

ARBOLADO DE ALINEACIÓN, APORTE BIOCLIMÁTICO PARA LA PLANIFICACIÓN URBANA EN CIUDADES DE ZONA ÁRIDA

Gabriela Sofía Roca¹, Alejandra S. Kurbán², Alberto H. Papparelli³, Mario E. Cúnsulo⁴

INEAA (Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental)

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) – Universidad Nacional de San Juan (UNSJ),
Santa Fe 198 (Oeste) 1º Piso, J5400ZAA, San Juan.

Email: gaby_roca07@yahoo.com.ar. Tel.: 0054- 264- 4202664.

Resumen: El presente trabajo está orientado al estudio de la forestación pública en ciudades localizadas en zonas áridas, como una importante variable físico-ambiental que colabora en la disminución de la carga climática edilicia en los meses cálidos, debido a su potencial higrotérmico. Su objetivo es conocer la modificación de temperatura de bulbo seco y humedad relativa, que el arbolado público de alineación produce en los canales viales urbanos como contribución al diseño bioclimático de ciudades de zona árida. La metodología consiste en analizar las condiciones higrotérmicas en Áreas Muestra de Estudio forestadas y sin forestar, en zonas urbanísticamente representativas del Gran San Juan, correlacionando las variables temperatura y humedad relativa, con los índices arbóreos (Impronta Arbórea, Volumen Arbóreo, Cobertura Arbórea y Densidad Volumétrica Arbórea) y las Bandas Urbanas Características.

Palabras Clave: Clima Urbano- Forestación pública – Efecto Higrotérmico

INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo toma como caso de estudio el Gran San Juan (Provincia de San Juan- Argentina), teniendo en cuenta las características de su distribución espacial, según las Bandas Urbanas Características (BUC). Éstas se definen como: “Áreas homogéneas y continuas del ejido urbano, que se presenta como una zona circunvalar al centro, con índices urbanísticos de similar valor, comprendidas entre dos isolíneas representativas del Factor de Ocupación del Suelo, las que identifican su límite territorial y el estado de situación espacial” (Papparelli et al., 2007) *Ver imagen 1.*

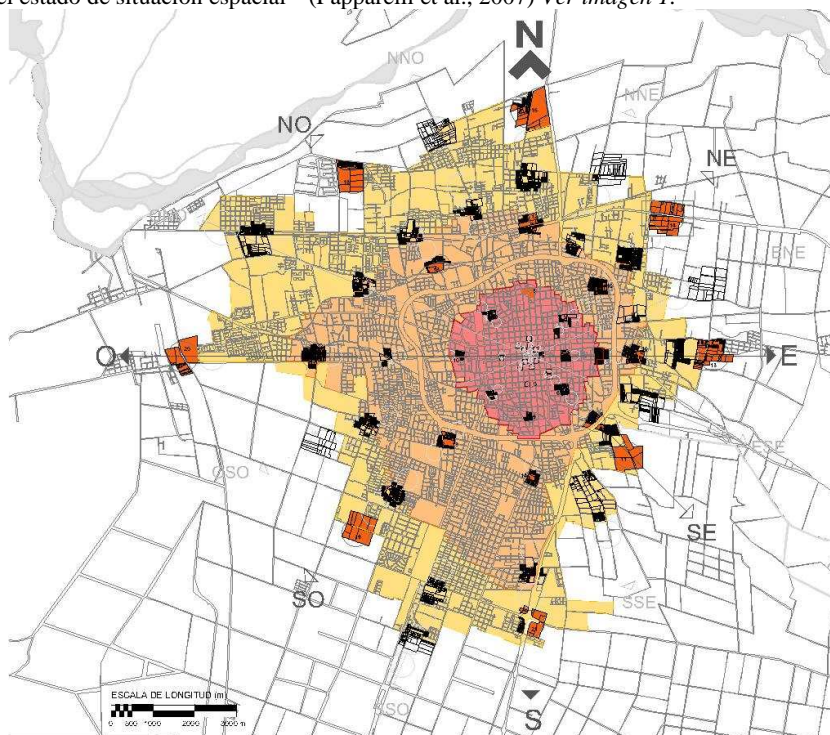


Imagen 1. Plano que indica las 3 Bandas Urbanas Características y todas las Áreas Muestras de Estudio.

