

EFFECTO BIOCLIMÁTICO DE LA FORESTACIÓN EN AREAS URBANAS DE CLIMA ARIDO

Alejandra Kurbán¹, Alberto Papparelli¹, Mario Cúnsulo², Carlos Herrera³, Eduardo Montilla⁴
Área Arquitectura Ambiental

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) – Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)
Santa Fe 198 Oeste 1° Piso, J5400ZAA San Juan. Email: argamb@unsj.edu.ar. Tel (0264) 4202664

RESUMEN: La forestación urbana constituye en ciudades de clima árido, uno de los recursos bioclimáticos más accesibles para incorporar en los espacios abiertos, públicos y privados, para proveer confort higrotérmico a la población y como contribución al ahorro energético regional. Las permeabilidades a la radiación solar global se calculan con dos métodos: el solarimétrico y el fotogramétrico, métodos que demostraron ser idóneos para la selección de las especies arbóreas potencialmente más aptas. Se obtiene una herramienta de planificación urbana, el Indicador Bioclimático Arbóreo (IBA), que unifica las respuestas arbóreas a la radiación solar a lo largo del año, de acuerdo con el cálculo anual de los requerimientos de acondicionamiento bioclimático. Los resultados podrán incorporarse a Normas de Forestación Pública Urbana, para ser aplicados al diseño de tramas urbanas consolidadas o nuevas.

Palabras Clave: permeabilidad arbórea, forestación urbana, clima urbano.

INTRODUCCIÓN

La forestación urbana influye en la modificación del clima y en el consumo de energía en los edificios a través de: a) sombreado, reduciendo la cantidad de energía radiante absorbida y almacenada por las superficies construidas, b) evapotranspiración, convirtiendo el agua de las plantas en vapor, enfriando de esta forma el aire, c) reducción de la velocidad del viento, lo cual reduce la infiltración de aire exterior, la efectividad de la ventilación y el enfriamiento convectivo de las superficies edilicias (J. R. Simpson, 2002, citando a J. R. Simpson, 1998).

Los árboles pueden afectar el uso de energía en los edificios (Wagar y Heisler, 1986). La sombra densa sobre el suelo y las edificaciones pueden reducir sustancialmente los costos de enfriamiento de verano, así como proporcionar menores temperaturas de aire en las viviendas y edificios en general, sin sistemas mecánicos de enfriamiento.

Durante el invierno las sombras arbóreas sobre los edificios disminuyen la temperatura en el interior de los mismos, aumentando la carga de calefacción y por tanto incrementando directamente el desconfort térmico y los costos de calefacción (Wagar y Heisler, 1986, citando a De Walle et al., 1983; Mc Pherson, 1980, Holtzberlin, 1979 y Heisler, 1982).

En ciudades de clima árido, la alta radiación solar de los meses cálidos incrementa el desconfort higrotérmico y por consiguiente los requisitos de enfriamiento en los espacios abiertos públicos y en los interiores edilicios. Durante los meses fríos, el recurso solar disminuye, siendo necesario su mayor aprovechamiento. Por ello es necesario estudiar científicamente el aprovechamiento de las especies arbóreas urbanas como recurso bioclimático eficiente dentro del potencial higrotérmico de las ciudades, para ser incorporado a normativas urbanas relacionadas con la sustentabilidad del ambiente árido.

Papparelli, A. *et al* (1996), estudiaron la permeabilidad arbórea de las especies predominantes en el arbolado público de la ciudad de San Juan, aplicando un método que combinaba procedimientos radiativo-predictivos (Cantón, A. *et al*, 1993) con fotométricos propios.

Durante el verano e invierno de los años 2001 y 2002, la Unidad Ejecutora realizó en el Gran San Juan mediciones piloto de permeabilidad arbórea a la radiación solar, con métodos solarimétricos y fotogramétricos. Estos datos se compararon con registros climáticos itinerantes propios de temperatura y humedad relativa del mismo período (Papparelli, A. *et al*, 2002), observándose relaciones de dependencia funcional entre las condiciones higrotérmicas del entorno urbano y la forestación pública.

