

APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS EN EL ESTUDIO TÉRMICO DE ESPACIOS VERDES URBANOS DEL ÁRIDO

Alejandra Kurbán¹, Mario Cúnsulo², Alberto Papparelli³
Eduardo Montilla⁴, Andrés Ortega⁴, Gabriela Roca⁵, Analia Álvarez⁶

INEAA (Instituto de Estudios en 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: akurban@unsj.edu.ar. Tel (0264) 4202664

Recibido 13/08/13, aceptado 24/09/13

RESUMEN: Se analiza el efecto térmico estacional de 19 Espacios Verdes Urbanos previamente identificados como bioclimáticamente eficientes del Área Metropolitana de San Juan, a través del procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales tipo LANDSAT 5 TM+ correspondientes al año 2011. La temperatura del aire se obtuvo con el método TvX a partir de un muestreo amplio de relaciones entre el índice normalizado de vegetación NDVI y la temperatura de superficie. Los datos térmicos así calculados se combinaron con registros de una estación meteorológica ubicada en el centro de la ciudad. Los resultados convalidan los obtenidos con trabajo *in situ* respecto al efecto de refrescamiento de los espacios verdes urbanos y permiten ampliar los estudios de eficiencia térmica de los espacios verdes urbanos, tanto en el tiempo como en el espacio. Si bien la adquisición y el procesamiento de imágenes satelitales para obtención de temperatura del aire, es laborioso y complejo, dichas imágenes resultan una herramienta idónea para trabajos de planificación urbana bioclimática.

Palabras Clave: Imágenes Satelitales - Diseño Urbano Bioclimático - Zonas Áridas

INTRODUCCIÓN

Dentro de la línea de investigación de Clima Urbano, desde el año 1996 la Unidad Ejecutora (INEAA), desarrolla proyectos relacionados con el rol de la forestación en la disminución de la carga climática urbana en ciudades localizadas en zonas áridas, tomando como caso de estudio el Área Metropolitana de San Juan.

Los trabajos estudiaron i) permeabilidad a la radiación solar global de ejemplares aislados representativos de las especies arbóreas caducifolias y perennifolias implantadas en la ciudad (Kurbán *et al* 2004); ii) efecto bioclimático de espacios verdes en sus entornos urbanos (Kurbán *et al* 2007 a y b.); iii) cuantificación de la cobertura bioclimática del ejido urbano (Kurbán *et al* 2009) análisis de la relación entre una normativa internacional de área/habitante aplicada en San Juan y el déficit bioclimático existente en la ciudad (Kurbán *et al* 2010).

En todos los casos, la base de datos climáticos utilizada fue obtenida con mediciones *in situ*, tanto en cada árbol como en los conjuntos de árboles estudiados y en el punto de contrastación para las correcciones horarias, a fin de obtener datos sincrónicos.

Fue justamente la necesidad de contar con datos climáticos sincrónicos y la posibilidad de disponer de información climática de años precedentes, lo que decidió a la Unidad Ejecutora incorporar una nueva fuente de datos a través de imágenes satelitales multiespectrales, que permitieran analizar correspondencias que validaron diferentes métodos de abordaje a la problemática.

Debido a la utilidad del uso combinado de imágenes satelitales y estaciones meteorológicas para medir la distribución espacial e intensidad de los contrastes térmicos campo-ciudad, ampliamente reconocidos (Pérez González *et al.*, 2003), el trabajo combina los datos obtenidos por sensores remotos, con los registros de una estación meteorológica ubicada en el centro de la ciudad.

Se analiza el efecto térmico estacional de 19 Espacios Verdes Urbanos (EVU) del Área Metropolitana de San Juan, previamente identificados como bioclimáticamente eficientes (Kurbán, *et al*, 2007 a y b) a través del procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales tipo LANDSAT 5 TM+ correspondientes al Verano e Invierno del año 2011.

ELECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

La adquisición de las imágenes satelitales en las que apareciera en su totalidad el Área Metropolitana de San Juan, resultó muy dificultosa, particularmente respecto a las estaciones climáticas de verano e invierno.

Contamos desde el primer momento con la valiosa y atenta colaboración de personal de CONAE de diferentes direcciones ejecutivas, no obstante lo cual, la adquisición de las imágenes ya sea las propias de CONAE (existentes en el nodo Córdoba), como las procedentes de los organismos responsables de la obtención y administración de las imágenes generadas por los distintos satélites, entrañaron arduas gestiones que no siempre fueron fructíferas.