¹ Becaria de Formación Doctoral CONICET

² Directora de Beca. Prof. Titular FAUD-UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

³ Codirector de Beca. Director Organizador INEAA; Prof. Titular FAUD-UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

⁴ Prof. Ppal. CONICET

Cada vez es más consistente la concepción del incremento de las temperaturas mínimas en relación con el calentamiento global producido por el efecto invernadero (Rusticucci y Barrucand, 2004); de continuar esta tendencia se espera que hayan más días seguidos de temperaturas mínimas altas. Por ello, la temperatura no disminuirá tanto durante la noche y no llegará a valores tan bajos a primera hora de la mañana. La captura de mayor calor en la atmósfera y su consiguiente reemisión a la tierra producida por el aumento de los gases de efecto invernadero, posee como causas concurrentes los procesos de antropización urbana, entre los cuales se destaca el aumento de la densidad de las ciudades, con incrementos tanto de la planta urbana en superficie de ocupación, como en volumetría edilicia e infraestructura vial y de servicios.

Por tanto, conforme su escala de desarrollo, el aumento de la edificación influye en el balance térmico de las ciudades creando islas de calor que en zonas áridas mesotermiales y cálidas incrementan considerablemente el disconfort estival propio, que de por sí produce el clima natural, en este caso agravado por los efectos de la antropización. Al respecto, Papparelli et al. (2009) calcularon para el año 2009 la Isla de Calor Urbana del Gran San Juan que en sus valores estivales arrojó los siguientes valores: Verano 4,96°C; Invierno 3,94°C; Depresión Humídica: Verano - 5,72%; Invierno - 5,40%.

Los esfuerzos destinados a disminuir el efecto negativo de la Isla de Calor están orientados a la optimización del potencial bioclimático de las ciudades, el cual está constituido por los siguientes elementos físicos del sistema general urbano:

- Los espacios cerrados: diseño, volumen, densidad, materiales, colores, características morfológicas.
- Los espacios abiertos: diseño, superficies, volúmenes, características morfológicas, materiales, colores.
- Los equipamientos: diseño, proporciones, volúmenes, materiales, colores.
- Los espacios verdes forestados: dimensiones, superficie, distribución de ejemplares, especies implantadas, densidad y volumen arbóreo.

OBJETIVOS A ALCANZAR EN ESTE TRABAJO

Como objetivo general se planteó conocer la modificación de temperatura y humedad relativa que produce el arbolado público de alineación en los canales viales urbanos, como aporte al diseño bioclimático de los asentamientos humanos en zona árida.

Respecto de los objetivos específicos estuvo: obtener una base de datos urbanos y arbóreos de las todas las AME; diseñar un programa de mediciones climáticas de temperatura de bulbo seco y humedad relativa cada AME; ejecutar mediciones estivales de temperatura de bulbo seco y humedad relativa en cada AME; calcular la intensidad del efecto térmico y húmedico, para cada canal vial en las dos direcciones cardinales principales, N-S y E-O, para cada AME; calcular la intensidad promedio del efecto térmico y húmedico, en cada BUC y en todo el ejido del Gran San Juan y por último correlacionar la intensidad del efecto térmico y húmedico con los índices arbóreos y urbanísticos, para cada BUC en todo el ejido del Gran San Juan.

METODOLOGÍA

- Selección de Áreas Muestra de Estudio (AME) en cada Banda Urbana Característica (BUC): Para que las zonas a estudiar resultaran un muestreo de la realidad urbana del Gran San Juan y pudieran ser comparables entre sí, se seleccionaron áreas localizadas en cada una de las tres BUC, las mismas debían contar con zonas forestadas (arbolado público de alineación) y sin forestar. Ver imagen 2.

