

CONFORT TÉRMICO EN ESPACIOS VERDES URBANOS DE AMBIENTES ÁRIDOS

THERMAL COMFORT IN URBAN GREEN SPACES IN ARID ENVIRONMENTS

ALEJANDRA KURBÁN LÓPEZ
Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), San Juan, Argentina
akurban@unsj.edu.ar

CÚNSULO GRASSO
Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), San Juan, Argentina
mcunsulo@unsj.edu.ar

RESUMEN

En la planificación bioclimática de las ciudades y particularmente las ubicadas en ambientes áridos, los espacios verdes representan un potencial higrotérmico desaprovechado como mitigadores del clima urbano. El presente trabajo cuantifica el confort térmico de espacios verdes urbanos (EVU) de una ciudad del centro-oeste de Argentina localizada en la Diagonal Árida Sudamericana, a partir del índice UTCI. Este índice se calcula a partir de mediciones climáticas en 19 EVU, realizadas en el verano del año 2014. El valor de dicho índice en cada EVU se referencia con el calculado para su entorno urbano. El porcentaje de diferencia entre ellos permite agrupar el desempeño bioclimático de los EVU en cinco categorías, en función de su divergencia con las condiciones climáticas generales de la ciudad. Los resultados permiten individualizar los parámetros arbóreos mínimos que deben poseer los EVU, como objetivo de una planificación bioclimática del verde urbano en ciudades de ambientes áridos.

Palabras clave

espacios verdes urbanos, clima, arquitectura bioclimática, planificación urbana.

ABSTRACT

In the bioclimatic planning of cities and particularly those located in arid environments, green spaces represent a missed hygrothermal opportunity as mitigators of urban climate. This article quantifies the thermal comfort of urban green spaces (UGS) in a city in west-central Argentina located in the South American Arid Diagonal, based on the UTCI index. This index was calculated from climatic measurements taken in 19 UGS in the summer of 2014. In each UGS, the value of the UTCI index was compared with that calculated for the urban surroundings. The percentage difference between them was used to group the bioclimatic performance of UGS into five categories according to the divergence with the city's general climatic conditions. The results made it possible to identify the minimum tree parameters for UGS, as an objective of the bioclimatic planning of urban green areas in cities in arid environments.

Keywords

urban green spaces, climate, bioclimatic architecture, urban planning.

INTRODUCCIÓN

Durante el verano, en ciudades de clima árido, la alta radiación solar de los meses cálidos incrementa el desconfort higrotérmico, por lo que aumentan también los requisitos de enfriamiento en los espacios abiertos públicos y, en consecuencia, en los interiores edilicios. En los meses fríos, el recurso solar disminuye, volviéndose ineludible su mayor aprovechamiento.

En el conjunto de elementos del sistema urbano de ciudades de clima árido, la forestación es un recurso bioclimático accesible, a fin de proveer confort higrotérmico a la población y como contribución al ahorro energético regional.

Efectivamente, la forestación urbana influye en la modificación del clima y en el consumo de energía en los edificios a través de: a) sombreado: reduce la cantidad de energía radiante absorbida y almacenada por las superficies construidas; b) evapotranspiración: convierte el agua de las plantas en vapor, enfriando de esta forma el aire; y c) reducción de la velocidad del viento: disminuye, a su vez, la infiltración de aire exterior, la efectividad de la ventilación y el enfriamiento convectivo de las superficies edilicias (Simpson, 1998; 2002).

Los árboles pueden afectar el uso de energía en los edificios. En ese sentido, 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 (Heisler, 1986).

En concreto, la provincia de San Juan está localizada en la zona centro-oeste de la Argentina, sobre la Diagonal Árida Sudamericana¹. El Área Metropolitana de San Juan está ubicada a 31° 32' de latitud sur y 68° 31' de longitud oeste. Concentra el 67% de la población de la provincia en el 0,14% de su territorio.

San Juan posee uno de los climas más rigurosos de las zonas áridas sudamericanas: ocupa el primer lugar por su índice de continentalidad (40,5), sus temperaturas promedio máximas anuales (26,2°C) y sus temperaturas mínimas anuales (10,2°C). Se ubica, asimismo, en el segundo lugar por los porcentajes de heliofanía relativa (71,8%) y en el tercer lugar por sus índices hídricos y de aridez (-53,8 y 0,102, respectivamente), por la precipitación anual (96 mm) y por la radiación solar (promedio anual 456,3 calxcm⁻²xdía⁻¹) (Kurbán, 2016).

En función de los parámetros citados, puede caracterizarse el clima de San Juan como: árido continental mesotermal con elevadas oscilaciones diurnas y anuales de temperatura; fuerte radiación solar en verano y nubosidad moderada distribuida uniformemente a lo largo del año. Veranos calurosos con aire relativamente deshidratado e inviernos fríos con aire más húmedo. Régimen estival de precipitaciones. Viento prevalente del sector sur con ráfagas intensas asociadas con tempestades de polvo luego del viento local Zonda (tipo *foehn*).

Por lo anterior, en la provincia existe un importante potencial que, aprovechado bioclimáticamente, proveería confort higrotérmico a la población, mejorando la calidad del hábitat y disminuyendo la dependencia de energías convencionales en el acondicionamiento de espacios.

Si se diseñan las condiciones de los espacios abiertos públicos, procurando disminuir los efectos negativos del clima de la ciudad, ello redundará positivamente en dos aspectos: por un lado, la población contará con mejores condiciones para desarrollar actividades al aire libre sean éstas circulatorias o de recreación y, por otro lado, los efectos de la rigurosidad del clima sobre los edificios se verán reducidos, dada la disminución de la carga térmica de los mismos.

Conocer el aporte que la forestación puede realizar al disminuir las condiciones de rigurosidad del clima urbano y, por tanto, al colaborar en la satisfacción de las necesidades de confort higrotérmico de la población, permite aprovechar un recurso natural y renovable. En caso contrario, dichas condiciones de confort son ofrecidas por equipos de acondicionamiento térmico que requieren energías provenientes de combustibles fósiles, el cual, a su vez, convierte a los asentamientos humanos en altamente insustentables (Kurbán *et al.*, 2015; 2016). Consecuentemente, ese mismo crecimiento insustentable pone en peligro los logros en salubridad y habitabilidad de las ciudades.

En general, los poderes de gestión involucrados en la construcción del hábitat no planifican bioclimáticamente las ciudades. Esta situación es más notoria en aquellas localizadas en la Diagonal Árida Sudamericana, debido al menor desarrollo científico del urbanismo bioclimático. Esto, sumado a las condiciones socioeconómicas de los países de la región con altos porcentajes de pobreza urbana, crea condiciones de desconfort para la mayoría de la población que no puede acceder a servicios de acondicionamiento climático convencional.