Para profundizar estas relaciones climático-urbanísticas y estudiar la influencia que tiene la forestación urbana en la conformación de la carga climática urbana, se desarrolló un proyecto uno de cuyos resultados se presentan en el presente artículo, el que analiza el estudio de la permeabilidad arbórea a la radiación solar global homogeneizada durante las cuatro

¹ Profesor Titular UNSJ; Profesional Principal CONICET

² Profesor NM –UNSJ; Profesional Principal CONICET

³ Profesor Adjunto UNSJ

⁴ Profesor JTP UNSJ

estaciones climáticas, con el objetivo de identificar las especies arbóreas bioclimáticamente más eficientes para ser implantadas en espacios públicos y privados, en una zona árida.

El cálculo de las permeabilidades arbóreas se realizó a partir de dos métodos independientes no vinculados: a) Solarimétrico: se mide la radiación solar global homogeneizada que atraviesa la copa arbórea; b) Fotogramétrico: se fotografía la copa arbórea.

ESPECIES ARBÓREAS ESTUDIADAS

Estudios previos de áreas urbanas muestra del Gran San Juan (Ripoll y Kurbán, 2001), arrojaron que los ejemplares arbóreos estaban distribuidos de la siguiente manera: Mora 46,0%; Plátano 31,9%; Paraíso Común 7,4%; Tipa 4,2%; Paraíso Sombrilla 4,1%; Aguaribay 1,2%; Olmo Bola 0,9%; Alamo Criollo 0,9%; Eucalipto 0,7%; Álamo Carolino 0,7%; Timbó 0,7%; Olivo 0,4%; Sauce llorón 0,3%; Jacarandá 0,3% y Fresno Común 0,2%.

Las condiciones bioclimáticas en los espacios abiertos requieren de un buen asoleamiento en invierno y la máxima protección solar en verano, por lo que de las especies existentes se realizó una primera selección eliminando aquellas de foliación perenne. De las especies caducifolias restantes se tuvo en cuenta su adaptación al medio urbano y las características para su implantación en la trama vial. Resultaron excluidos del estudio, el sauce llorón y el álamo criollo. El primero de ellos debido a que su morfología no es adecuada para la forestación de calles en entornos urbanos, por su copa es baja en relación al paso de vehículos y peatones; ello que requeriría una poda especial que deformaría su fenotipo natural; además su tronco posee un gran tamaño y acentuada leñosidad. El álamo criollo por su parte, tiene una copa de diámetro escaso, que para lograr sombra continua en veredas y calles, requiere distancias mínimas entre ejemplares, implantación inapropiada para zonas urbanas ya que bloquean la accesibilidad y visibilidad.

Por su similitud con las especies predominantes respecto al tamaño de la copa y requisitos de asoleamiento y agua, aunque de escasa utilización en espacios públicos, se incluyeron en el estudio los siguientes árboles: Liquidámbur, Fresno Común, Roble, Álamo Plateado, Acacia Visco y Olmo Común.

Las mediciones solarimétricas y fotométricas requerían condiciones de entorno que garantizaran disminuir al máximo la incidencia de la radiación solar directa proveniente del ángulo sólido de la bóveda celeste reflejada por las superficies del entorno urbano inmediato, es decir el albedo de solados y edificios. Asimismo también debía disminuirse la radiación difusa isotrópica que no atravesaba la copa de los árboles. En consecuencia, se seleccionaron ejemplares convenientemente separados de edificaciones u otros árboles, dentro de las posibilidades urbanas de localización de cada uno de ellos. Finalmente los estudios de permeabilidad a la radiación solar se realizaron sobre las siguientes especies arbóreas:

1. ACACIA VISCO (*Acacia visco*)
2. ALAMO CAROLINO (*Populus deltoides*)
3. ALAMO PLATEADO (*Populus alba*)
4. FRESNO COMUN (*Fraxinus Excelsior*)
5. LIQUIDAMBAR (*Liquidambar styraciflua*)
6. MORA (*Morus alba pendula*)
7. OLMO BOLA (*Ulmus procera*)
8. OLMO COMUN (*Ulmus campestris*)
9. PARAISO COMUN (*Melia*)
10. PARAISO SOMBRILLA (*Melia azedarach umbraculiformis*)
11. PLATANO (*Platanus acerifolia*)
12. ROBLE (*Quercus robur*)
13. TILO (*Tilia platyphyllos*)

