luego modelizados espacialmente para cada orientación cardinal con curvas de ajuste polinómico. Esto permitió encontrar para cualquier punto de la ciudad la *superficie de sombra* existente, conforme la tendencia de distribución espacial de la forestación pública. Como ejemplo, en la **Figura 1** se presenta una dirección cardinal elegida aleatoriamente, representándose en las ordenadas los valores de *superficie de sombra* y en las abscisas las *distancias al centro* de la ciudad. La nube de puntos representa los valores relevados en cada canal vial urbano y la línea llena la modelización con curva de ajuste polinómico.

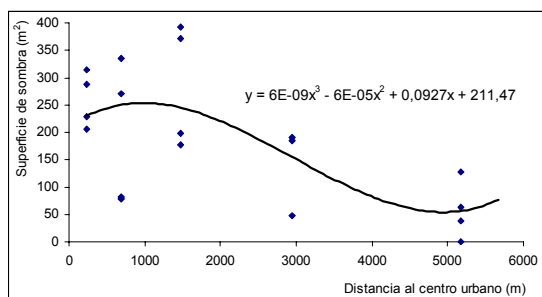


Figura 1: Superficie de Sombra modelizada para la dirección sur

COBERTURA ARBOREA EFECTIVA

Normas internacionales especifican 10,0m²/hab para los espacios verdes. En San Juan (R. Argentina) la Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano (SOSPyMA), los distribuye de la siguiente manera: Arboleda Urbana = 2,0m²/hab; Espacios Verdes Barriales = 2,5 m²/hab; Parques Urbanos = 2,5 m²/hab ; Parques Regionales = 3,0 m²/hab.

La Superficie de Sombra constituye un dato bioclimático fundamental para conocer el área de calzada y vereda que no recibe radiación solar, tanto en invierno como en verano. No obstante, la arboleda presenta a la radiación solar condiciones diferenciadas de permeabilidad conforme el volumen de la copa, la superficie foliar, el color, transparencia y densidad de las hojas, y el ciclo de foliación.

En trabajos anteriores (Papparelli, Kurbán, Cúnsulo, *et al*, 1996) se obtuvieron las permeabilidades arbóreas en invierno y verano de las 19 especies forestales más usuales de la forestación pública de la ciudad de San Juan, combinando métodos radiativos-predictivos (Cantón, Cortegoso y de Rosa, 1993) con métodos fotométricos. Los valores se presentan en **Tabla 1**.

La Cobertura Arbórea se calculó teniendo en cuenta dos aspectos: la permeabilidad a la radiación solar en verano e invierno y el estado de conservación.

La Superficie de Sombra S_S como proyección de la copa arbórea sobre un plano horizontal, se obtuvo según la siguiente fórmula:

$S_S = \text{Superficie Unitaria de cada árbol} \times C_S$; Siendo C_S : Coeficiente de Superposición de copas: 4 categorías comprendidas entre: árbol aislado ($C_S=1$) y árbol superpuesto el 75% ($C_S = 0,25$)

La incidencia de la permeabilidad dio lugar a la Superficie Neta S_N , calculada como sigue:

$S_N = S_S \times (1 - P)$; Siendo P : Permeabilidad de invierno o verano

ESPECIE ARBÓREA	Permeabilidad Invierno (%)	Permeabilidad Verano (%)
ACACIA COMUN (Robinia Pseudocacia)	70,48	18,95
AGUARIBAY (Schinus Areira)	41,77	24,48
ALAMO CRIOLLO (Populus Nigra)	83,53	21,32
CAROLINO (Populus deltoides)	99,19	28,43
CASUARINA (Casuarina Equisetifolia)	41,77	26,06
EUCALIPTUS (Eucalyptus Globulus)	49,60	26,06
FRESNO COMUN (Fraxinus Excelsior)	70,48	16,19
JACARANDA (Jacaranda Mimisifolia)	70,48	27,25
MORA (Morus Alba)	57,43	9,87
OLIVO (Olea Europea)	41,77	17,37
OLMO BOLA (Ulmus Procera)	49,60	12,64
PARAISO COMUN (Melia Azedarach)	83,53	62,39
PARAISO SOMBRILLA (Melia sp.)	51,69	8,69
PLATANO HOJA de ARCE (Platanus Acerifolia)	57,43	16,19
SAUCE LLORON (Salix Babylonica)	83,53	24,48
SIEMPRE VERDE (Evonymus Japonicus)	41,77	18,16
TILO (Tilia Platyphyllos)	57,43	12,64
TIMBO (Enterolobium Conortisiliquum)	49,60	29,62
TIPA (tipuana Tipu)	57,43	35,93