[1] En Sudamérica se extiende una gran región árida que abarca la costa del Perú, una parte de Bolivia, la Puna, el noroeste argentino y la zona patagónica atlántica. Otras zonas semiáridas sudamericanas son el noreste brasileño y las costas del Mar del Caribe, las cuales poseen menor extensión territorial.

La “planificación bioclimática” puede definirse como un conjunto de estrategias tendientes a lograr el acondicionamiento higrotérmico de los espacios abiertos en la ciudad, disminuyendo la carga climática sobre los interiores edilicios. De tal modo, busca aprovechar la oferta climática, en este caso del árido y sus recursos, para responder a los requerimientos de confort higrotérmico de la población, atendiendo a la continua interrelación existente entre el hombre, su entorno y el impacto que su acción ejerce sobre el mismo.

En el conjunto de estas estrategias, la intervención en el sistema de espacios verdes es una de las más factibles de materializar, ya que puede realizarse tanto en urbanizaciones existentes como en asentamientos nuevos, procurando de manera sencilla y relativamente rápida el mejoramiento en las condiciones de vida de sus habitantes.

Entre los roles ecológicos complementarios de los espacios verdes, junto con los bioclimáticos de mitigación de la isla de calor, se destacan el aumento de la absorción de gases de invernadero, principalmente CO₂, la liberación de oxígeno, el filtrado de partículas en suspensión y la absorción de ruido por parte del follaje de los árboles.

En este contexto, se hace necesario proponer lineamientos de planificación bioclimática de los espacios verdes públicos que modifiquen el clima urbano de ciudades localizadas en zonas áridas, como aporte al confort higrotérmico de la población y contribución con la sustentabilidad ambiental urbana.

CLIMA URBANO DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JUAN

En las ciudades, los efectos de la antropización alteran el Balance de radiación, el Flujo natural y turbulencia del aire, el Balance del vapor de agua y aumenta la emisión de calor, de vapor de agua y de contaminantes. Esto genera modificaciones al clima macroescalar, originando lo que se denomina “clima urbano”, cuyo principal fenómeno lo constituye la “isla de calor urbana”, que posee directa incidencia en la calidad de vida de sus habitantes, principalmente en zonas áridas (Oke, 2006).

La isla de calor urbana puede definirse como el calentamiento relativo de la ciudad comparado con las condiciones pre-urbanas o no urbanas, o de otra manera, como las diferencias entre la temperatura urbana y la rural

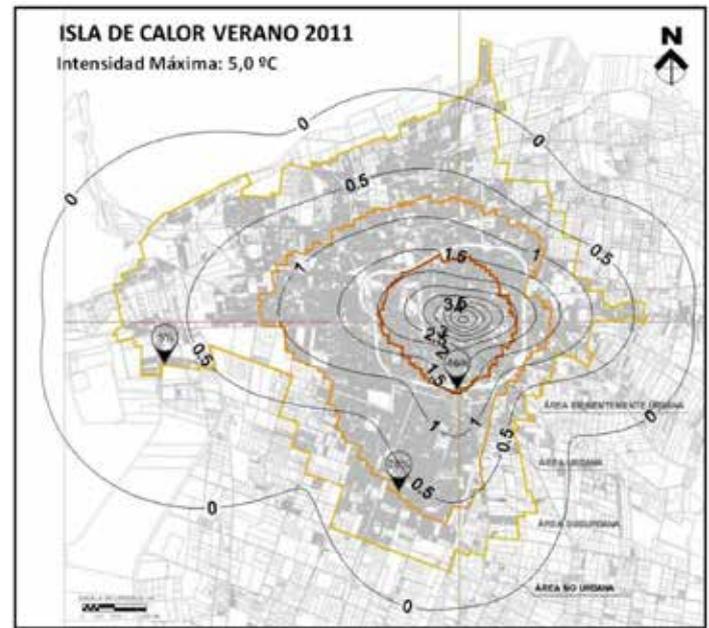


Figura 1. Isla de calor verano del AMSJ, obtenida con procesamiento de imágenes satelitales en 2011. Fuente: Cúnsulo et al. (2013:4).

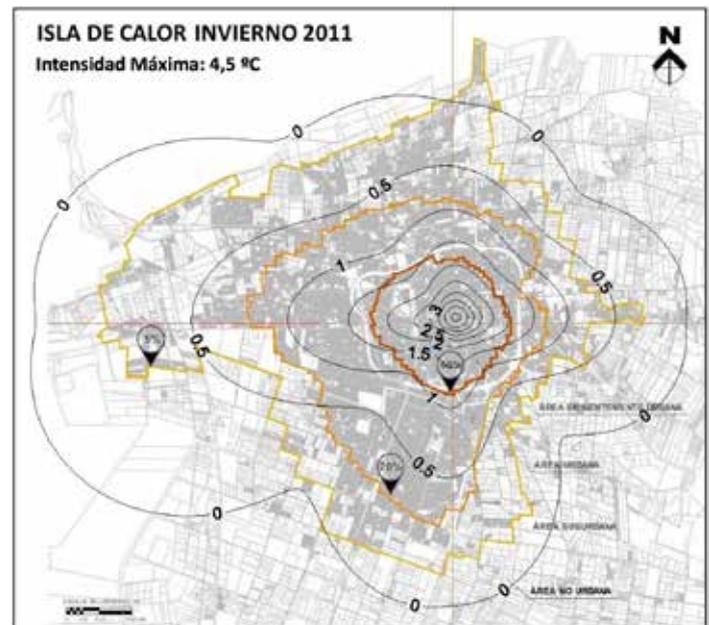


Figura 2. Isla de calor invierno del AMSJ, obtenida con procesamiento de imágenes satelitales en 2011. Fuente: Cúnsulo et al. (2013:5).

[2] Stewart y Oke definieron zonas urbanas homogéneas a las que denominaron “local climate zones”, en relación al uso del suelo y las características edilicias y arbóreas.