¹ Prof. Titular FAUD-UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

² Prof. Titular EM UNSJ; Pof. Ppal. CONICET

³ Prof. Titular FAUD-UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

⁴ Prof. JTP FAUD-UNSJ

⁵ Becaria CONICET Tipo II

⁶ Becaria CONICET Tipo I

Además de la disponibilidad estacional de las imágenes, el problema residió también en que las mismas no fueran defectuosas o que durante el paso del satélite no hubieran nubes sobre la ciudad. Así por ejemplo no todas las imágenes que adquirimos tenían todas las bandas necesarias (Visible e Infrarrojo), o en su defecto, parte del Gran San Juan se encontraba bajo nubes.

A las dificultades enunciadas, se le sumó el hecho de que la UNSJ no tenía convenio con CONAE, el cual nos hubiera permitido concretar más rápidamente las acciones y enmarcarlas institucionalmente. Por ello debimos redactar y gestionar ante las autoridades pertinentes, el *Convenio Específico* de cooperación entre ambos organismos, a través del Expte. N°01-2449-I/2011. Dicho Convenio fue aprobado por el Consejo Superior de la UNSJ, en diciembre de 2012 según Res N°197/2012-CS y enviado para su firma a CONAE.

Las imágenes satelitales estacionales finalmente utilizadas fueron las LANDSAT 5TM Thematic Mapper. Estas fueron las únicas disponibles sin deficiencias de adquisición en sus Bandas, que cubrían el área de la ciudad de San Juan, además que proveían la Banda del Infrarrojo Cercano o NIR (B3) y la Banda Térmica (B6), con una resolución espacial conveniente a la escala de los espacios verdes a estudiar. Las imágenes utilizadas fueron las correspondientes a los días: 09/12/2010 (Verano 2011, en consideración al período DIC-ENE-FEB), y 22/08/2011 (Invierno 2011, en consideración al período JUN-JUL-AGO). La hora de paso del satélite fue a las 14:30 HSV (16:00 HSA). Sus características técnicas fueron:

- Bandas espectrales:
 - B1: 0,45 - 0,52 μm (azul)
 - B2: 0,52 - 0,60 μm (verde)
 - B3: 0,63 - 0,69 μm (rojo)
 - B4: 0,76 - 0,90 μm (infrarrojo cercano)
 - B5: 1,55 - 1,75 μm (pancromática)
 - B6: 10,40 -12,50 (infrarrojo térmico)
 - B7: 2,08 -2,35 (infrarrojo de onda corta)
- Resolución espacial: B1, B2, B3, B4, B5 y B7 25 x 25 m; B6 120x120m
- Longitud de la imagen: 185 km
- Repetición del ciclo: 16 días
- Cruce por el Ecuador: 9:45hs \pm 15minutos
- Inclinación: 98°
- Altitud: 705km

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES PARA OBTENCIÓN DEL NDVI Y LA TEMPERATURA DEL AIRE

Para el procesamiento de las imágenes satelitales se utilizó el software ENVI 4.7. Las etapas ejecutadas fueron:

- a. Calibración radiométrica
- b. Cálculo del Índice diferencial de vegetación normalizado - NDVI
- c. Cálculo de Temperatura Superficial (LST)
- d. Cálculo de Temperatura del Aire
- e. Cálculo de Temperatura del Aire Termoreferenciada
- f. Corrección Histórica

Para el desarrollo de los ítems a., b., y c. se siguió el procedimiento desarrollado por Cotlier, C., *et al.* 2010. El ítem d. se ejecutó con el método TvX (Goetz, *et al.*, 2000). La descripción de los 4 primeros ítems consta en Cúnsulo, *et al.*, 2012. La termoreferenciación se realizó con datos obtenidos para los mismos días y horas, con registros de una Estación Meteorológica instalada en la terraza del edificio propiedad del INEAA, ubicado a 400m de la plaza principal de la ciudad. Dicha Estación es un equipo de adquisición de datos marca DAVIS Vantage Pro2 PlusTM, con alimentación dual (batería solar fotovoltaica), software WeatherLink y consola de registros. Los valores de temperatura y humedad relativa están calibrados con psicrómetro en abrigo meteorológico.

Se calculó el porcentaje en el que la temperatura del aire obtenida del procesamiento de la imagen satelital, difiere de la temperatura del aire real de la Estación, para la misma fecha y hora. Este algoritmo, se aplicó mediante el BandMath a cada pixel, generando así la Imagen de Temperatura del Aire Termo-referenciada.