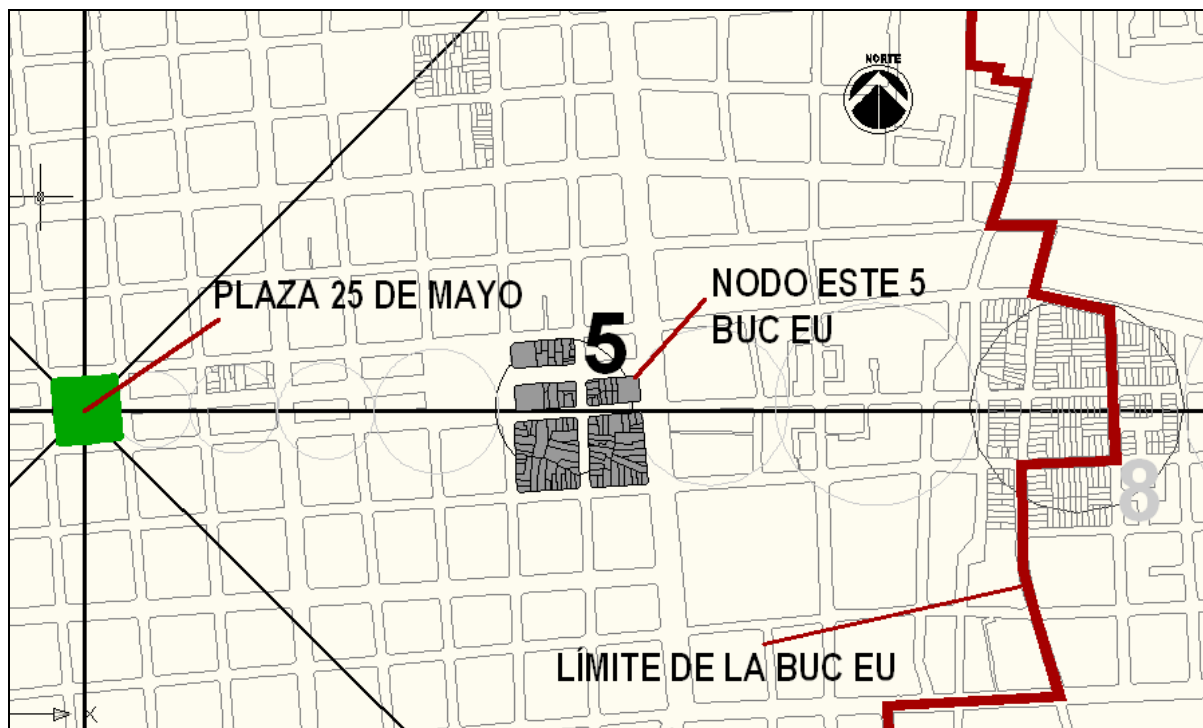


Imagen 2. Plano con la BUC y Nodo correspondiente referenciados al centro principal de la ciudad, Plaza 25 de Mayo.

Las AME contaron con las mismas condiciones urbanísticas (Factor de Ocupación del Suelo, Volumetría Edilicia y Canopia Urbana), pero con diferentes situaciones de forestación pública: unas sin arbolado de alineación y otras con dicho arbolado. Cada AME constó de aproximadamente 100 m por 100 m, quedando definida por el cruce de dos calles y hasta 50 m de cada una de ellas a partir del encuentro de sus respectivos ejes. Las AME se individualizaron con una codificación que involucró la BUC a la que pertenece, la orientación cardinal (referenciada al centro principal de la ciudad, Plaza 25 de Mayo) y un número correlativo de identificación (de acuerdo con el sentido de las agujas del reloj comenzando en dicho centro). Las Áreas Muestras de Estudio se graficaron con sistema asistido por computadora. Ver tabla 1.

Ubicación: Calle Mitre esq. Güemes		BUC: Eminentemente Urbana			
Nodo de correspondencia: E 5		AME: E5	Coordenadas: x = 853,79m y = -0,24m		
ÍNDICES URBANÍSTICOS	Canopia Urbana = 3m	FOS = 5%	Dens. Vol. Edilicia = 1.500m ³		
INFRAESTRUCTURA	Calle pavimentada- ancho = 9 y 10m		Vereda de tierra- H° = 4,9m		
INFORMACIÓN ARBÓREA	Nombre común	Familia	Familia botánica	Perm. Arb.	Cant.
	MORA	Moráceas	<i>Morus Alba Pendula</i>	8,00%	2
	PLÁTANO	Platanáceas	<i>Platanus Acerifolia</i>	10,20%	45
AME FORESTADA (Sup.: 2.737,58m ²)	Mediciones Higrotérmicas	Temperatura = 35,2°C	Humedad Relativa = 27,0%		
	Índices Arbóreos	Impronta = 1.761,87 m ²	Volumen = 14.729,23m ³		
		Cobertura = 39,19%	Densidad Vol. = 27.864,11m ³		
AME SIN FORESTAR (Sup.: 705,01m ²)	Mediciones Higrotérmicas	Temperatura = 34,9°C	Humedad Relativa = 26,6%		

Tabla 1. Ficha con Información Urbanística, Arbórea e Higrotérmica de un AME forestado, tal y como se describe en la metodología.

- Banco de datos urbanístico y arbóreo: Se realizaron relevamientos planialtimétricos y bibliográficos de cada AME haciendo constar: a- Entorno urbano (por lote y promedio del AME): línea de edificación por lote, altura de edificación por lote, superficie construida por lote, superficie de cada lote. b- Forestación: especies arbóreas, altura de ejemplares, superficie de impronta en proyección vertical, distancia de implantación. Con los datos obtenidos se calculó como promedio de cada BUC y de cada AME: Factor de Ocupación del Suelo, Volumetría Edilicia, Canopia Urbana; Permeabilidad arbórea a la radiación solar promedio para el verano; Impronta arbórea e Impronta arbórea neta; Volumen arbóreo y Volumen arbóreo neto. En los planos graficados con sistema asistido por computadora, se hizo constar toda la información urbana y arbórea relevada, y el cálculo de todos los índices.