Tabla 1: Permeabilidad arbórea para Invierno y Verano

La Cobertura Arbórea (C_A) se calculó como:

$C_A = S_N \times C_E$; Siendo C_E : Coeficiente de estado, depende de las condiciones de la arboleda: MB, B, R, M y MM

En la **Figura 2** se presentan a modo de ejemplo para una misma dirección, las Coberturas Arbóreas Efectivas para invierno y verano, representándose en las ordenadas los valores de Cobertura y en las abscisas las distancias al centro de la ciudad. La nube de puntos representa los valores relevados en cada Canal Vial Urbano (CVU) y la línea de trazo la modelización con curvas de ajuste polinómico.

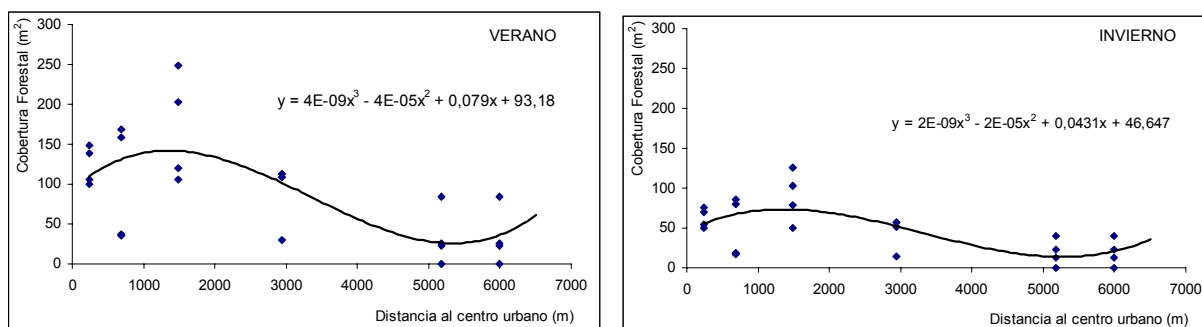


Figura 2: Cobertura Arbórea Efectiva modelizada para verano e invierno (dirección sur)

COBERTURA ARBOREA EFECTIVA OPTIMA

En la ciudad de San Juan como en la mayoría de las ciudades con clima árido mesotermal, los requerimientos bioclimáticos no son igualmente críticos para invierno y verano, ya que el porcentaje de horas al año en el que se requiere calefacción o enfriamiento activo varía en función de la estación más rigurosa. Conforme estudios de estrategias de diseño bioclimático (Papparelli, et al, 2000), calculadas con el método de D. Watson (1983), la estación climática con mayores exigencias en dicha ciudad es el verano.

El porcentaje de horas de verano e invierno con requerimientos de acondicionamiento mecánico o convencional es el siguiente: **Invierno** 27% de las 24 horas del día \equiv 06hs 50min ; **Verano** 46% de las 24 horas del día \equiv 11hs 00min. Por tanto, del total de horas al día con requisitos de acondicionamiento activo, el 37,0% corresponde al invierno y el 63,0% al verano. Esto indica que en relación a la forestación urbana, deberá priorizarse la Cobertura Arbórea efectiva del verano.

En una ciudad que presente el mayor cubrimiento arbóreo de sus canales viales en el verano y el menor en el invierno, la forestación estará influyendo en el clima urbano, amortiguando la onda diaria de temperatura y elevando el porcentaje de humedad. Por tanto podría considerarse como óptimo, una Cobertura Arbórea Efectiva del canal vial urbano similar a los porcentajes de requerimiento de acondicionamiento activo estacional.

Dado que los valores de Cobertura de verano pueden considerarse mínimos óptimos y los de invierno máximos óptimos, se trabajó sólo con los primeros asumiendo que valores invernales menores serán una carga bioclimática favorable.