Para hacer más representativos los días y hora de las imágenes, evitando atipicidades, a los valores termoreferenciados se les aplicó un factor de corrección histórica que tuvo en cuenta el promedio del día de registro satelital en relación al promedio histórico (correspondiente al período 1995-2012 y obtenido en la misma Estación Meteorológica citada). A fin de agilizar el cálculo, se obtuvo un Factor de Multiplicación que involucró el porcentaje de termoreferenciación y la corrección histórica. En la Planilla 1 se presentan para la hora 14:30 de los días de toma de las imágenes, los valores citados:

Fecha	Imagen N°	T _{aire} Estación Meteorológica INEAA (°C)	T _{aire} en INEAA calculada c/Goetz (°C)	Termo-referenciación (%)	Corrección Histórica c/estadística INEAA 1995-2012	Factor de Multiplicación
22-ago-11	1178712	20,6	19,1	-7,28	1,00	1,07
09-dic-10	1178707	36,9	38,9	5,14	0,95	0,90

Planilla 1: Valores de Coeficientes de Termoreferenciación y Corrección Histórica

ANÁLISIS MICROCLIMÁTICO DE LOS EVU

A excepción de los dos Parques (de Mayo y Rawson), 17 de los 19 EVU estudiados tienen un promedio de superficie de 13.800m². Es decir que el 90% de los EVU geoméricamente pueden asimilarse a un círculo de 66m de radio. Por ello, se adoptó la ROI (Region of Interest), circular conformada por 12 pixeles, los cuales integran la información correspondiente a un círculo de 60m de radio. Con la opción Stats se extrae el valor de temperatura promedio de dicha superficie.

Se realizaron dos escalas de análisis: a) Escala del AM San Juan y b) Escala del EVU

- a) Escala del AM San Juan: para verificar la afectación de los EVU en todo el espacio urbano, se incorporó información térmica de las mismas imágenes, obtenidas y procesadas por Cúnsulo, *et al* 2013. Por tanto, a los 19 valores de temperatura del aire de cada EVU, se le incorporaron 64 puntos de medición correspondientes a otros tantos Nodos Urbanos Muestra, representativos del espacio urbano de la ciudad. Con el archivo de datos de 83 puntos referenciados al centro de la ciudad, plaza 25 de Mayo, se obtuvieron las isotermas de Verano e Invierno. (Figura 1)

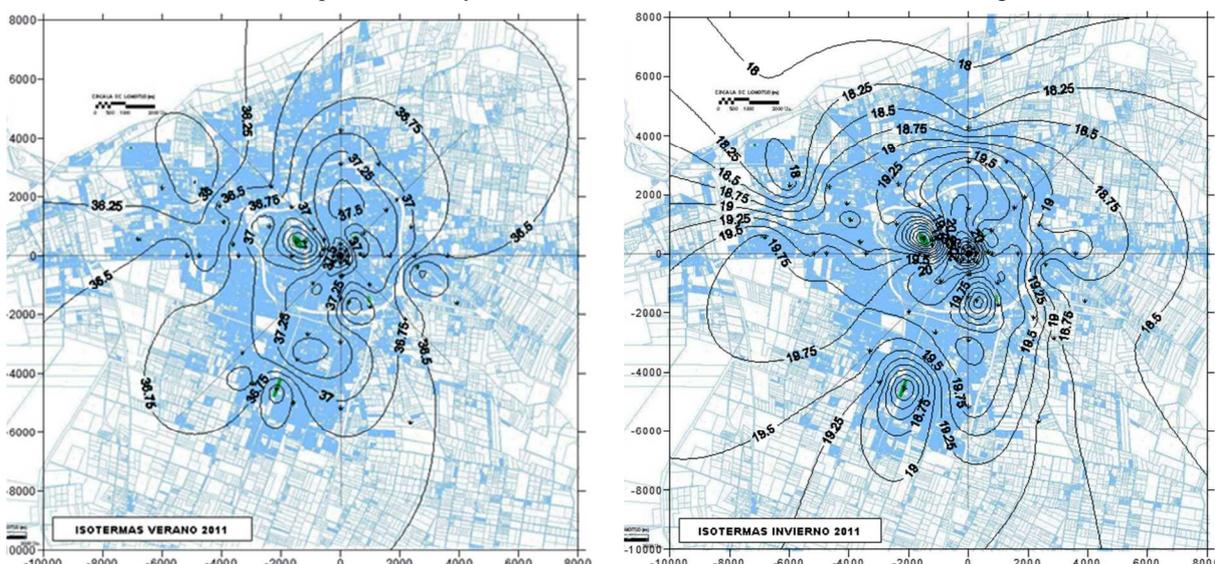


Figura 1: Isotermas Verano e Invierno Área Metropolitana – Año 2011

- b) Escala del EVU: al valor de temperatura del aire representativo del EVU obtenido anteriormente, se le adicionó mayor cantidad de datos conforme su tamaño: en el caso de plazas de aproximadamente 1,4Ha, se identificaron 16 datos en su contorno; en los dos parques, los datos incorporados fueron 24.