CÁLCULO DE LAS PERMEABILIDADES ESTACIONALES

• Método solarimétrico

Programa de mediciones y registros

En base a resultados de proyectos anteriores (Papparelli, A. *et al*, 2001 y 2002) se midió radiación solar global homogeneizada, en lugar de radiación solar global. Esto se debió a que la radiación solar global es muy sensible a pequeñas obstrucciones dinámicas de los elementos del entorno, particularmente por el movimiento de las hojas, ramas y por otros elementos de la infraestructura urbana como cableado eléctrico, carteles, etc. Se seleccionaron días de condiciones meteorológicas con cielo totalmente despejado: Índice de claridad $K_t \geq 0,75$. Debido a la diferente densidad de ramas y hojas entre el centro de la copa y los bordes, se diseñó un programa de mediciones que ponderara cada zona en relación directa con su superficie y características de bloqueo. La base de la copa arbórea se modelizó como un círculo con centro en el tronco de árbol; la circunferencia correspondiente a la mitad del radio, divide al círculo en uno menor y una corona circular, en una relación de superficies de 1:3.

Por tanto se realizaron cuatro registros a la altura de la cruz del árbol: una en el centro (1) (ver *Figura 1*) y tres en la corona circular (2, 3 y 4), en lugares coincidentes con un triángulo equilátero imaginario cuyos vértices se ubicaron en la mitad del ancho de dicha corona. Además se midió en un punto fuera de la copa y de su sombra, a cielo abierto y a la misma altura

desde el nivel del suelo y tratando de registrar la menor cantidad posible de albedo de las superficies urbanas del entorno inmediato.

Las cuatro tomas se promediaron para la obtención de un sólo valor representativo de la radiación global homogeneizada que atraviesa el follaje arbóreo. Este valor se dividió con el registro a cielo abierto y a la misma altura, obteniéndose la relación entre la radiación global homogeneizada a cielo abierto y la que atraviesa la copa arbórea. Calculada como porcentaje de la radiación a cielo abierto, esta proporción fue la permeabilidad del follaje arbóreo en la estación climática considerada.