Las AME se clasificaron según la cantidad de canales viales que las componían, según 3 tipos: a- Tipología de AME en “cruz”: consta de aproximadamente 100 m por 100 m, quedando definida por el cruce de dos calles y hasta 50 m de cada una de ellas a partir del encuentro de sus respectivos ejes. b- Tipología de AME en “T”: consta de aproximadamente 100 m por 50 m, quedando definida por el cruce de dos calles y hasta 50 m de cada una de ellas a partir del encuentro de sus respectivos ejes y c- Tipología de AME “lineal”: consta de aproximadamente 100 m, quedando definida por una calle.

- Programa de mediciones climáticas: Se ejecutaron mediciones climáticas móviles de prueba de temperatura de bulbo seco y humedad relativa, en un AME, en diferentes horarios (HOA): 9:00; 11:00; 13:00; 15:00; 17:00; 19:00. La ubicación de cada toma se realizó en el cruce de las calles y en cada uno de los canales viales con intervalos de 10m a partir de dicho encuentro. A la misma hora, se registró los valores climáticos en la estación fija.

Los valores medidos se corrigieron en forma horaria para simular registros sincrónicos. Se calculó los $\Delta T^{\circ}C$ y $\Delta HR\%$ correspondientes a las mismas horas en referencia con el valor del centro del AME y con los valores de la estación meteorológica fija. En función de las diferencias calculadas se adoptaron dos decisiones: a) número y localización de puntos a medir y b) hora de medición. Se procedió entonces a graficar en los planos de las AME, todos los puntos de medición, georeferenciándolos con el centro principal de la ciudad (Plaza 25 de Mayo), a fin de procesar los registros obtenidos: sus coordenadas “x” e “y” los identificaron en la superficie y en la coordenada “z” se asumió los valores de temperatura o humedad relativa según correspondió.

- Elaboración y Procesamiento de datos climáticos: Las mediciones climáticas se ejecutaron con termohigrómetros digitales portátiles: $T^{\circ}C$ y $HR\%$ (Marca SMART SENSOR) con tiempo de respuesta de 3 segundos. Durante el verano 2010 (DIC/2009; ENE y FEB/2010) se realizaron campañas de medición en condiciones de cielo despejado (índice $KT \geq 0,75$). Los registros se tomaron en días de calma, con viento en la dirección prevalente (SE) (Kurbán A. et al., 2006) y a baja velocidad ($V \leq 10 km/h$), para obtener una base de datos confiable y suficiente para relacionar los índices arbóreos con sus efectos bioclimáticos netos. Debido a la cantidad de Áreas Muestra de Estudio, necesariamente existió un desfase horario entre la primera y la última medición móvil, la franja horaria de medición fue entre las 10:00hr a las 17:00hr.

Por tanto, y a fin de hacer comparables los datos registrados, para un mismo día y hora, se ejecutaron correcciones horarias referenciadas a las 13:00hr, simulando tomas simultáneas. Estas correcciones se realizaron con los registros climáticos minuto a minuto obtenidos en la estación meteorológica digital (EM-II) marca DAVIS, instalada en el centro del Gran San Juan y propiedad de la Unidad de Investigación (INEAA-FAUD).

- Correlaciones entre las variables climáticas con los índices arbóreos y urbanísticos: La intensidad del efecto que el arbolado público genera en las variables climáticas de temperatura y humedad relativa, se calcularon en referencia a los valores climáticos del centro de cada AME forestado, con los correspondientes a los no forestados. En cada caso se hizo constar además la orientación cardinal del canal vial medido. Se estudiarán las curvas de ajuste interrelacionaron las variables climáticas con los índices arbóreos y con los urbanísticos.

GRÁFICOS DE LAS CORRELACIONES ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS E ÍNDICES ARBÓREOS DE LAS AME DEL GRAN SAN JUAN (Ver gráficos 1, 2, 3 y 4)