El método para la determinación de los valores, se detalla a continuación:

- Se adoptó un muestreo radial, en correspondencia con el diámetro de las ROI (Region of Interest), con centro en el EVU.
- Con centro en el EVU, se determinaron ROI a lo largo de los ejes de rumbo y medios rumbos.
- En 17 de los 19 EVU (con similar superficie de 13.800m²), la cantidad de datos fue de 17 distribuidos de la siguiente manera:
 - Centro
 - Direcciones N – S – E – O: 4 datos a 120m del centro y 4 datos a 300m
 - Direcciones NE – SE – SO – NO: 4 datos a 170m del centro y 4 datos a 425m
- En el Parque de Mayo y Parque Rawson, la cantidad de datos fue de 25 distribuidos de la siguiente manera:
 - Centro
 - Para Rumbos: 4 datos a 120m; 4 a 360m y 4 a 660m
 - Para Medios Rumbos: 4 datos a 170m; 4 a 510m y 4 a 935m

En todos los casos, los datos más alejados del centro del EVU se obtuvieron en la tangente de la ROI sobre el eje a 45° de los medio-rumbos. El valor se obtiene con el Cursor location value, es decir corresponden a un dato

puntual. Los valores restantes se determinaron de una ROI circular de 120m de diámetro, la cual promedia los valores de los 12 píxeles que la componen (STATS).

En la Figura 2 se presenta la imagen satelital parcial de Verano 2011, procesada para obtener la Temperatura del aire, con algunos ejemplos de EVU con 17 y 24 puntos de toma.