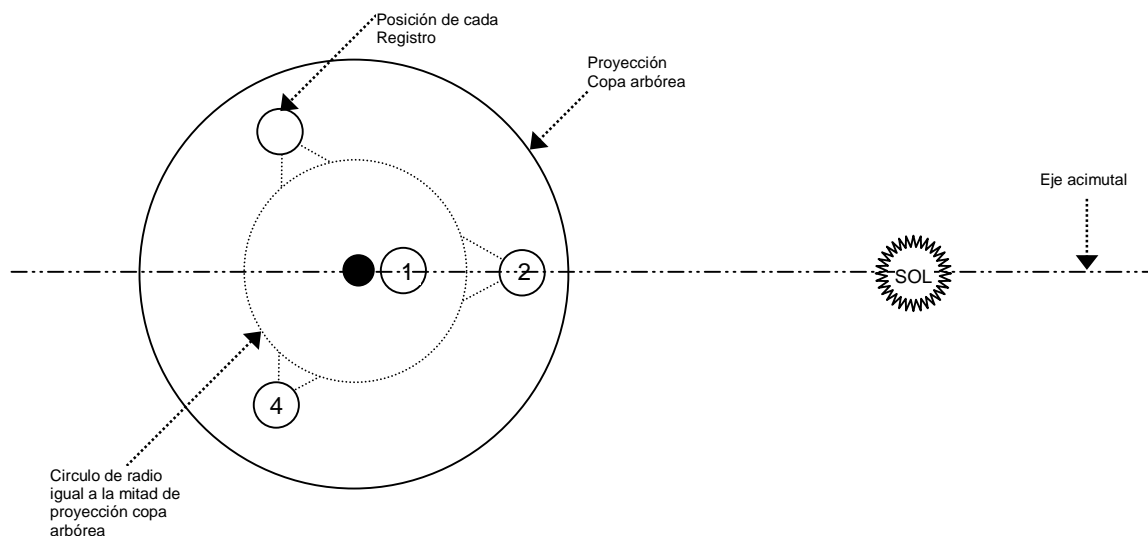


Figura 1: Esquema de mediciones solarimétricas

Instrumental de medición

Las mediciones arbóreas se ejecutaron con un equipo portátil Quantum Radiometer Photometer marca LICOR, Ligth Meter – Model LI 250, con un tiempo de respuesta de 10 μ s. Para homogeneizar la radiación incidente que penetra a través de la copa arbórea, el solarímetro se recubrió con un difusor. El mismo consiste en una semiesfera de flexiglass translúcido de 2mm de espesor y 0,23m de diámetro, ubicado a una distancia de 0,11m sobre el domo del solarímetro. El registrador electrónico del solarímetro procesa los 10 valores instantáneos medidos durante el proceso de promediación, visualizándose en el display la radiación media al finalizar dicho período. La referenciación con los valores de radiación en el mediodía solar, se realizó con una estación meteorológica digital EM-I de punto fijo localizada en la Banda Eminentemente Urbana de la ciudad de San Juan (Santa Fé esq. Sarmiento). Dicha estación es un sistema de adquisición de datos y registro histórico digital, con interfase de comunicación RS232c, que permite el acceso de los datos almacenados en el sistema desde una PC, mediante el software CROSSTALK. Está equipada con sensores de: Dirección y Velocidad de Vientos, Humedad Relativa, Temperatura de Bulbo Seco, y Radiación Solar Directa y Difusa. Se encuentra localizada a una altura de 12,0m sobre el nivel del terreno natural, sin obstrucción edilicia cercana, lugar que garantiza una buena exposición y captación de las condiciones atmosféricas del área urbana.

Para referenciarla con todos los registros de radiación solar homogeneizada, es decir 52 mediciones a lo largo de 120 minutos, el sistema de adquisición de datos se programó para realizar tomas minuto a minuto de radiación solar, una hora antes y otra después de cada campaña de medición. La corrección temporal entre valores registrados se calculó con el ΔR_G de estos registros. Los registros fueron obtenidos durante el año 2005 inmediatamente después de las mediciones fotogramétricas para asegurar la misma condición de follaje. Los días de medición fueron: Verano: 06/01 (Día 6); Otoño: 18/01 (Día 138); Invierno: 07/07 (Día 188); Primavera: 29/10 (Día 292).

- **Método Fotogramétrico**

Programa de mediciones y registros

La eficacia de los métodos fotográficos de conteo de píxeles, se basa en dos aspectos centrales: el ángulo de elevación de la toma respecto al horizonte (debido a que está demostrado que el efecto del azimut es irrelevante) y el más efectivo y real: el contraste árbol/cielo. Asimismo las fotografías tomadas con días de sol, incorporan una variable difícilmente mensurable por el brillo resultante de la reflexión de la radiación solar directa en cada hoja, rama o tronco. De esa manera sólo un día nublado (100% radiación difusa) garantizaba la eficiencia del método. Por tanto, la primera decisión fue fotografiar las copas arbóreas en días completamente nublados y preferentemente en el lapso central de las cuatro estaciones climáticas.

Luego de mediciones de prueba realizadas a tres ejemplares en las cuatro estaciones climáticas, en las cuales se variaron la distancia al tronco (3m, 6m, 9m y 12m) y la altura sobre el nivel del piso (0,3m y base de la copa arbórea), se decidió ejecutar 2 tomas por cada ejemplar: una con la cámara en posición horizontal a 0,3m de altura del suelo a 1,0m del tronco del árbol y otra con la cámara ubicada a una distancia de 6,0m del tronco del árbol, apuntando al centro de la copa.