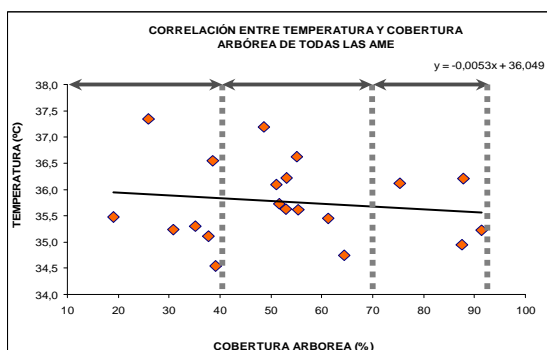


Gráfico 1. Correlación Temperatura y Cobertura Arbórea

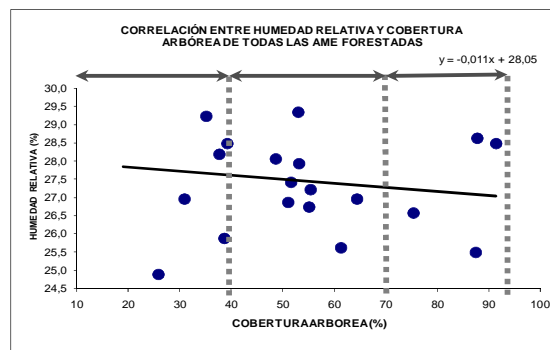


Gráfico 2. Correlación Hum. Relativa y Cobertura Arbórea

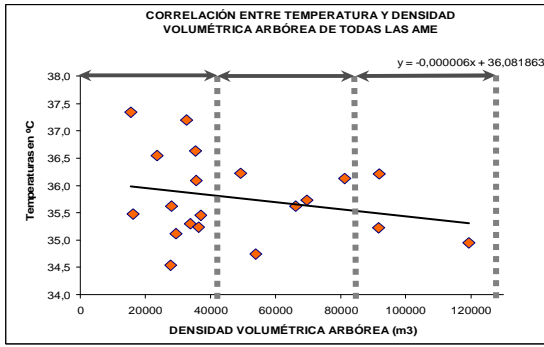


Gráfico 3. Correlación Temperatura y Dens. Vol. Arborea

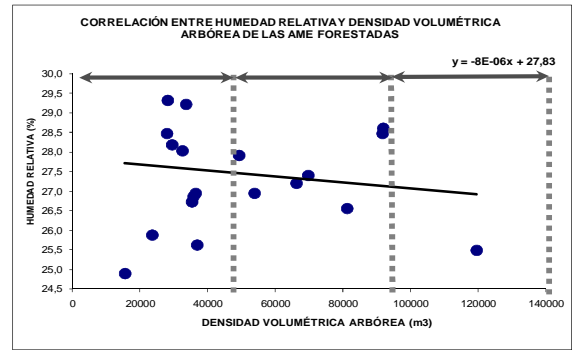


Gráfico 4. Correlación Hum. Relativa y Dens. Vol. Arborea

GRÁFICOS DE LAS CORRELACIONES ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS E ÍNDICES URBANÍSTICOS DE LAS AME DEL GRAN SAN JUAN (Ver gráficos 5,6, 7 y 8)

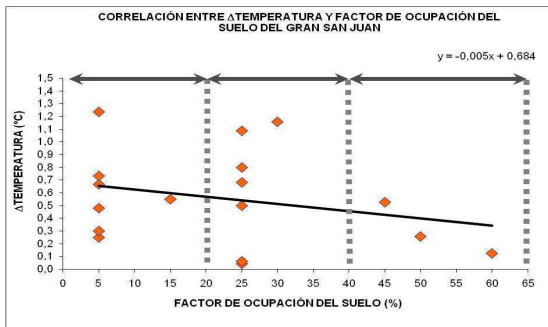


Gráfico 5. Correlación Temperatura y FOS

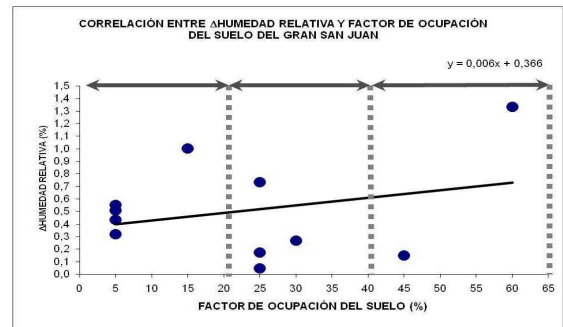


Gráfico 6. Correlación Hum. Relativa y FOS

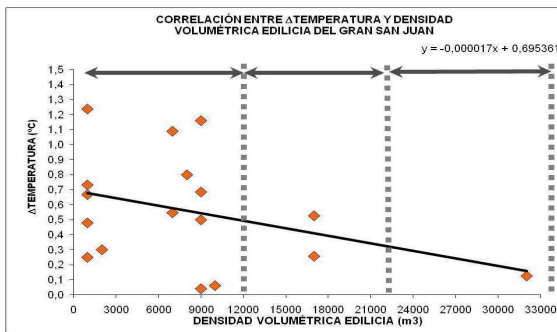


Gráfico 7. Correlación Temperatura y Dens. Vol. Edilicia

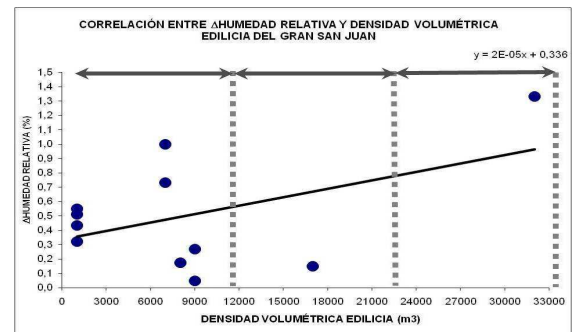


Gráfico 8. Correlación Hum. Relativa y Dens. Vol. Edilicia

GRÁFICOS DE LAS CORRELACIONES ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS E ÍNDICES ÁRBOREOS DE LA BUC EMINENTEMENTE URBANA (Ver gráficos 9 y 10)