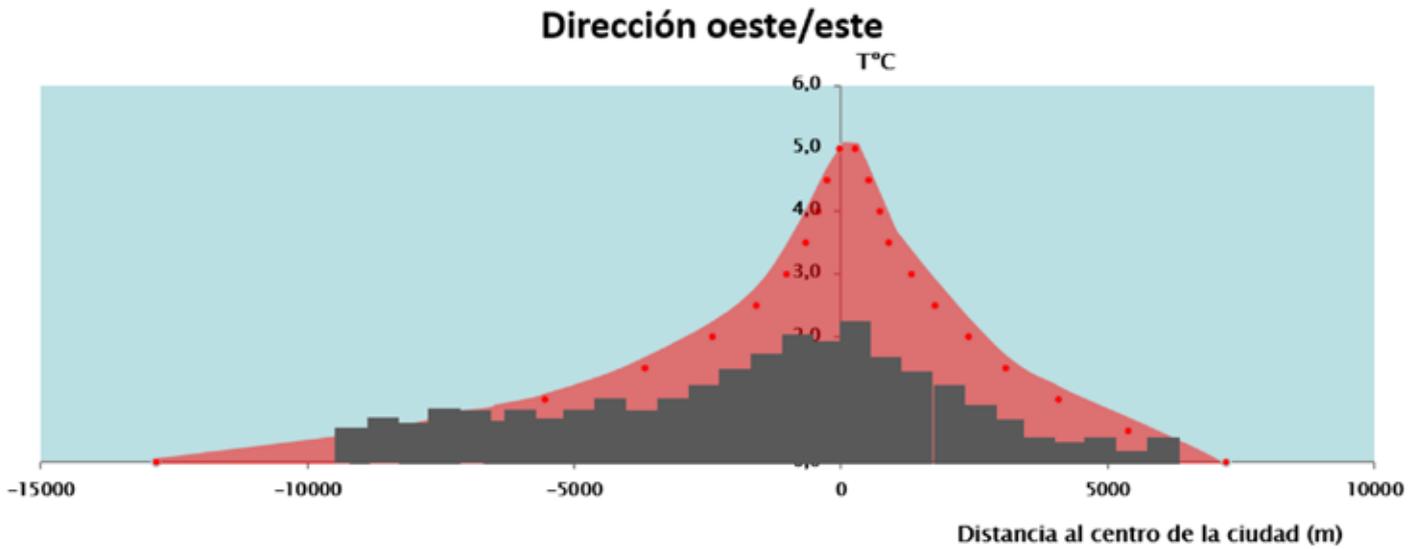


Figura 3. Perfil de la isla de calor del AMSJ, verano 2011. Dirección Este-Oeste. Fuente: Cúnsulo et al. (2013).

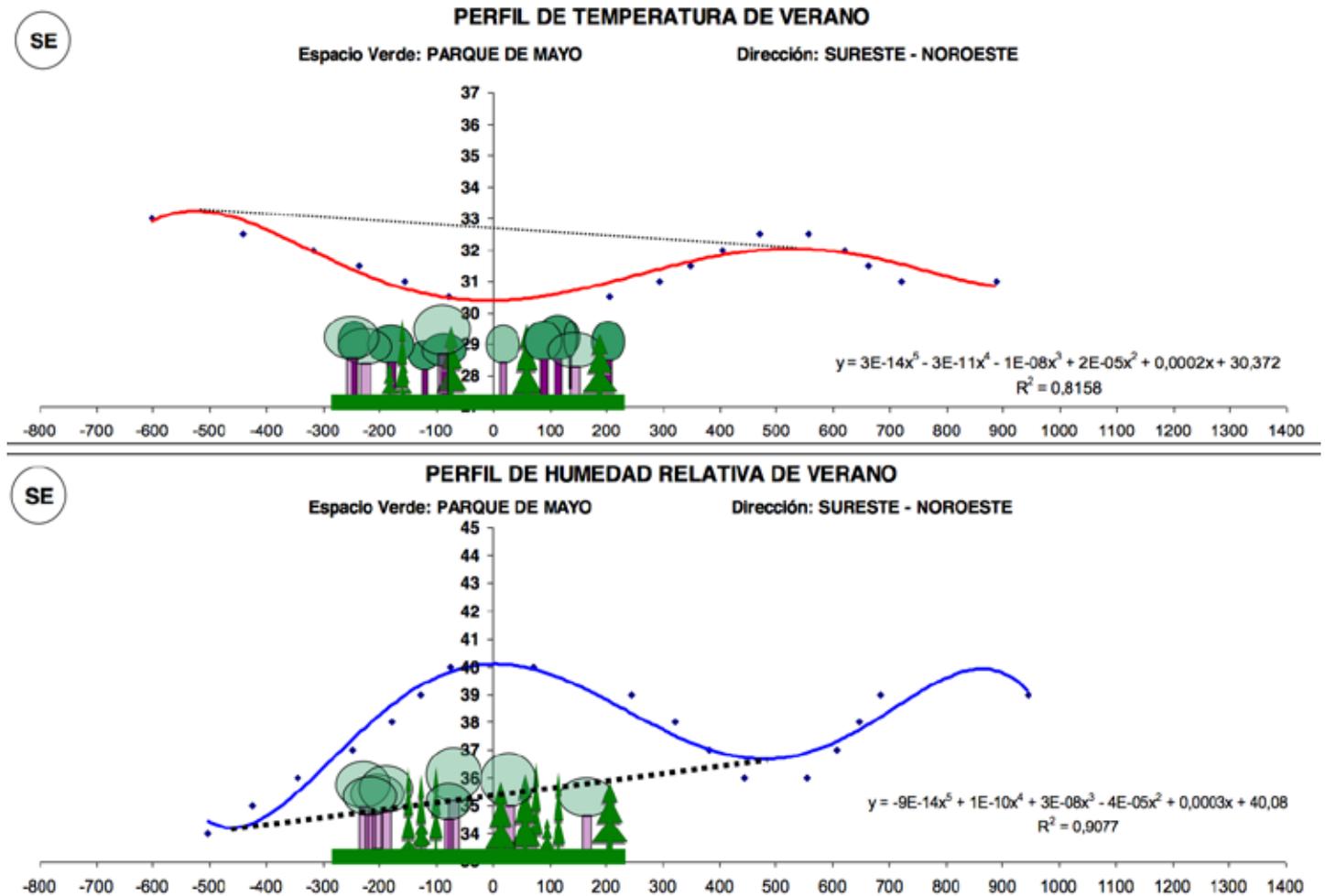


Figura 4. Perfil SE-NO de temperatura y humedad relativa en el Parque de Mayo

(Mazzeo, 1984). Algunos autores (entre ellos, Garland, 2011), la designan como oasis "invertido" ya que las temperaturas del aire y de las superficies son más cálidas que aquellas en sus entornos rurales. Stewart y Oke (2012), por su parte, identifican la isla de calor como la diferencia de temperatura entre dos zonas climáticas diferentes (LCZ)², caracterizadas cada una por presentar uniformidad en su cobertura de suelo, estructura urbana y actividades humanas.