Todas las fotos se dimensionaron en tamaño cuadrado con 1.200 x 1.200 unidades de píxeles. Con un nivel de agregación de 6 grises como máximo, el cálculo de permeabilidad se ejecutó sumando las dos primeras categorías de menor cantidad de gris, es decir considerando el mayor porcentaje de blanco, indicativo de la mayor radiación directa filtrada por los espacios interfoliare. El programa calculó automáticamente el porcentaje respectivo, en relación a los 1.440.000 píxeles de la imagen.

Instrumental de medición

Los registros se realizaron con una cámara digital Nikon Coolpix 2000; 2.0 millones de píxeles efectivos; Objetivo Zoom Nikkor de 3 aumentos; Autofoco; Distancia focal equivalente a formato de cámara 35mm. El conteo de píxeles para el cálculo de permeabilidad se ejecutó con el software ERDAS Imaging (versión 8.4) y ENVY (versión 3.2) que clasifica los píxeles en la imagen digital en color, categorizándola en una escala de 256 valores de grises. Los registros fueron obtenidos durante el año 2005 en los siguientes días: Verano: 04/01 (Día 4); Otoño: 13/05 (Día 133); Invierno: 04/07 (Día 185); Primavera: 18/10 (Día 281). Estos días, seleccionados por su condición de nublados, se consideraron como días base de medición, respecto a los cuáles se eligieron los días de registro solarimétrico.

RESULTADOS DE PERMEABILIDAD

La permeabilidad de cada ejemplar, calculada con los métodos solarimétricos y fotogramétricos se presenta en la *Tabla 1 (a y b)* y *Tabla 2 (a y b)* siguientes:

VERANO 2005		INVIERNO 2005	
ESPECIE	% PERMEABILIDAD	ESPECIE	% PERMEABILIDAD
ACACIA VISCO	16,2	ACACIA VISCO	53,0
ALAMO CAROLINO	13,0	ALAMO CAROLINO	69,6
ALAMO PLATEADO	10,8	ALAMO PLATEADO	48,8
FRESNO COMUN	7,5	FRESNO COMUN	57,5
LIQUIDAMBAR	9,0	LIQUIDAMBAR	87,6
MORA	8,0	MORA	40,5
OLMO BOLA	16,7	OLMO BOLA	35,9
OLMO COMUN	9,4	OLMO COMUN	53,4
PARAISO COMUN	20,1	PARAISO COMUN	61,2
PARAISO SOMBRILLA	12,0	PARAISO SOMBRILLA	44,5
PLATANO	10,2	PLATANO	34,5
ROBLE	9,1	ROBLE	63,8
TILO	10,6	TILO	76,8

Tabla 1a: Permeabilidades de verano e invierno según método solarimétrico

OTOÑO 2005		PRIMAVERA 2005	
ESPECIE	% PERMEABILIDAD	ESPECIE	% PERMEABILIDAD
ACACIA VISCO	23,4	ACACIA VISCO	18,5
ALAMO CAROLINO	54,0	ALAMO CAROLINO	15,4
ALAMO PLATEADO	27,9	ALAMO PLATEADO	12,6
FRESNO COMUN	40,4	FRESNO COMUN	13,9
LIQUIDAMBAR	62,4	LIQUIDAMBAR	12,5
MORA	16,1	MORA	9,4
OLMO BOLA	18,2	OLMO BOLA	18,3
OLMO COMUN	41,5	OLMO COMUN	16,9
PARAISO COMUN	59,0	PARAISO COMUN	23,1
PARAISO SOMBRILLA	41,9	PARAISO SOMBRILLA	13,6
PLATANO	24,6	PLATANO	12,6
ROBLE	40,8	ROBLE	11,8
TILO	60,1	TILO	13,5

Tabla 1b: Permeabilidades de otoño y primavera según método solarimétrico

VERANO 2005		INVIERNO 2005	
ESPECIE	%PERMEABILIDAD	ESPECIE	%PERMEABILIDAD
ACACIA VISCO	30,0	ACACIA VISCO	42,4
ALAMO CAROLINO	20,9	ALAMO CAROLINO	53,0
ALAMO PLATEADO	23,4	ALAMO PLATEADO	33,1
FRESNO COMÚN	21,6	FRESNO COMUN	45,0
LIQUIDAMBAR	23,5	LIQUIDAMBAR	48,5
MORA	22,9	MORA	47,1
OLMO BOLA	24,7	OLMO BOLA	39,5
OLMO COMUN	19,6	OLMO COMUN	48,5
PARAISO COMUN	30,6	PARAISO COMUN	44,4
PARAISO SOMBRILLA	23,5	PARAISO SOMBRILLA	40,2
PLATANO	23,1	PLATANO	33,9
ROBLE	22,0	ROBLE	47,0
TILO	23,4	TILO	45,0