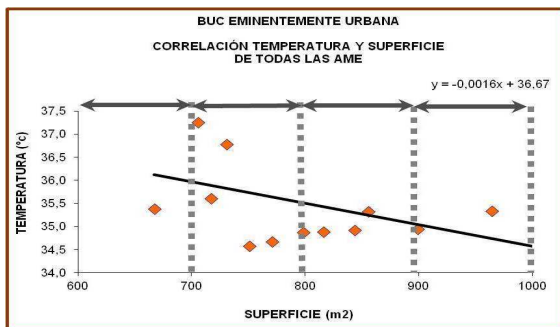


Gráfico 9. Correlación Temperatura y Superficie

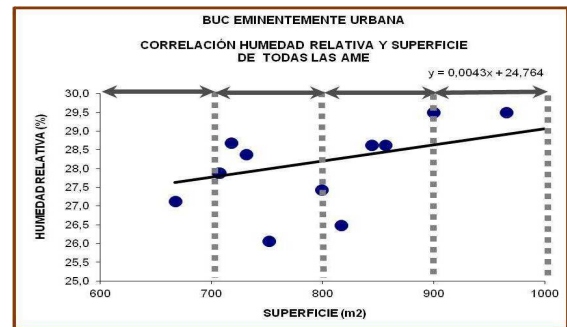


Gráfico 10. Correlación Hum. Relativa y Superficie

GRÁFICOS DE LAS CORRELACIONES ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS E ÍNDICES ÁRBOREOS DE LA BUC URBANA (Ver gráficos 11 y 12)

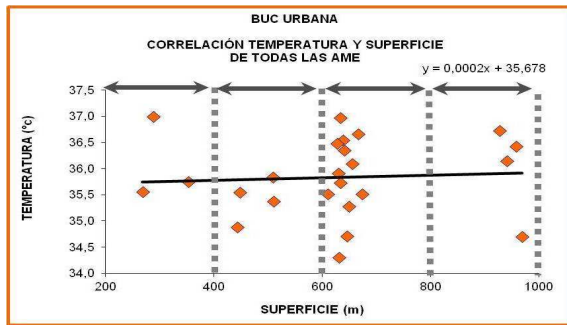


Gráfico 11. Correlación Temperatura y Superficie

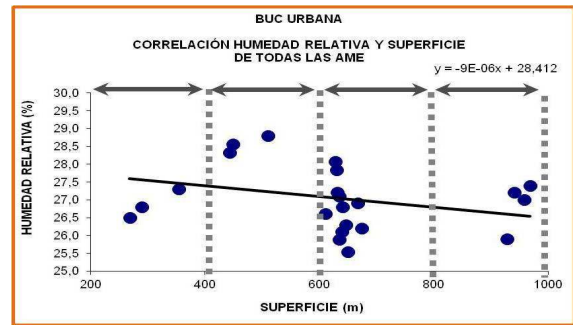


Gráfico 12. Correlación Hum. Relativa y Superficie

GRÁFICOS DE LAS CORRELACIONES ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS E ÍNDICES ÁRBOREOS DE LA BUC SUBURBANA (Ver gráficos 13 y 14)

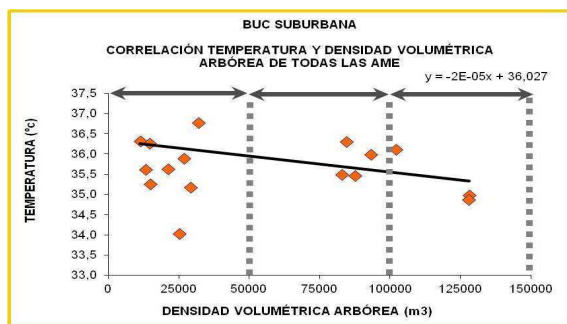


Gráfico 13. Correlación Temperatura y Dens. Vol. Arbórea

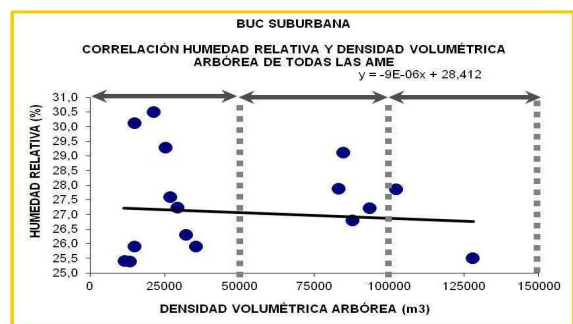


Gráfico 14. Correlación Hum. Relativa y Dens. Vol. Arbórea

RESULTADOS DE CORRELACIONES ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS E ÍNDICES ARBÓREOS Y URBANÍSTICOS DE LAS AME DEL GRAN SAN JUAN