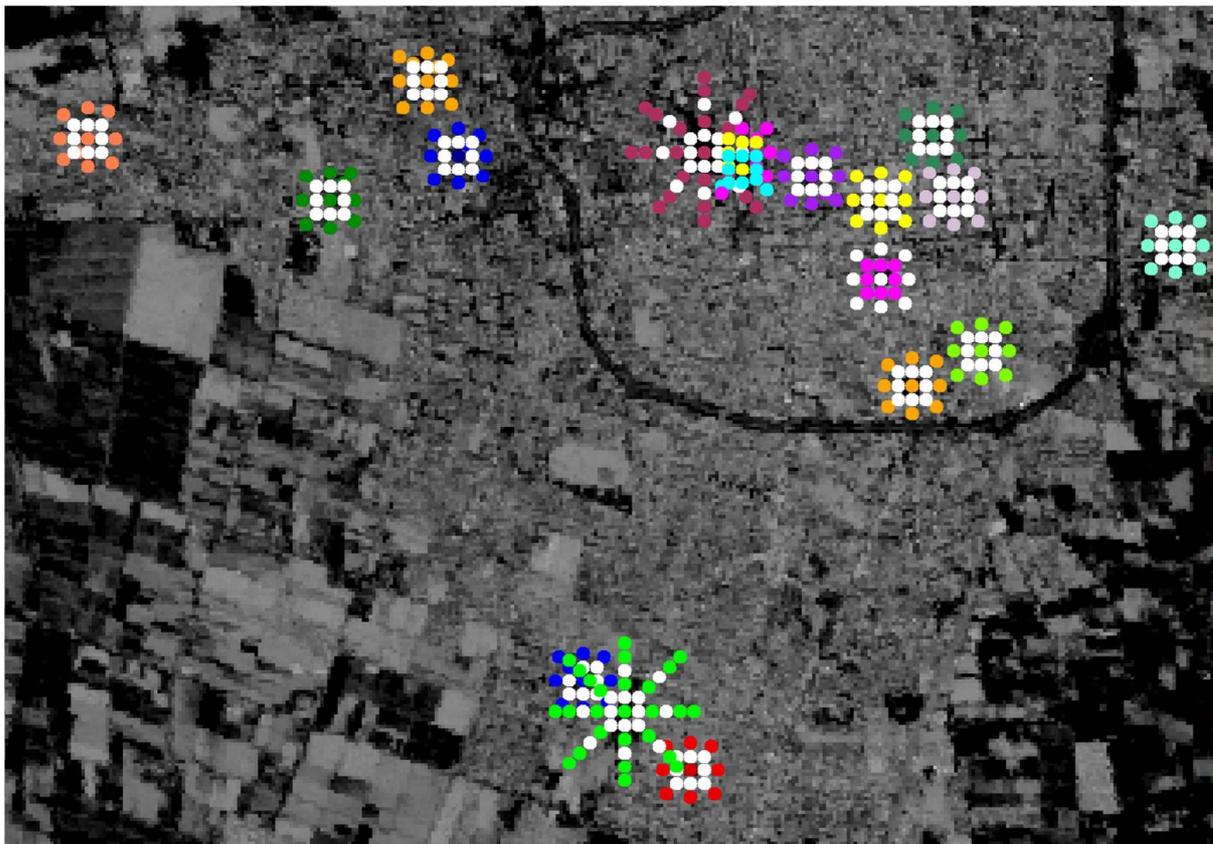


Figura 2: Sector de la imagen satelital procesada para obtención de temperatura del aire de Verano 2011, con algunos ejemplos de EVU con 17 y 24 puntos de toma.

Se obtuvo un total de 712 valores de temperatura del aire en los EVU y sus entornos inmediato y mediano: 306 por cada estación climática. Esta base de datos se referenció al centro de cada EVU aplicándose un software de interpolación de datos, con lo que pudieron obtenerse las isotermas de Verano e Invierno. A modo de ejemplo de las diferentes escalas espaciales de cada EVU, en la Figura 3 se muestran las isotermas de Verano de la Plaza Gertrudis Funes y del Parque de Mayo.

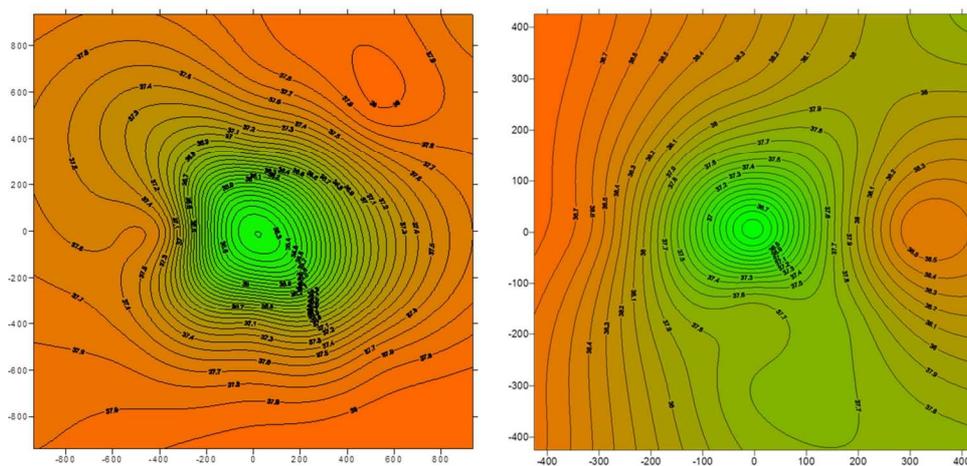


Figura 3: Isothermas Parque de Mayo y EVU Gertrudis Funes – VERANO Año 2011

ANÁLISIS DEL EFECTO TÉRMICO CONFORME LAS BANDAS URBANAS CARACTERÍSTICAS

La modificación de la temperatura del aire urbano que se aprecia en las isotermas de las Figuras 1 y 3, son consecuencia de la interrelación de los EVU con el resto de los elementos de la ciudad. Por tanto, la influencia térmica que dichos espacios

verdes proporcione, no solo tendrá relación con sus propias características (superficie, morfología, impronta arbórea, especies arbóreas y canopia de su forestación), sino con las características del espacio construido en el cual se inserta: tipología de canales viales, porcentaje de ocupación del suelo, volumetría edilicia.

En el proyecto “Isla de Calor Urbana obtenida con imágenes satelitales” CICTCA 21A – 857 (Papparelli, Cúnsulo *et al*, 2011/2013), se obtuvieron las Bandas Urbanas Características (BUC) del año 2012 (Figura 4). El método define, por medio del Factor de Ocupación del Suelo (FOS), cuatro Bandas Urbanas Características, consideradas éstas como “Áreas homogénea y continuas del ejido urbano, con índices urbanísticos de similar valor que identifican su condición territorial y su estado de situación espacial, comprendida entre dos isolíneas representativas de Factores de Ocupación del Suelo, las que actuando como límites, determinan una superficie circunvalar al centro principal de la ciudad”.(Papparelli, *et al*, 2009).