Tabla 2a: Permeabilidades verano e invierno según método fotogramétrico

OTOÑO 2005		PRIMAVERA 2005	
ESPECIE	%PERMEABILIDAD	ESPECIE	%PERMEABILIDAD
ACACIA VISCO	36,4	ACACIA VISCO	33,9
ALAMO CAROLINO	30,7	ALAMO CAROLINO	23,2
ALAMO PLATEADO	24,5	ALAMO PLATEADO	27,5
FRESNO COMUN	40,6	FRESNO COMUN	27,6
LIQUIDAMBAR	24,9	LIQUIDAMBAR	27,7
MORA	28,4	MORA	25,3
OLMO BOLA	29,1	OLMO BOLA	26,9
OLMO COMUN	31,0	OLMO COMUN	24,9
PARAISO COMUN	43,2	PARAISO COMUN	32,9
PARAISO SOMBRILLA	36,2	PARAISO SOMBRILLA	30,0
PLATANO	22,1	PLATANO	25,0
ROBLE	22,5	ROBLE	28,6
TILO	43,4	TILO	29,8

Tabla 2b: Permeabilidades otoño y primavera según método fotogramétrico

REQUERIMIENTOS BIOCLIMATICOS ESTACIONALES EN EL GRAN SAN JUAN

El mayor o menor aporte al mejoramiento de las variables higrotérmicas urbanas por parte de la forestación, se relaciona directamente con las necesidades fisiológicas de calefacción o enfriamiento de las personas en función de las condiciones climáticas existentes. Por tanto, se hace necesario cuantificar los requerimientos higrotérmicos reales que experimenta una persona en un área urbana de una zona con clima árido. Para ello se procesó una estadística urbana decádica correspondiente al período 1995-2004 (Papparelli, A. *et al*, 2005), que permitió obtener las horas anuales, estacionales y mensuales de requisitos de diseño bioclimático.

El cálculo de Estrategias de Diseño (Watson, D., 1983), permitió obtener los períodos de *mayor cantidad* de horas anuales y estacionales de requerimientos bioclimáticos pasivos y activos (por tanto sin considerar el Confort), resultando los siguientes:

- **Verano:** requiere de 40,69% de horas diarias de enfriamiento (89% activo; 11% pasivo) y 7,59 de calefacción pasiva.
- **Invierno:** los requerimientos de calefacción cubren el 100% de las horas del día (20% activo y 80% pasivo).
- **Otoño:** requiere de 65,67% horas diarias de calefacción pasiva y 6,94 de enfriamiento pasivo.
- **Primavera:** requiere de 49,63% horas diarias de calefacción pasiva y 10,67 de enfriamiento (75% pasivo, 25% activo).

Las estrategias de diseño bioclimático consideran el porcentaje de horas al día en los distintos meses del año durante el cuál una persona vestida con ropa liviana (1 clo) y en un espacio construido, requiere de calentamiento o enfriamiento bioclimático, con el propósito de lograr confort higrotérmico. Por tanto, los requerimientos pasivos deben ser resueltos por la arquitectura, al tiempo que las demandas de sistemas activos requieren estrategias que deberán incorporarse a los edificios. Por ello es en estos sistemas en los que tiene más efecto el clima urbano. Es en ese contexto que el mayor aporte de la forestación urbana tenderá a disminuir los requisitos de enfriamiento/calentamiento estacionales edilicios.

Esto llevó a analizar las horas al año con requerimientos de **estrategias activas**, resultando que el **Verano** requiere de 36,27% de horas de enfriamiento activo; el **Invierno** 19,79% de horas de calefacción activa; el **Otoño** no tiene requerimientos de acondicionamiento activos; la **Primavera:** 8,03% horas de enfriamiento activo.