La isla de calor urbana del Área Metropolitana de San Juan, para el año 2011, fue calculada por Cúnsulo et al. (2013), a partir del procesamiento de imágenes satelitales. Los valores máximos fueron de 5°C para el verano y 4,5°C para el invierno. Ello demuestra la incidencia de las características de la ocupación urbana, particularmente en superficie (Factor de ocupación del suelo) y en volumen (Densidad volumétrica edilicia) (Figuras 1, 2 y 3).

Para los efectos del presente trabajo, se define como "espacios verdes urbanos" (EVU) a aquellas zonas de uso público, predominantemente ocupadas con árboles, arbustos, plantas y césped, las cuales son utilizadas de forma habitual con propósitos urbanísticos, sociales, culturales, ecológicos, como también de recreación y esparcimiento, de ornamentación, protección, recuperación y rehabilitación del entorno.

El rol de los EVU del Área Metropolitana de San Juan (AMSJ) fue estudiado por Kurbán et al. (2007 a, b; 2010; 2013; 2015), midiendo la temperatura y humedad relativa *in situ* y por medio de imágenes satelitales. En la Figura 4 puede observarse gráficamente, mediante uno de los EVU estudiados (Parque de Mayo), el efecto térmico y húmedo representado por la línea a trazos roja y azul, respectivamente.

La cantidad de espacios verdes urbanos del AMSJ es de 508. No obstante ello, los EVU que aportan a la mitigación del clima urbano son solo 19 (Kurbán et al., 2007 a; 2007 b). Estos modifican el clima urbano en radios que alcanzan como máximo aproximadamente 700m, contados a partir del centro del EVU. La cobertura bioclimática de cada EVU, entendida ésta como la superficie abarcada por los efectos térmicos y húmedos, se muestra en la Figura 5. Especialmente, dicha cobertura ocupa solo una mínima superficie del tejido urbano: la cobertura térmica es del 6,92% y la húmeda del 5,55% (Kurbán et al., 2010).

Estudios posteriores (Kurbán y Cúnsulo, 2015) demuestran que el efecto bioclimático de los EVU disminuye del centro urbano a la periferia, es decir, varía en función de la densidad de edificación del área en la que se localiza. Por tanto, es mayor en las áreas más edificadas y con mayor altura edilicia. En este efecto mitigador cobra mayor importancia la superficie de forestación que la volumetría arbórea. Lo anterior significa que la cantidad de ejemplares distribuidos en los espacios verdes, incide más que la altura de cada uno de ellos, de manera que el efecto higrotérmico está fuertemente asociado a la isla de calor de la ciudad.

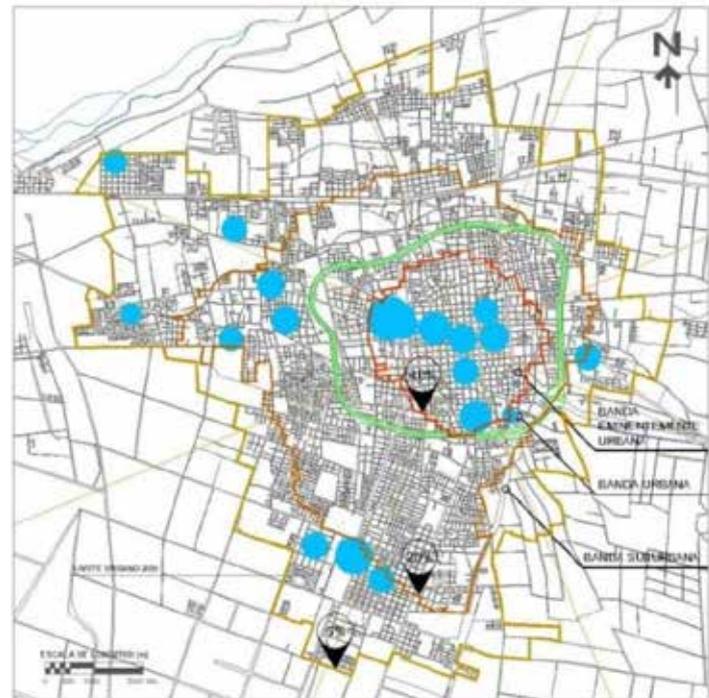
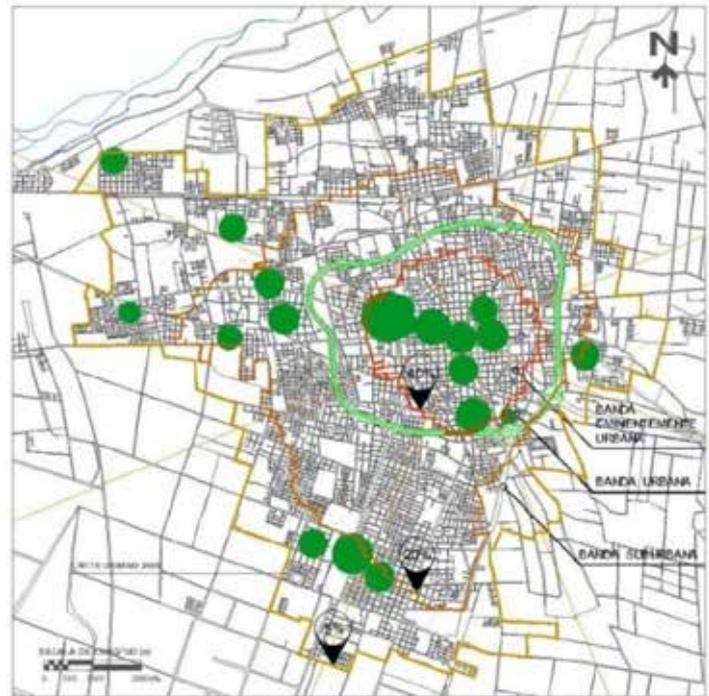


Figura 5. Cobertura térmica y húmeda del AMSJ.
Fuente: Kurbán et al. (2010:10).

CONFORT TÉRMICO EN LOS EVU DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JUAN.

Reconocida la influencia de los EVU estudiados en la mitigación del clima urbano árido, se hace necesaria la identificación de los parámetros arbóreos que caracterizan dichos espacios verdes, a fin de sistematizar su diseño para incorporarlo a la planificación bioclimática de la ciudad. Para ello se categoriza el desempeño bioclimático de cada EVU, en función del confort térmico calculado para cada uno de ellos.

El “confort térmico” es concebido como la ausencia de malestar con el ambiente térmico (ASHRAE, 2014).