Variables climáticas e Índices Arbóreos	T°C promedio	HR promedio	$\Delta T^\circ C$ promedio	ΔHR promedio
CA entre 0 a 40 %	35,7°C	28,1%	0,7°C	0,4%
CA entre 40 a 70 %	35,9°C	27,9%	0,5°C	0,1%
CA entre 70 a 92 %	35,6°C	27,0%	0,4°C	0,4%
DVA entre 0 a 40.000 m3	35,9°C	27,6%	0,7°C	0,6%
DVA entre 40.000 a 80.000 m3	35,6°C	27,5%	0,4°C	0,2%
DVA entre 80.000 a 120.00 m3	35,6°C	26,5%	0,4°C	0,4%
Sup. AME entre 0 a 1750 m2	35,8°C	27,7%	---	---
Sup. AME entre 1750 a 2500 m2	35,9°C	27,4%	---	---
Sup. AME entre 2500 a 3250 m2	35,4°C	27,0%	---	---

Tabla 2. Resultados de Correlaciones entre Variables Climáticas e Índices Arbóreos de las AME del Gran San Juan.

Variables climáticas e Índices Urbanísticos	$\Delta T^\circ C$ promedio	ΔHR promedio
FOS entre 0 a 20 %	0,6°C	0,3%
FOS entre 20 a 40 %	0,5°C	0,1%
FOS entre 40 a 65 %	0,4°C	0,8%
DVE entre 0 a 10.000 m3	0,6°C	0,4%
DVE entre 10.000 a 20.000 m3	0,4°C	0,2%
DVE entre 20.000 a 33.000 m3	0,1°C	0,1%

CU entre 0 a 3 m	0,6°C	0,4%
CU entre 3 a 4 m	0,4°C	0,1%
CU entre 4 a 4,5 m	0,1°C	0,0%

Tabla 3. Resultados de Correlaciones entre Variables Climáticas e Índices Urbanísticos de las AME del Gran San Juan.

VARIABLES CLIMÁTICAS E ÍNDICES ARBÓREOS	T°C promedio	HR promedio
CA entre 0 a 25 %	35,2°C	28,2%
CA entre 25 a 50 %	35,9°C	28,3%
CA entre 50 a 70 %	35,7°C	28,3%
DVA entre 0 a 30.000 m3	35,9°C	28,4%
DVA entre 30.000 a 60.000 m3	35,6°C	28,3%
DVA entre 60.000 a 90.000 m3	35,6°C	26,5%
Sup. AME entre 600 a 700 m2	35,4°C	27,1%
Sup. AME entre 700 a 800 m2	35,7°C	28,1%
Sup. AME entre 800 a 900 m2	35,3°C	28,3%
Sup. AME entre 900 a 1000 m2	35,0°C	28,9%

Tabla 4. Resultados de Correlaciones entre Variables Climáticas e Índices Árboreos de la BUC Eminentemente Urbana.

VARIABLES CLIMÁTICAS E ÍNDICES ARBÓREOS	T°C promedio	HR promedio
CA entre 0 a 40 %	36,0°C	26,8%
CA entre 40 a 70 %	35,7°C	27,2%
CA entre 70 a 100 %	35,8°C	27,1%
0 a 40.000 m3	35,8°C	26,9%
40.000 a 80.000 m3	35,9°C	26,8%
80.000 a 100.000 m3	35,2°C	28,4%
Sup. AME entre 200 a 400 m2	36,1°C	26,9%
Sup. AME entre 400 a 600 m2	35,4°C	29,0%
Sup. AME entre 600 a 800 m2	35,9°C	26,7%
Sup. AME entre 800 a 1000 m2	36,0°C	26,9%

Tabla 5. Resultados de Correlaciones entre Variables Climáticas e Índices Árboreos de la BUC Urbana.