La obtención de la superficie de Sombra Arbórea a partir de la Cobertura (63,0%) se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$S_s = C_A + [I - (P \times C_E)] \longrightarrow \text{Porcentaje de Sombra} = S_s + \text{Sup. Horizontal CVU}$$

Considerando que la mayor cantidad de especies forestales en la ciudad de San Juan está constituida por moreras y plátanos, y que el CVU tipo tiene un ancho de 18,0m, generando 3.300,0m² de superficie horizontal en una cuadra, para una arboleda en muy buen estado ($C_E = 1$), con árboles aislados ($C_S = 1$) y una Cobertura Arbórea para ambas especies de 63% para verano, el porcentaje óptimo de Sombra Arbórea para cubrir en forma homogénea la superficie horizontal de los Canales Viales Urbanos será del 69,9% en el caso de la mora y del 75,0% para el plátano.

CORRELACIÓN ENTRE COBERTURA ARBÓREA Y VARIABLES CLIMATICAS

En anteriores trabajos (Papparelli *et al*, 1999) se modelizó la temperatura y humedad relativa con una base de datos de mediciones climáticas itinerantes realizadas simultáneamente, en los mismos Nodos Urbanos en los que se analizó la cobertura arbórea. A modo de ejemplo, en las Figuras 3 y 4 se muestran las curvas logarítmicas del comportamiento de cada variable climática en invierno y verano respectivamente, para la orientación sur. Se aplica esta función por ser la que mejor se ajusta a la nube de puntos presentada, promedio de 90 mediciones tridiurnas estacionales.

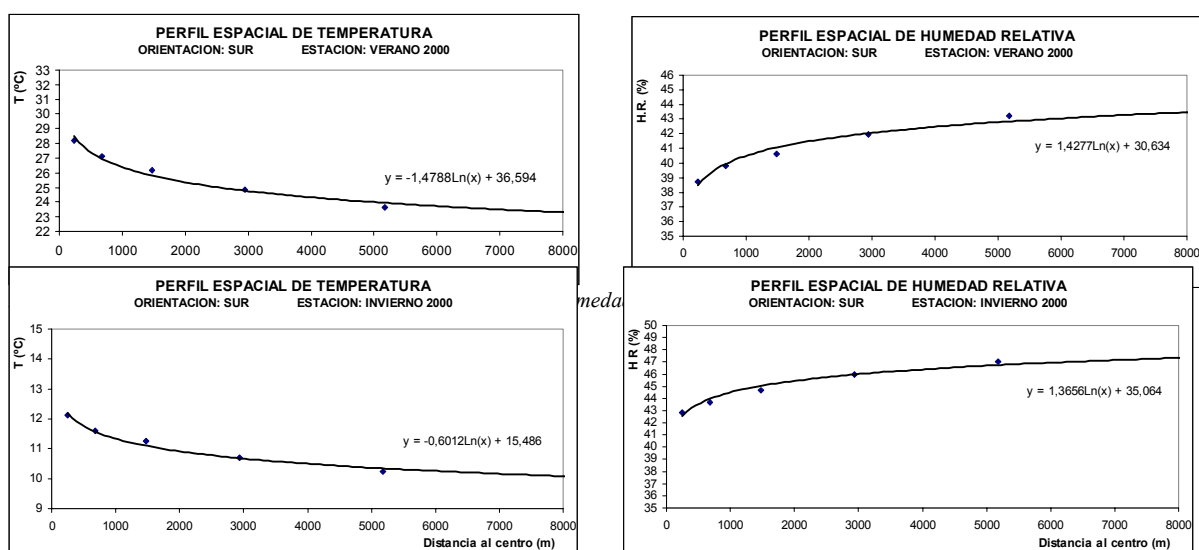


Figura 4: Modelización del comportamiento de temperatura y humedad relativa en invierno. Orientación sur

La Carga Climática Urbana está conformada principalmente por la influencia que sobre el clima natural tiene la urbanización: Edificación, Superficie de Red Vial y Configuración de la Forestación Pública. Estos tres aspectos pueden cuantificarse por medio de los siguientes indicadores urbanísticos: Indicador de Masa Edilicia (IME), Indicador Vial Urbano (IVU) e Indicador de Forestación Urbana (IFU) (Papparelli *et al*, 1998).

Cada uno de estos Indicadores interviene en la carga climática con porcentajes, positivos o negativos, que varían en función de la modalidad de la distribución urbana, la densidad de edificación, las volumetrías edilicias, la dimensión de los canales viales urbanos y las especies arbóreas junto a su distribución y mantenimiento en dichos canales.