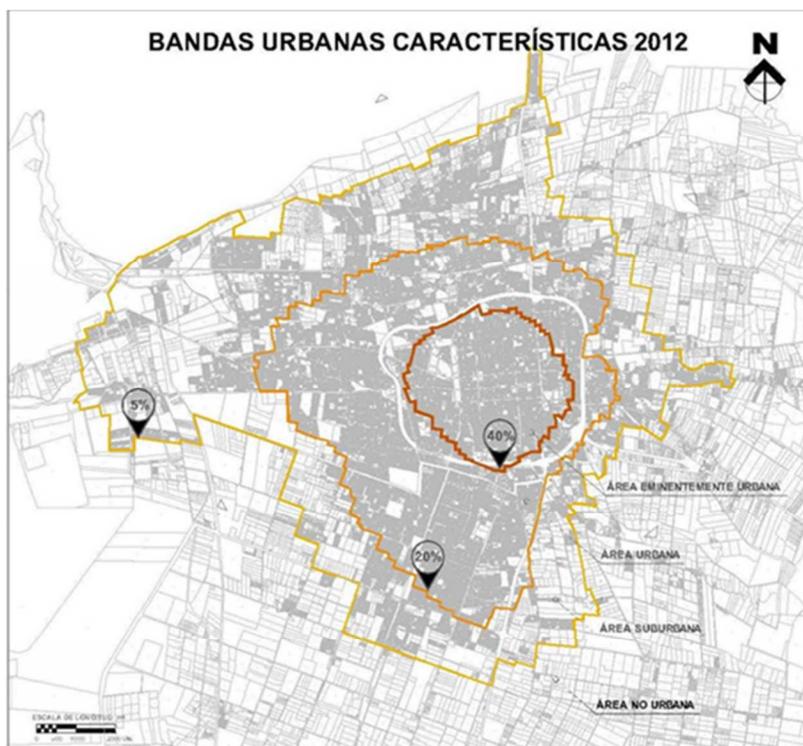


Figura 4: Bandas Urbanas Características AM San Juan.

Las BUC son cuatro: Banda Eminentemente Urbana; Banda Urbana; Banda Suburbana y Banda No Urbana. Los límites de FOS de cada una de ellas son:

- BANDA EMINENTEMENTE URBANA (EU) : FOS \geq 40%
- BANDA URBANA.....(UR) : 40% > FOS \geq 20%
- BANDA SUBURBANA.....(SU) : 20% > FOS \geq 5%
- BANDA NO URBANA..... (NU) : 5% > FOS

Estas BUC se relacionan con las volumetrías edilicias y su consecuente Densidad Volumétrica (DV), y por tanto con la canopia urbana (CU). Los valores límite de la Densidad Volumétrica (DV) son:

- BANDA EMINENTEMENTE URBANA (EU): DV \geq 15.000m³/Ha
- BANDA URBANA.....(UR): 15.000m³/Ha > DV \geq 8.000m³/Ha
- BANDA SUBURBANA.....(SU): 8.000m³/Ha > DV \geq 1.000m³/Ha
- BANDA NO URBANA..... (NU): 1.000m³/Ha > DV

Para conocer las diferencias del efecto térmico que pudieran existir entre los EVU ubicados en entornos urbanos de diferentes FOS y DV, se analizaron por su pertenencia a las diferentes BUC: BUC Eminentemente Urbana: 7 EVU; BUC Urbana: 7 EVU; BUC Suburbana: 3 EVU. Debido a que los dos parques están ubicados en diferentes BUC, no se analizaron en conjunto, sino en forma independiente. En las Figuras 5, 6 y 7, se muestran por cada Banda Urbana Característica, gráficos que muestran la variación de la temperatura del aire en Verano, desde el centro de cada EVU hacia su entorno, según las 5 distancias antes citadas: 1m, 120m, 170m, 300m y 425 m. En la Figura 5 se presenta dicha variación con los 17 datos en cada uno de los 7 EVU: 119 datos. En la Figura 6, la misma variación pero con un promedio de las temperaturas en cada una de las 5 distancias, para cada uno de los 7 EVU: 35 datos. En la Figura 7, la misma variación, pero promediando todas las temperaturas de los EVU, en cada una de sus distancias: 5 datos.