Conforme a lo anterior, los porcentajes anuales de cada estrategia activa resultaron: Verano 9% de enfriamiento, Invierno 5% de calefacción y Primavera 2% de enfriamiento. Por tanto, el 11% de las horas al año demanda refrescar el entorno urbano con estrategias activas y el 5% necesita calefaccionarlo.

INDICADOR BIOCLIMÁTICO ARBÓREO

En ambos métodos, solarimétrico y fotogramétrico, se verifica que los árboles estudiados son en su mayoría óptimos para el verano, es decir tienen una sombra densa que colabora positivamente en el clima urbano. En invierno la cantidad de árboles óptimos disminuye en razón de dos aspectos: la excesiva densidad del ramaje y/o la permanencia de hojas luego del otoño, hasta bien entrada la estación de frío.

La planificación urbana requiere contar con especies arbóreas que cumplan condiciones favorables durante todo el año, por lo que ante la necesidad de tener un criterio de eficacia higrotérmica del arbolado público urbano que permita unificar su aporte al refrescamiento y al calentamiento de los espacios abiertos, las permeabilidades obtenidas se ponderaron con los requerimientos de diseño bioclimático activo a lo largo del año. Las proporciones de la cantidad de horas anuales de cada estrategia activa de diseño se incorporaron a un cálculo que contempló las exigencias de una misma especie para invierno y verano.

Se elaboró así un Indicador de Eficiencia Bioclimática Arbórea (IBA) que pondera los requerimientos anuales de las estrategias de diseño bioclimáticas activas de refrescamiento por sobre las de calefacción ya que aquéllas las supera en un 60% en las horas anuales. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$IBA = (PV \times EEAV) + (PP \times EEAP) / (PI \times ECAI)$$

Donde: PV: Permeabilidad Verano; PI: Permeabilidad Invierno; PP: Permeabilidad Primavera; EEAV: % Estrategias Enfriamiento Activo Verano; EEAP: % Estrategias Enfriamiento Activo Primavera; ECAI % Estrategias Calefacción Activa Invierno.

RESULTADOS

El IBA se calculó para los dos métodos de medición estudiados, resultando los valores que se consignan en la *Tabla 5*.

ESPECIE	I B A	
	Con Método SOLARIMÉTRICO	Con Método FOTOGAMÉTRICO
ACACIA	1,46	2,70
ALAMO CAROLINO	1,17	1,88
ALAMO PLATEADO	0,97	2,11
FRESNO COMUN	0,68	1,94
LIQUIDAMBAR	0,81	2,12
MORA	0,72	2,06
OLMO BOLA	1,50	2,23
OLMO COMUN	0,85	1,76
PARAISO COMUN	1,81	2,75
PARAISO SOMBRILLA	1,08	2,12
PLATANO	0,92	2,08
ROBLE	0,82	1,98
TILO	0,95	2,11

Tabla 5: valores de IBA para los dos métodos de medición de la permeabilidad.

La *Tabla 6* muestra las especies arbóreas categorizadas según su aporte bioclimático a la ciudad.

MÉTODO SOLARIMÉTRICO		MÉTODO FOTOGAMÉTRICO	
ESPECIE	I B A	ESPECIE	I B A
FRESNO COMÚN	0,68	OLMO COMÚN	1,76
MORA	0,72	ALAMO CAROLINO	1,88
LIQUIDAMBAR	0,81	FRESNO COMÚN	1,94
ROBLE	0,82	ROBLE	1,98
OLMO COMÚN	0,85	MORA	2,06
PLATANO	0,92	PLATANO	2,08
TILO	0,95	TILO	2,11
ALAMO PLATEADO	0,97	ALAMO PLATEADO	2,11
PARAISO SOMBRILLA	1,08	LIQUIDAMBAR	2,12
ALAMO CAROLINO	1,17	PARAISO SOMBRILLA	2,12
ACACIA VISCO	1,46	OLMO BOLA	2,22
OLMO BOLA	1,50	ACACIA VISCO	2,70
PARAISO COMÚN	1,81	PARAISO COMÚN	2,75

Tabla 6: categorización de especies arbóreas según IBA p/ ambos métodos de medición

CONCLUSIONES

Tanto el método solarimétrico como el fotogramétrico demostraron ser idóneos para obtener la permeabilidad arbórea a la radiación solar. Las diferencias detectadas se relacionan con los valores absolutos calculados; no obstante la relación de las especies resultó similar.