En la ciudad de San Juan, según el estudio citado, la incidencia del Indicador de Forestación Urbana (IFU) en la Carga Climática Urbana tiene en el verano un porcentaje negativo de - 46,2%. Esto significa que causa en la temperatura promedio de toda la ciudad una disminución de 2,1°C. Por su parte, la influencia sobre la humedad relativa es de +45,4%, es decir provoca un aumento de 5,2% de la humedad promedio en la ciudad.

Por su parte los otros Indicadores presentaron durante el verano la siguiente incidencia:

Indicador de Masa Edilicia (IME)

- Temperatura
Verano: + 46,2% $\rightarrow \rightarrow \rightarrow$ + 2,1°C
- Humedad Relativa
Verano: - 46,4% $\rightarrow \rightarrow \rightarrow$ - 5,3%

Indicador Vial Urbano (IVU)

- Temperatura
Verano: + 53,8% $\rightarrow \rightarrow \rightarrow$ + 2,5°C
- Humedad Relativa
Verano: - 53,6% $\rightarrow \rightarrow \rightarrow$ - 6,2%

Modelizando cada Indicador en perfiles espaciales de la ciudad con origen en el baricentro urbano, las rectas de ajuste representativas permiten comprobar una modalidad del IFU inversa al IME e IVU, ya que a diferencia de éstos, el IFU disminuye la carga de temperatura y aumenta la de humedad relativa (Figura 5).