Para el estudio del confort en los EVU de la ciudad de San Juan, se aplica el índice racional UTCI (Universal Thermal Climatic Index) (Jendritzky, de Dear y Havenith, 2012) para espacios abiertos, basado en la valoración de la respuesta fisiológica de la persona. El UTCI define 10 escalas de estrés térmico, que abarcan desde el estrés por calor extremo al causado por mucho frío. La escala de valoración se presenta en la Tabla 1.

En el cálculo del UTCI intervienen las siguientes variables climáticas:

- Temperatura del aire (°C)
- Temperatura de globo (°C) / radiación solar global (W/m²)
- Velocidad de viento (m/s)
- Punto de rocío (°C) / humedad relativa (%)

MEDICIONES CLIMÁTICAS EN LOS 19 EVU.

Para el cálculo del índice UTCI, los parámetros climáticos de los 19 EVU se obtuvieron durante el mes diciembre de 2014 con horario central a las 12:00 HSV, correspondiente a las 13:30 HOA, con cielo despejado e índice de claridad = Kt³ 0,75.

El instrumental utilizado fue:

- 1 medidor de índice de calor WBGR - Modelo: WBGT-2010SD ISO-9001, CE, IEC 1010. Marca Lutron. Con tarjeta de memoria.
- 1 anemómetro – Modelo: LM-81AM – Marca Lutron ISO-9001, CE, IEC 1010 - Display LCD 8mm.
- 3 estaciones meteorológicas de control.

De acuerdo con su tamaño y geometría, en cada EVU, se registraron de 9 a 26 puntos de medición. Los registros se efectuaron a una altura de 2,0m por sobre el nivel del suelo. En cada caso se hizo constar la particularidad de la superficie de cada punto de medición (césped, tierra, solado).

RANGOS DE UTCI (°C)	CATEGORÍA DE ESTRÉS
sobre +46	ESTRÉS TÉRMICO EXTREMO
+38 a +46	ESTRÉS TÉRMICO MUY SEVERO
+32 a +38	ESTRÉS TÉRMICO SEVERO
+26 a +32	ESTRÉS TÉRMICO MODERADO
+9 a +26	SIN ESTRÉS TÉRMICO
+9 a 0	ESTRÉS TÉRMICO POR FRÍO LEVE
0 a -13	ESTRÉS TÉRMICO POR FRÍO MODERADO
-13 a -27	ESTRÉS TÉRMICO POR FRÍO FUERTE
-27 a -40	ESTRÉS TÉRMICO POR FRÍO MUY FUERTE
Debajo de -40	ESTRÉS TÉRMICO POR FRÍO EXTREMO

Tabla 1. Categorías de estrés térmico según el índice UTCI. Fuente: Jendritzky, de Dear y Havenith (2012).

Simultáneamente a la toma de datos, se configuraron tres estaciones meteorológicas ubicadas a una distancia no mayor de 1.500m de cada EVU, para medir en intervalos de 60 segundos. Esto permitió el traslado de los valores registrados en cada punto de los EVU, a la hora 13:30HOA, que corresponde a las 12:00HSV. Para cada día de medición, las estaciones meteorológicas de control fueron:

- Día 11/12/2014: Estación Meteorológica INEAA
- Día 17/12/2014: Estación Meteorológica Rivadavia y Capital
- Día 18/12/2014: Estación Meteorológica INEAA
- Día 19/12/2014: Estación Meteorológica Capital y Estación Meteorológica INEAA

MÉTODO DE TRASLADO DE VALORES CLIMÁTICOS.

Para que estadísticamente los valores obtenidos resultaran comparables entre sí, se realizaron dos tipos de ajustes: horario y diario. El primero, asumiendo todas las mediciones realizadas en los EVU a la misma hora (12:00 HSV, correspondiente a las 13:30HOA) y el segundo, considerando que se efectuaron el mismo día. Con ese fin, se utilizaron los registros minuto a minuto de tres estaciones meteorológicas de control, seleccionadas en función de la localización del espacio verde. Así, se ejecutaron traslados de los registros al mediodía solar y se ponderaron de acuerdo con el valor medio obtenido de cada día de medición.

a) Temperatura del bulbo seco trasladada (TT)

El valor en el EVU a la hora que correspondiere (hora n), se calcula como:

$$TT_{EVU\ MS} = T_{EMC\ MS} / T_{EMC\ hora\ n} * T_{EVU\ hora\ n}$$

Siendo:

$TT_{EVU \text{ trasladada MS}}$ = Temperatura medida en el EVU trasladada al mediodía solar.

$T_{EMC \text{ MS}}$ = Temperatura de estación meteorológica de control al mediodía solar (13:30HSA).

$T_{EMC \text{ hora n}}$ = Temperatura en estación meteorológica de control a una hora n determinada

$T_{EVU \text{ hora n}}$ = Temperatura medida en el EVU a una hora n determinada

B) Temperatura de globo negro trasladada (TGT)

b1) Correlación temperatura bulbo seco – temperatura de globo.

El valor en el EVU a la hora que correspondiere (hora n) se calcula a partir de la correlación Temperatura del aire – Temperatura de globo. Esta se obtiene del archivo de datos de las mediciones minuto a minuto del medidor WBGT, correlacionando estadísticamente ambas temperaturas a partir de la línea de tendencia de la nube de puntos. El coeficiente de determinación R^2 , se calcula con la cuantía de error fijo de 1. Se ejemplifica con el EVU Plaza Villa Obrera (Figura 6). La ecuación en este caso resulta:

$$TG = 0,943 T + 2,8629 \quad (1)$$

$$R^2 = 0,8216$$

b2) Cálculo temperatura de globo trasladada.

Con las ecuaciones de correlación (ej. Ecuación 1) y la temperatura de bulbo seco trasladada (TT), se calcula la temperatura de globo. Siguiendo el mismo ejemplo anterior, la ecuación queda:

$$TGT = 0,943 TT + 2,8629$$

Humedad relativa trasladada (HRT).

El valor en el EVU a la hora que correspondiere (hora n), se calcula como:

$$HRT_{EVU \text{ MS}} = HR_{EMC \text{ MS}} / HR_{EMC \text{ hora n}} * HR_{EVU \text{ hora n}}$$

Siendo:

$HRT_{EVU \text{ trasladada MS}}$ = humedad relativa medida en EVU trasladada al mediodía solar.

$HR_{EMC \text{ MS}}$ = humedad relativa de estación meteorológica de control al mediodía solar (13:30HSA).

$HR_{EMC \text{ hora n}}$ = humedad relativa en estación meteorológica de control a una hora n determinada

$HR_{EVU \text{ hora n}}$ = humedad relativa medida en el EVU a una hora n determinada

PONDERACIÓN DE VALORES TRASLADADOS, SEGÚN DÍA DE MEDICIÓN.