En relación al instrumental de medición a usar, la especificidad intrínseca del solarímetro garantiza ampliamente los resultados. Pero, al mismo tiempo, la posibilidad de disponer de este equipamiento puede ser menor que la de contar con una cámara digital. En cualquier caso ambos métodos pueden ser de aplicación confiable en estudios como el presente, de tipo comparativo y relacional.

El Indicador de Eficiencia Bioclimática Arbórea resulta una muy apropiada herramienta de planificación urbana, pues se calcula con el porcentaje de horas que durante el año un edificio requiere estrategias activas de enfriamiento o calefacción. Por tanto considera el aporte que el árbol puede efectuar al clima urbano en relación a la radiación solar, a lo largo de todo el año.

Con ambos métodos estudiados, solarimétrico y fotogramétrico, la categorización bioclimática es muy similar, con la excepción de una especie, el álamo carolino, lo cual puede deberse a circunstancias atribuibles a influencias estacionales del entorno, que no permitieron obtener registros comparables entre sí.

REFERENCIAS

- Cantón, Cortegoso, de Rosa (1993) Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. *Energy and Buildings*.
- Heisler, Gordon M. (1982) Reduction of Solar Radiation by tree crowns. *The renewable Challenge*. Progress en Solar Energy volume 5. Ed. G. Franta. American Solar Energy Society.
- Holtzberlein, T. (1979) Don't let the trees make a monkey of you" En Prpocedings of the fourth National Passive oklar Conference. Ed. G. Franta. Newark. Delaware: American Section of the International Solar Energy Society.
- Mc Pherson, E. (1980) The use of plant materials for solar control. Unpublished MS thesis. Logan Utah state University.
- Papparelli A., Kurbán, A. et al (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. Colaboradores: E. Montilla, C. Herrera. (2002) Aporte de la Forestación al Control del Clima Urbano en Zona Arida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Revista de ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar) Vol. 6 pp. 05.43 - 05.48
- Papparelli, Kurbán, Cúnsulo, Herrera, Montilla (2000, 2001, 20002, 2003, 2004) Estadística Climática de la Ciudad de San Juan PROPAC – Programa de Actualización Climático-Urbanística. FAUD-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.
- Simpson J. R., (1998) Urban forest impacts on regional spaces conditioning energy use: Sacramento county case study *Journal of Arboricultural* 24.
- Simpson James (2002) Improved estimates of tree-shade effects on residential energy use. *Energy and Buildings* N°34 pp. 1067-1076. Elsevier Science. Lausanne.
- Wagar and Heisler (1986) Rating winter crown density of deciduous trees: a photo-graphic procedure. *Landscape Journal*. Vol. 5 N°1. Board of Regents of the University of Wisconsin System.
- Watson, D., Faia y Kenneth Labs. (1983) *Climatic Design*. Ed. Mc. Graw-Hill Book Company. USA.

ABSTRACT: The urban forestation, in cities of arid zones, constitutes one of the more accessible bioclimatic resources to incorporate in the public and private open spaces to provide physical comfort to the people and as a contribution to the regional energetic savings. The permeability to the global solar radiation is calculated using two methods: The solarmetrical and the photometrical, which demonstrated to be suitable in order to select the tree species potentially more adequate. An urban planning tool, the Bioclimatic Arboreal Index (IBA) is obtained. This index unifies the response of the trees to the solar radiation with the requirements of bioclimatic conditioning along the whole year. The results can be incorporated in the Urban Public Forestation Code, to be applied in the design of consolidated or new urban frames.

Keywords: tree permeability, urban forestation, urban climate.