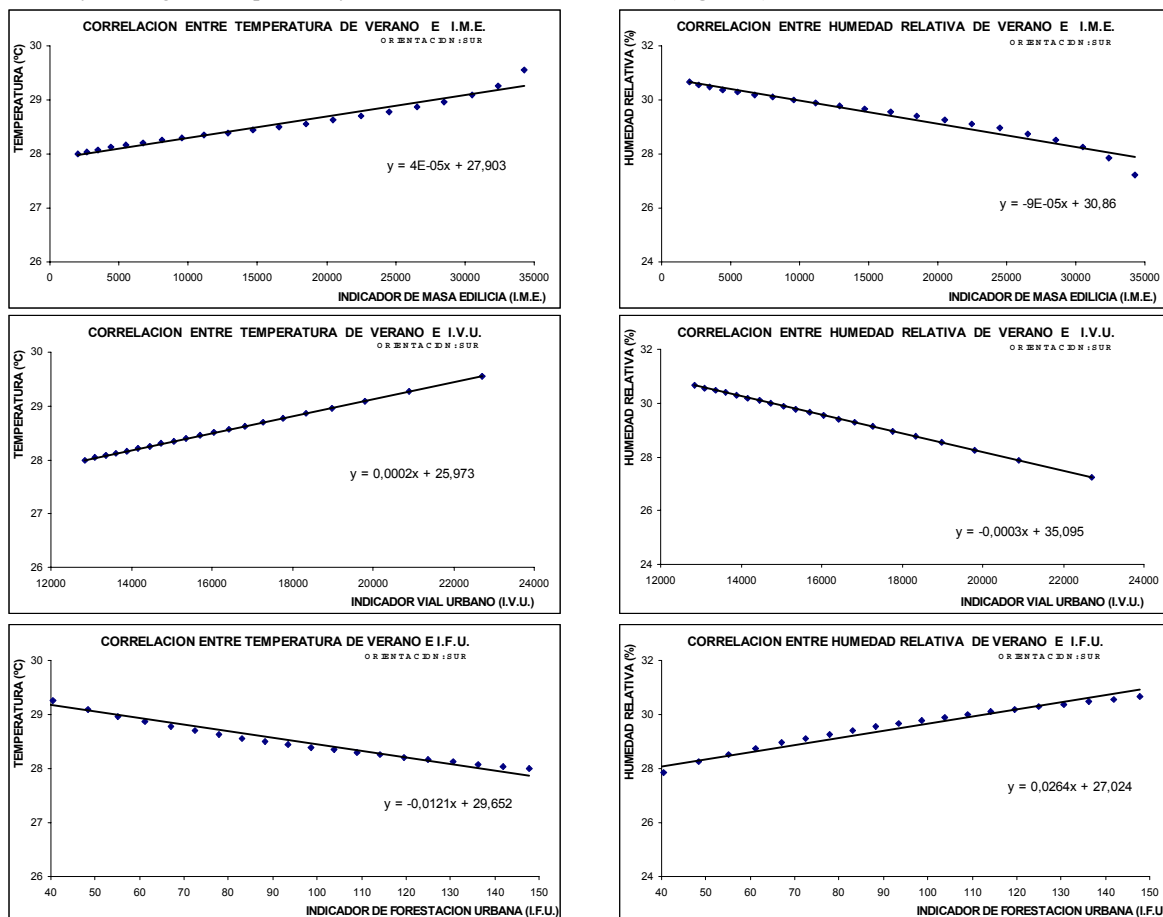


Figura 5: Modelización del comportamiento de los Indicadores Urbanísticos con la T°C y HR% en la orientación sur, para verano

RESULTADOS

En una ciudad con clima árido mesotermal las especies forestales adaptadas de 50 años de antigüedad como máximo, con riego urbano canalizado por acequias, alcanzan en su mayoría un diámetro de copa comprendido entre los 4,5m y 8,5m. Distribuyendo la forestación urbana con un promedio de 24 árboles por cuadra (12 por vereda, con cuadras de aproximadamente 100m de longitud), la Superficie de Sombra es de 10,0m²/hab, tomando un promedio para toda la ciudad. Los valores por habitante en cada BUC son: 8,0 m²/hab en la BUC Eminentemente Urbana; 12,0 m²/hab en la BUC Urbana y 15,0 m²/hab en la BUC Suburbana.

Si se cualifica dicha sombra por su estado de conservación y permeabilidad arbórea en verano (la estación más rigurosa), la Cobertura Arbórea disminuye a 6,0m²/hab como promedio de todo el asentamiento, siendo 4,0m²/hab en la BUC Eminentemente Urbana; 7,0m²/hab en la BUC Urbana y 9,0m²/hab en la BUC Suburbana.

En relación a las superficies horizontales totales de calzada y vereda de los canales viales, la Superficie de Sombra promedio en toda la ciudad es de sólo el 28,0%, y la Cobertura Arbórea Efectiva promedio para verano del 16,0%.

En una ciudad de zona árida con índices urbanísticos promedio de Factor de Ocupación del Suelo del 50,0% y de Densidad Edilicia de 35.000m³/Ha, la Superficie de Sombra Optima que tenga en cuenta los requerimientos bioclimáticos en verano, está comprendida entre un 70% y un 75% del total de la superficie horizontal de los canales viales.

En la Carga Climática Urbana la influencia porcentual de los Indicadores de Masa Edilicia y Vial Urbano se mantiene prácticamente constante a lo largo del año, por lo que la variable que hace fluctuar su incidencia entre invierno y verano es el Indicador de Forestación Urbana (IFU), al intervenir en la modificación de la temperatura y humedad relativa, disminuyendo la Carga de temperatura y aumentando la de humedad relativa.

CONCLUSIONES

La forestación urbana es sustancial en el balance de la Carga Climática Urbana en una zona árida, ya que constituye el indicador más influyente en la modificación de la temperatura y humedad relativa, al ser la única variable con posibilidades de adecuarse a los requerimientos de cada estación climática.

Las escasas normativas vigentes sobre forestación son inadecuadas para ciudades de zonas áridas, pues no aprovechan las potencialidades higrotérmicas de la forestación pública como elemento de acondicionamiento de los espacios abiertos, como lo demuestra el presente estudio según el cual una ciudad aún excediéndose en un 400,0% de lo normado, posee una superficie de sombra en los canales viales urbanos que no supera el 28,0%, valor que disminuye a más del 16,0% si se cualifica su eficiencia en la estación más rigurosa, el verano.

Por tanto el diseño urbano bioclimático de los espacios verdes no puede regirse por las normas internacionales actuales, deben realizarse estudios particularizados que contemplen las especies adaptadas al suelo y al clima, su permeabilidad a la radiación solar estacional, el diámetro de su copa en edad adulta y la altura de fuste. Simultáneamente debe proveerse un mantenimiento efectivo de las especies, procurando condiciones de riego y poda que no deformen los fenotipos y permita el crecimiento normal de los ejemplares. En esas condiciones deberá calcularse un cubrimiento de al menos el 70% de la superficie horizontal de los canales viales urbanos.