En aras de que estadísticamente los valores medidos trasladados al mediodía solar resultaran comparables entre sí para los diferentes días de medición, se los ponderó según el porcentaje de diferencia que cada variable tenía con dicho valor medio. A los nuevos valores se los denominó

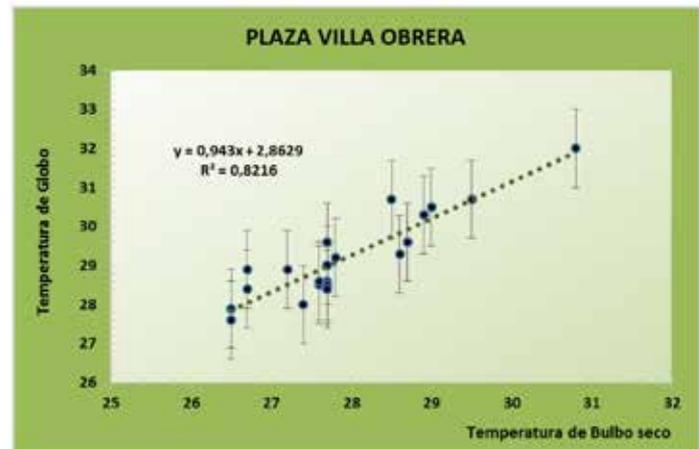


Figura 6. Correlación temperatura bulbo seco-temperatura de globo. Plaza Vª Obrera. Fuente: Elaboración de los autores.

DIA	EM	T	HR	RS _g	VIENTO	
		(°C)	(%)	(W/m²)	(Km/h)	(m/s)
11/12/2014	Capital	31,8	45	967	6,4	1,8
17/12/2014	Rivadavia	31,2	35	1007	0	0
	Capital	30,5	45	980	4,8	1,3
18/12/2014	INEAA	34,4	32	953	6,4	1,8
19/12/2014	Capital	39,5	26,1	1001	4,8	1,3
	INEAA	41,2	12	1001	4,8	1,3
PROMEDIOS		34,8	32,5	985	4,5	1,3

Tabla 2. Registros y promedios de variables climáticas a las 12HSV en las estaciones meteorológicas de control. Fuente: Elaboración de los autores.

EM	% DE DIFERENCIA RESPECTO AL PROMEDIO		
	T	HR	RS _g
Capital	8,53	-29,43	2
Rivadavia	10,26	-0,67	-2
Capital	12,27	-29,43	0
INEAA	1,05	7,96	3
Capital	-13,61	24,93	-2
INEAA	-18,50	65,48	-2

Tabla 3. Porcentajes diferencia variables climáticas EM control, en relación con promedios respectivos. Fuente: Elaboración de los autores.

“trasladados” y “ponderados”. En la Tabla 2 se muestran los valores de temperatura, humedad relativa, radiación solar global y vientos, registrados a la hora 12HSV, todos los días de medición, en las tres estaciones meteorológicas de control, y los respectivos promedios.

Según los valores medios, los porcentajes de diferencia respectivos resultan (Tabla 3):

CÁLCULO DEL ÍNDICE UTCI

Nº	EVU	T	TG	VIENTO	HR	UTCI	
		(°C)	(°C)	(m/seg)	(%)	RANGO	PERCEPCIÓN
1	Parque de Mayo	32,0	34,4	0,56	23,8	32,2	E.T.S.
2	Plaza España	32,0	34,4	0,42	23,6	31,9	E.T.M.
3	Plaza San Martín	32,0	34,4	1,31	23,7	32,8	ESTRÉS TÉRMICO SEVERO
4	Plaza Vª Obrera	32,6	35,1	0,74	22,9	33,7	
5	Plaza Bª Camus	31,8	34,2	0,77	24,2	32,2	
6	Plaza Bª San Roque	32,7	35,1	0,60	22,7	32,9	
7	Plaza Huazihul	32,2	34,6	0,60	23,4	32,4	
8	Plaza S. M. del Carril	30,8	33,0	0,93	22,3	31,0	ESTRÉS TÉRMICO MODERADO
9	Plaza Belgrano	31,2	33,5	0,96	22,4	31,5	
10	Plaza Laprida	33,9	36,5	0,52	21,7	34,2	ESTRÉS TÉRMICO SEVERO
11	Plaza 25 de Mayo	34,5	37,2	0,98	20,9	35,4	
12	Plaza Aberastain	35,5	38,5	0,93	20,3	36,7	
13	Plaza G. Funes	34,3	37,0	0,59	22,2	34,8	
14	Plaza H. Yrigoyen	34,2	36,9	0,69	21,9	34,8	
15	Plaza San Damián	41,2	45,0	0,99	21,5	44,0	ESTRÉS TÁERMICO MUY SEVERO
16	Parque Rawson	42,4	46,4	1,09	19,3	45,4	
17	Plaza Vª Krause	43,6	47,8	1,00	17,3	46,4	E.T. EXTREMO
18	Plaza Acceso Sur	40,0	43,7	0,26	9,5	39,5	E.T.M.S.
19	Plaza A. Brown	39,1	42,7	0,08	10,7	38,0	E.T.S.

Tabla 4. Índice UTCI calculado para cada EVU. Fuente: Elaboración de los autores.

Nº	EVU	UTCI (°C)		DIFERENCIA UTCI EVU/ENTORNO	
		EVU	Entorno Urbano	Valor absoluto	%
1	Parque de Mayo	32,2	46,9	14,7	31,3
2	Plaza España	31,9		15	32,0
3	Plaza San Martín	32,8		14,1	30,1
4	Plaza Vª Obrera	33,7		13,2	28,1
5	Plaza San Roque	32,2		14,7	31,3
6	Plaza Bª Camus	32,9		14	29,9
7	Plaza Bª Huaziul	32,4		14,5	30,9
8	Plaza S. Mª Del Carril	31		15,9	33,9
9	Plaza M. Belgrano	31,5		15,4	32,8
10	Plaza Laprida	34,2		12,7	27,1
11	Plaza 25 De Mayo	35,4		11,5	24,5
12	Plaza Aberastain	36,7		10,2	21,7
13	Plaza Gertrudis Funes	34,8		12,1	25,8
14	Plaza H. Yrigoyen	34,8		12,1	25,8
15	Plaza Bª San Damián	44		2,9	6,2
16	Parque Rawson	45,4		1,5	3,2
17	Plaza Vª Krause	46,4		0,5	1,1
18	Plaza Acceso Sur	39,5		7,4	15,8
19	Plaza A. Brown	38		8,9	19,0

Tabla 5. Relación entre índices UTCI de cada EVU y UTCI del entorno urbano al mediodía solar. Fuente: Elaboración de los autores.