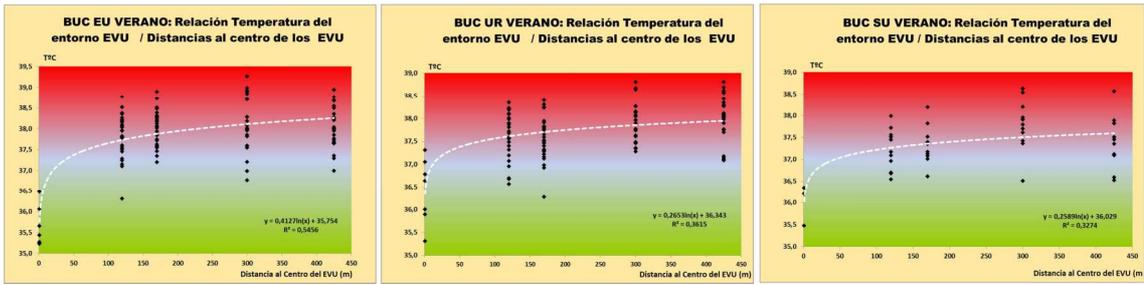


Figura 5: Variación para cada BUC, de la temperatura del aire desde el EVU hacia su entorno, según 5 distancias a partir del centro (119 datos). Verano.

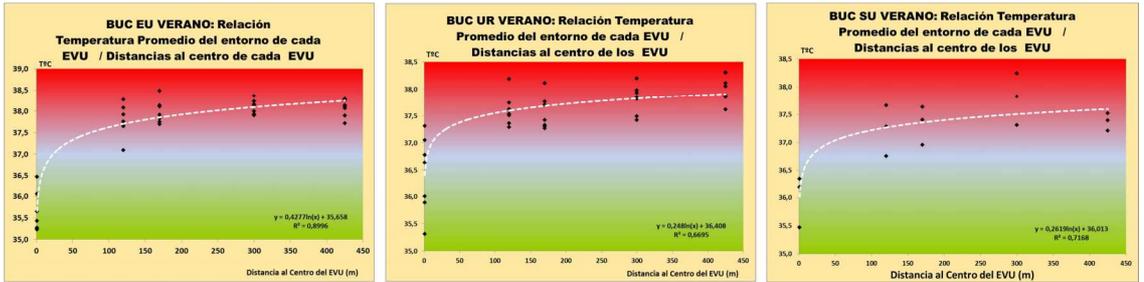


Figura 6: Variación para cada BUC, del promedio de la temperatura del aire desde el EVU hacia su entorno, según 5 distancias a partir del centro (35 datos). Verano.

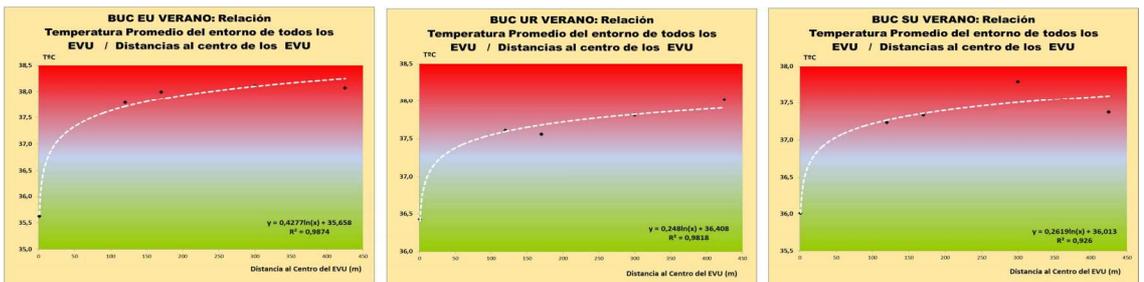


Figura 7: Variación para cada BUC, del promedio de temperatura del aire para todos los EVU, según 5 distancias a partir del centro (5 datos). Verano

En la Figura 8 se presentan agrupadas por BUC, la relación entre las improntas arbóreas de cada EVU y las máximas diferencias de temperaturas ($\Delta T^{\circ}C$) en Verano.

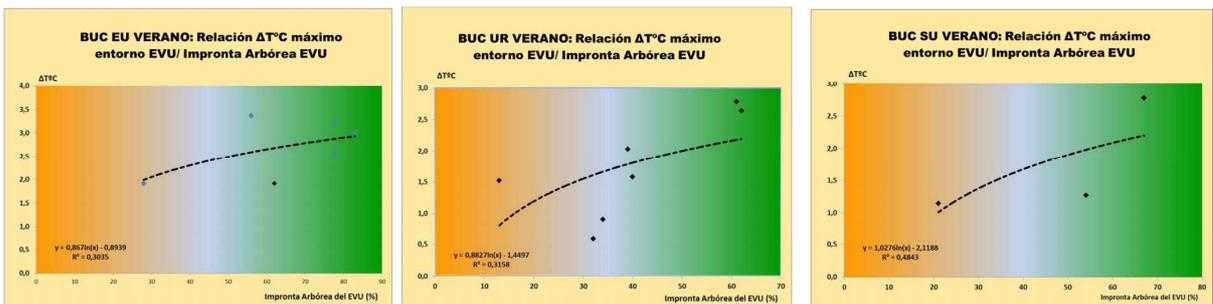


Figura 8: Relación por cada BUC de las improntas arbóreas y $\Delta T^{\circ}C$ máximo del EVU. Verano