VARIABLES CLIMÁTICAS E ÍNDICES ARBÓREOS	T°C promedio	HR promedio
CA entre 0 a 30 %	36,3°C	27,0%
CA entre 30 a 60 %	35,9°C	27,2%
CA entre 60 a 100 %	35,6°C	27,1%
DVA entre 0 a 50.000 m3	36,2°C	27,1%
DVA entre 50.000 a 100.000 m3	35,9°C	27,8%
DVA entre 100.000 a 150.000 m3	35,3°C	26,1%
Sup. AME entre 300 a 500 m2	37,7°C	24,8%
Sup. AME entre 500 a 700 m2	35,7°C	27,6%
Sup. AME entre 700 a 900 m2	36,0°C	25,7%

Tabla 6. Resultados de Correlaciones entre Variables Climáticas e Índices Árboreos de la BUC Suburbana.

CONCLUSIONES

El rol activo de la forestación en la disminución de la Isla de Calor resulta una condición muy valiosa a la hora de definir estrategias de planificación urbana y confort higrotérmico, que optimicen el potencial bioclimático de ciudades de clima árido. El presente trabajo se ha focalizado en el estudio del arbolado urbano de alineación y su influencia higrotérmica en zona áridas, como una importante variable físico-ambiental que mengua la carga climática edilicia en los meses cálidos, debido a su potencial higrotérmico.

Su objetivo ha sido conocer la modificación de temperatura de bulbo seco y humedad relativa, que el arbolado público de alineación produce en los canales viales urbanos como contribución al diseño bioclimático de ciudades de zona árida.

La metodología radicó en analizar las condiciones higrotérmicas en Áreas Muestra de Estudio con y sin forestación, en zonas urbanísticamente representativas del Gran San Juan y se correlacionaron las variables temperatura y humedad relativa, con los índices arbóreos (Impronta Arbórea, Volumen Arbóreo, Cobertura Arbórea y Densidad Volumétrica Arbórea) y las Bandas Urbanas Características.

Concluyendo que **para el Gran San Juan**: las AME que poseen mayor CA y DVA, presentaron un mejor comportamiento térmico, manifestándose una disminución de la T° existente en sus alrededores. A estas AME les correspondió una mayor ΔT° , que a las AME sin forestar. Respecto a la HR%, se observó que mientras menor es la distancia al centro principal de la ciudad, la T° se incrementa.

De las correlaciones con los Índices Urbanísticos para el Gran San Juan: las AME que poseen el menor FOS, DVE y CU resultaron con el mayor valor de $\Delta T^{\circ}C$ promedio y las AME que poseen el menor DVE y CU resultaron con el mayor valor de $\Delta HR\%$ promedio.

Para la BUC Eminentemente Urbana: las AME que mostraron mejor comportamiento higrotérmico, son las que poseen una CA entre 0 a 25%, una DVA entre 30.000 a 60.000m³ y Sup. AME entre 900 a 1000m² respectivamente.

Para la BUC Urbana: las AME que mostraron mejor comportamiento higrotérmico, son las que poseen una CA entre 50 a 70%, una DVA entre 30.000 a 60.000m³ y una Sup. AME entre 900 a 1000m² respectivamente.

Para la BUC Suburbana: las AME que mostraron mejor comportamiento higrotérmico, son las que poseen una CA entre 60 a 100%, una DVA entre 50.000 a 100.000m³ y una Sup. AME entre 500 a 700m² respectivamente.

REFERENCIAS

- Papparelli, Cúnsulo, Kurbán, (2009). *Isla de Calor Urbana en zona Árida*. Informe Final Proyecto Investigación CICITCA-UNSJ.
- Papparelli, Kurbán, Cúnsulo, et al., (2007). *Características de la Distribución Espacial en la Ciudad de San Juan*- Estadística Año 2005 ISBN 978-987- 584-079-9 Editorial Klickzowski/ NOBUKO.
- Kurbán, Papparelli, Cúnsulo, (2006). *Efecto bioclimático de la forestación en áreas urbanas de clima árido*. AVERMA. ISSN: 0329-5184. Volumen 10. Pág.: 11-145 a la 11-151.
- Rusticucci, M. y Barrucand, M., (2004). *Observed Trends and Changes in Temperature Extremes over Argentina*. JOURNAL OF CLIMATE. Volumen 17. Pág.: 4099 a la 4107.

Abstract: The present work is focused on the study of the public afforestation in cities located in arid areas, as an important environmental variable that collaborates in the reduction of the building climatic load in the warmer months, due to its hygrothermal potential. Its objective is to know the modification of the dry bulb temperature and relative humidity, that the public alignment trees produce on urban road channels as a contribution to the bioclimatic design of cities in arid zones. The methodology consists in analyzing the hygrothermal conditions in study sample areas, both forested and afforested, in urban areas representative of the great San Juan, correlating the temperature and relative humidity, with arboreal indexes (Arboreal horizontal projection, arboreal volume, arboreal coverage and arboreal volumetric density) and the urban characteristics bands.

Keywords: Urban climate - public forestry - hygrothermal effect.