1º CATEGORÍA		2º CATEGORÍA		3º CATEGORÍA		4º CATEGORÍA		5º CATEGORÍA	
% Δ	EVU	% Δ	EVU	% Δ	EVU	% Δ	EVU	% Δ	EVU
-33,9	Plaza S. M. del Carril	-27,1	Plaza Laprida	-19,0	Plaza Almte.			-6,2	Plaza Bº San
-32,8	Plaza Belgrano	-25,8	Plaza G. Funes	-15,8	Plaza Acceso Sur			-3,2	Parque Rawson
-32,0	Plaza España	-25,8	Plaza H. Yrigoyen					-1,1	Plaza Vº Krause
-31,3	Parque Mayo	-24,5	Plaza 25 Mayo						
-31,3	Plaza Bº Camus	-21,7	Plaza A. Aberastai						
-30,9	Plaza Huazihul								
-30,1	Plaza S. Martín								
-29,9	Plaza S. Roque								
-28,1	Plaza Vº Obrera								

Tabla 6. Categorización de los EVU en función de los porcentajes de diferencia con el UTCI del entorno urbano. Fuente: Elaboración de los autores.

Las fórmulas aplicadas a cada valor son las siguientes:

- $TT \text{ y } P = TT \cdot (1 + \text{porcentaje fijo } T/100)$
 Siendo:
 TTyP = a la temperatura trasladada y ponderada
 Porcentaje fijo de T = variación del registro de temperatura de la EM en relación al promedio de los días de medición
- $HRT \text{ y } P = HRT \cdot (1 + \text{porcentaje fijo } HR/100)$
 Siendo:
 HRTyP = a la humedad relativa trasladada y ponderada
 Porcentaje fijo de HR = variación del registro de humedad relativa de la EM en relación al promedio de los días de medición
- TGT y P = correlación TT con TG (de fórmula 1)

CÁLCULO DEL ÍNDICE UTCI PARA LOS 19 EVU.

Los respectivos índices UTCI por cada EVU, calculados con los valores climáticos trasladados y ponderados se presentan en la Tabla 4.

El valor del índice UTCI de cada EVU se referencia con los calculados para el entorno urbano. Se obtiene así el porcentaje de diferencia entre ellos, a fin de categorizarlos en función de su mayor divergencia con las condiciones climáticas de sus respectivos entornos urbanos generales. La menor diferencia entre el UTCI del entorno urbano y el

UTCI de cada EVU es de 1,1%. La mayor diferencia, es de 33,90% (Tabla 5).

RESULTADOS.

La capacidad bioclimática de cada EVU de influir en la disminución de la rigurosidad del clima urbano árido del AMSJ, se manifiesta en la mayor o menor diferencia entre el confort térmico que se experimenta en cada uno de ellos, en relación con el percibido en su entorno urbano inmediato y mediato.

Aplicado el método estadístico de los rangos, los EVU pueden agruparse en las siguientes 5 categorías:

- 1º grupo: hasta 7,66% de diferencia entre el UTCI del EVU y el del entorno urbano.
- 2º grupo: de 7,66% a 14,22% de diferencia entre el UTCI del EVU y el del entorno urbano.
- 3º grupo: de 14,22 a 20,78% de diferencia entre el UTCI del EVU y el del entorno urbano.
- 4º grupo: de 20,78 a 27,34% de diferencia entre el UTCI del EVU y el del entorno urbano.
- 5º grupo: de 27,34% a 33,9% de diferencia entre el UTCI del EVU y el del entorno urbano.

La Tabla 6 muestra las cinco categorías, ordenadas en orden decreciente, según el porcentaje de diferencia entre UTCI del espacio verde y el de su entorno. La 4ª categoría no presenta espacios verdes que la representen.

A partir de las Tablas 4, 5 y 6 se deduce que los EVU de índice de confort más extremo ("Estrés térmico extremo" y "Estrés térmico muy severo") se ubican en el 5° grupo, con porcentajes de diferencia con su entorno menores al 6%. Una excepción la constituye la Plaza Acceso Sur que, no obstante presentar Estrés Térmico Muy Severo, posee el 15,8% de diferencia con el entorno y se ubica en el 3^{er} grupo.

Dado lo anterior, se asume el límite del rango 14% como el valor piso de los que pueden considerarse espacios verdes con adecuados parámetros arbóreos para proporcionar condiciones de confort mínimos a su entorno urbano. Es decir, el límite de los EVU con buena respuesta de confort térmico se hallaría en los que conforman el 3^{er} grupo.

De acuerdo con relevamientos catastrales, satelitales e *in situ*, los espacios verdes que pertenecen al 3^{er} grupo están caracterizados por los parámetros arbóreos que se presentan a continuación, a partir de los cuales es posible identificar los EVU de desempeño bioclimático mínimo:

- Superficie mínima: 8.000m²
- Impronta arbórea igual o mayor a 15%
- Impronta prado: 70%
- Impronta solados igual o menor a menor 30%
- Altura arbórea promedio: 14m
- Densidad volumétrica arbórea: 23.000m³/Ha
- Permeabilidad solarimétrica verano: 12%
- Bloqueo solar verano: 88%

DISCUSIÓN.

La selección del UTCL como índice de confort para espacios abiertos forestados se adopta luego de correlacionar sus resultados con los obtenidos en la aplicación de otros índices de confort, los que no reflejan las reales condiciones percibidas en los EVU.

Además, se asume como el más adecuado al haber sido resultado de la revisión encomendada por la Biometeorological International Society, con el objetivo de integrar la diversidad de índices de confort existentes. Un requisito fundamental de dicha revisión fue que el nuevo índice tuviera siempre el mismo significado termofisiológico, con independencia de la combinación de los valores intervinientes, a efectos de generalizar sus resultados.

Lo anterior se traduce en una adecuada ponderación de sus componentes, lo cual fue comprobado en el estudio de correlación citado anteriormente.

CONCLUSIONES.

Este estudio permite confirmar que no todos los espacios verdes urbanos son bioclimáticamente eficientes, aún algunos de aquellos que apriorísticamente se consideran eficientes según otros criterios.

Calculado el índice de confort UTCL de cada EVU y del entorno urbano de los mismos, la diferencia porcentual entre ambos valores es empleada para agrupar en cinco categorías los espacios verdes en su rol bioclimático.