REFERENCIAS

- Cantón, Cortegoso y de Rosa (1993) Solar Permeability of urban trees in cities of western Argentina. *Energy and Buildings* Vol. 20. Elsevier Sequoia. Lausanne.
- INDEC (2002) Censo 2001. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. San Juan
- Nowak D. J. y McPherson (1993) Cuantificación del impacto ambiental de los árboles en Chicago. *Unasylva* N° 173: La silvicultura urbana y periurbana.
- Papparelli A., Cúnsulo M. Montilla, E., Kurbán A. (1996) Eficiencia bioclimática arbórea en entornos urbanos de zona árida. *Actas de la XIX Reunión de Trabajo "ASADES'96"*. Tomo II. pp. 9.05-9.09
- Papparelli A., Kurbán A., Cúnsulo M. (1999) Influencia de la ocupación urbana en el clima de una ciudad de zona árida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Volumen 3, N°2. pp. 11:1-4.
- Papparelli A., Kurbán A., Cúnsulo M. (2000) Ahorro energético con arquitectura bioclimática en área urbana de zona árida *Actas de COTEDI 2000 (Conferencia Internacional sobre Confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones)*. pp. 125-129 Maracaibo.
- Papparelli, A.; Kurbán A.; Cúnsulo M. et al (1998). Composición de la Carga Climática Urbana. Informe Final Proyecto de Investigación. UNSJ
- Papparelli, A.; Kurbán A.; Cúnsulo M. et al (2001a). Potencial bioclimático de Canales Viales Urbanos. Informe Final Proyecto de Investigación. UNSJ
- Papparelli, Kurbán, Cúnsulo (2001b) Características de la Distribución Espacial de la Ciudad de San Juan. 2^{da} Edición: 1 Vol. 100 Ejemplares - Edit. G.M.A. (FAUD-UNSJ).
- Ríos E., Papparelli A. (2001) Bandas Urbanas Características para la ciudad de San Juan. - Año 2000. Informe Final Beca de Investigación CICITCA-UNSJ.
- Ripoll V., Kurbán A. (2001) Estudio Bioclimático de la Forestación Urbana en la ciudad de San Juan. Informe Final Beca de Investigación CICITCA-UNSJ.
- Watson, D., Faia y Kenneth Labs. (1983) *Climatic Design*. Ed. Mc. Graw-Hill Book Company. USA.

BIBLIOGRAFIA

- Dirección Provincial de Catastro. Planos y planchetas catastrales de la ciudad de San Juan Esc: 1:20.000, 1:3.000 y 1:2.000.
- Ortega, A. Papparelli, A. (1998) Modalidad de la Ocupación del Suelo Urbano. Informe Final Beca de Investigación UNSJ. Categoría Iniciación.
- Ortega, A. Papparelli, A. (2001) Tipificación de Canales Viales Urbanos. Informe Final Beca de Investigación UNSJ. Categoría Iniciación.
- Papparelli A., Kurbán A., Cúnsulo M. (1993) Clima urbano - estrategias bioclimáticas para el diseño arquitectónico en área urbana de zona árida: ciudad de San Juan. *Actas de la XVI Reunión de Trabajo de "ASADES'93"*. pp. 89-90. La Plata
- Papparelli A., Kurbán A., Cúnsulo M. (1994) Modelización del comportamiento climático en un área urbana de zona árida. *Actas de la XVII Reunión de Trabajo "ASADES'94"*. Tomo II. pp. 535-542. Rosario, Santa Fe.
- Papparelli A., Kurbán A., Cúnsulo M. (1999) Bandas urbanas características en una ciudad de zona árida. *Actas del Congreso Nacional "AMBIENTAL '99"*. PRODEA/UNSJ. pp. 11-19. San Juan.

ABSTRACT: The objective of the work is to obtain the real shady efficiency of the public grove as contribution to the population's higrothermic comfort in a city of arid area (San Juan's city), with the purpose of comparing it with the international patterns. The values of Shaded Area and the Effective Arboreal Covering are calculated with their real shady efficiency related with the permeability to the solar radiation for winter and summer; the arboreal coverings were correlated with the climatic variables of temperature and relative humidity. It is concluded that the international norms don't adapt to the bioclimatic requirements for arid zones and the optimum horizontal shade area in the urban canyons is obtained for cities with urban index similar to the one studied.

Keywords: solar radiation, arboreal permeability, urban climate.