La primera categoría, de mayor eficiencia bioclimática, presenta más de 27% de diferencia entre el valor del UTCL en el entorno respecto al experimentado en el espacio verde. La segunda categoría, entre 21% y 27%. La tercera, entre 14% y 21%. No hay EVU en la cuarta categoría. Y, en la quinta, la diferencia es menor al 8%.

El límite del confort se ubica en una diferencia mínima de 14% con su entorno urbano. De los 19 EVU analizados, 16 quedan dentro de los que bioclimáticamente aportan a su entorno urbano. De ellos, 9 poseen un buen desempeño, 5 un desempeño medio y dos un desempeño mínimo.

Los parámetros arbóreos que caracterizan dichos EVU de desempeño mínimo, se adoptan como el límite inferior necesario, por debajo del cual el espacio verde no contribuye mayormente a la mitigación del clima urbano árido.

TRANSFERENCIAS.

Obtener resultados basados en estudios científicos que puedan ser incorporados a una normativa bioclimática urbana del árido, comporta desarrollos de gran interés e importancia tanto en el campo académico como en la aplicación fáctica en las ciudades.

La sistematización de estos resultados, incluidas otras estrategias³, conforma un conjunto de Indicadores Bioclimáticos del Verde Urbano Árido, que se transferirá a la Subsecretaría de Planificación Territorial del Ministerio de Planificación e Infraestructura del gobierno de San Juan, para ser incorporado al Código de edificación de la Provincia, cuya autoridad de aplicación es la Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano.

Los resultados serán también transferidos a la Subsecretaría de Ambiente de la provincia a través del Consejo

[3] Resultados de la Tesis Doctoral en Arquitectura y Urbanismo: "Verde urbano. Contribución bioclimática a la sustentabilidad de ambientes áridos". Autora Mgtr. Arq. Alejandra Kurbán. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, UNSJ. Defendida el día 5 de diciembre de 2016.

Provincial del Arbolado, del cual la autora forma parte en representación de la FAUD-UNSJ.

Los logros alcanzados podrán aplicarse a otras ciudades localizadas en la Diagonal Árida Sudamericana, de similares condiciones urbanísticas.

La transferencia académica se realizará en primera instancia a las materias de grado y posgrado de las facultades de Arquitectura, Urbanismo y Diseño y de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan⁴.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE. American Society of Heating. *Refrigerating and Air Conditioning Engineers* [en línea], 2014. [Consultado 20 noviembre 2016]. Disponible en: <https://www.ashrae.org>

CÚNSULO, Mario; KURBÁN, Alejandra; PAPPARELLI, Alberto y MONTILLA, Eduardo. Procesamiento de datos térmicos satelitales para la obtención de la Isla de Calor Urbana. *AVERMA*, 2013, n° 1, pp. 11.11 - 11.18.

GARLAND, Lisa. *Heat islands*. London: Earthscan, 2011.

HEISLER, Gordon. Effects of individual trees on the solar radiation climate of small buildings. *Urban Ecology*, 1986, n° 9, pp. 337-359.

JENDRITZKY, Gerd; DE DEAR, Richard y HAVENITH, George. UTCI--Why another thermal index? *International Journal of Biometeorology*, 2012, n° 56, pp. 421-428.

KURBÁN, Alejandra. *Cuantificación del confort bioclimático de los espacios verdes urbanos*. Capítulo II de Tesis de Doctorado en Arquitectura y Urbanismo: Verde Urbano. Contribución Bioclimática a la sustentabilidad de Ambientes Áridos. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan, 2016.

KURBÁN, Alejandra y CÚNSULO, Mario. Estudio del efecto térmico de espacios verdes urbanos del árido con sensores remotos. *Hábitat Sustentable*, 2015, vol. 5, n° 2, pp. 42 - 55.

KURBÁN, Alejandra; CÚNSULO, Mario; ÁLVAREZ, Analia; MONTILLA, Eduardo y ORTEGA, Andrés. The role of Bioclimatic Architecture In the reduction of the emission of CO₂ in arid environments. *Environmental Science: An Indian Journal*, 2015, vol. 11, n° 6, pp. 171-178.

KURBÁN, Alejandra; CÚNSULO, Mario; ÁLVAREZ, Analia; MONTILLA, Eduardo y ORTEGA, Andrés. *Bioclimatic architecture and energy savings of the urban housing in arid environments*. Proceedings del SBE16 Brazil & Portugal Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment.

Victoria, Brasil, 7 al 9 septiembre de 2016.

KURBÁN, Alejandra; CÚNSULO, Mario; PAPPARELLI, Alberto; MONTILLA, Eduardo; ORTEGA, Andrés; ROCA, Gabriela y ÁLVAREZ, Analia. Aplicación de sensores remotos en el estudio térmico de espacios verdes urbanos del árido. *AVERMA*, 2013, n° 1, pp. 11.71 - 11.78.

KURBÁN, Alejandra; PAPPARELLI, Alberto; CÚNSULO, Mario; MONTILLA, Eduardo; ORTEGA, Andrés; ROCA, Gabriela y RIPOLL, Verónica. Espacios verdes forestados y población en clima urbano árido. *AVERMA*, 2010, n° 14, pp. 11.85 - 11.92.

KURBÁN, Alejandra; PAPPARELLI, Alberto; CÚNSULO, Mario; MONTILLA, Eduardo y RÍOS, Eliana. Espacios verdes y temperatura urbana en ecosistemas áridos. *AVERMA*, 2007a, n°11, pp. 11.09 - 11.15.

KURBÁN, Alejandra; PAPPARELLI, Alberto; CÚNSULO, Mario; MONTILLA, Eduardo y RÍOS, Eliana. Espacios verdes y variación de la humedad relativa en entornos urbanos áridos. En: *XXX Congreso de ASADES (San Luis, 12-16 de noviembre de 2007)*. Laboratorio de energía solar, Universidad Nacional de San Luis, 2007b, pp. 11.01 - 11.06.

MAZZEO, Nicolás. Aplicaciones del diagnóstico climático a problemas relacionados con el urbanismo. *Apuntes de cátedra*, 1984, UBA. Buenos Aires.

OKE, Tim. Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 2006, n° 84, pp. 179-190.

SIMPSON, James. Improved estimates of tree-shade effects on residential energy use. *Energy and Buildings*, 2002, n° 34, pp. 1067-1076.

SIMPSON, James. Urban forest impacts on regional cooling and heating energy use: Sacramento County case study. *Journal Arboric*, 1998, vol. 4, n° 24, pp.201-214.

STEWART, Ian y OKE, Tim. Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2012, n° 93, pp.1879-1900.

[4] Los autores de este artículo son docentes de grado y posgrado de ambas instituciones de la UNSJ.