En las Figuras 9 y 10, se muestran por cada Parque, gráficos de la variación de la temperatura del aire en Verano, desde el centro del espacio verde hacia su entorno, según las 7 distancias antes citadas: 1m, 120m, 170m, 360m, 510m, 660m y 935 m. En la Figura 9 se presenta dicha variación para los 25 datos resultantes. En la Figura 10, la misma variación pero promediando todas las temperaturas del Parque, en cada una de sus distancias: 7 datos.

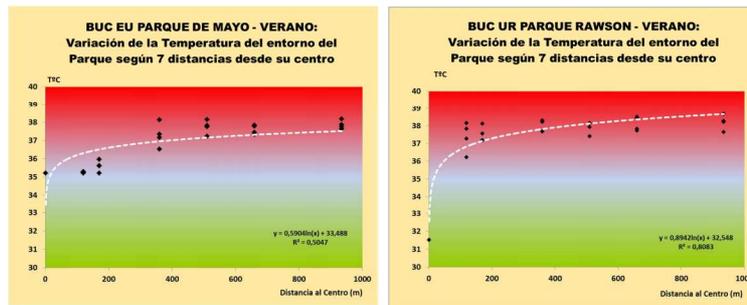


Figura 9: Variación de la temperatura del aire en el Parque de Mayo y su entorno, según 7 distancias, a partir del centro (25 datos). Verano.

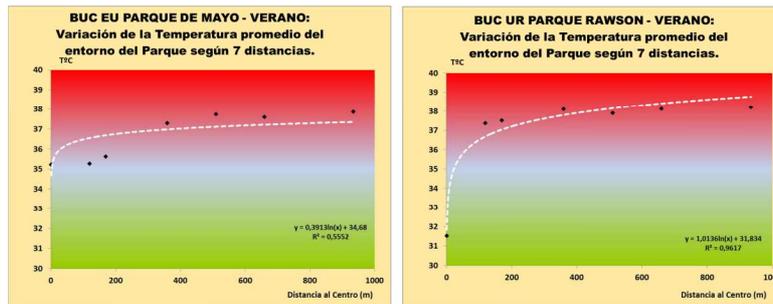


Figura 10: Variación de la temperatura del aire en el Parque de Mayo y su entorno, promediando las 7 distancias (7 datos). Verano.

RESULTADOS

El efecto térmico de los EVU, se analiza conforme tres aspectos interrelacionados: climáticos, espaciales y arbóreos. Los indicadores y las variables involucradas en cada caso fueron:

- ✓ **INTENSIDAD:** diferencia de temperatura existente entre el EVU y su entorno. Variables intervinientes: temperatura y espacio de cobertura.
- ✓ **ALCANCE:** longitud hasta la cual aumenta el efecto térmico del EVU; a partir de esa longitud, el efecto se mantiene constante o casi constante. Se mide con origen en el baricentro de cada EVU y en las direcciones cardinales principales. Variables intervinientes: espacio de cobertura y diferencia de temperatura.
- ✓ **IMPRONTA ARBÓREA:** superficie de proyección arbórea (a 90° sobre el terreno) del EVU, para obtener un ΔT mínima y máxima. Variables intervinientes: proyección arbórea – diferencias de temperatura.

➤ ESTACIÓN VERANO:

a) Por BUC:

- La INTENSIDAD del efecto térmico de los EVU, disminuye desde el centro urbano a la periferia: EU: $\Delta T = 2,71^\circ\text{C}$; UR: $\Delta T = 1,74^\circ\text{C}$; SU: $\Delta T = 1,73^\circ\text{C}$
- El ALCANCE del efecto térmico de los EVU aumenta levemente del centro a la periferia urbana: EU: 700m; UR: 700m; SU: 800m
- La IMPRONTA ARBÓREA mínima que debiera tener un EVU para lograr una INTENSIDAD mínima de $\Delta T = 1^\circ\text{C}$, aumenta del centro urbano a la periferia: EU: 10% - UR: 15% - SU: 20%. Es decir que para lograr la misma INTENSIDAD, se requiere mayor porcentaje de impronta arbórea. Para la BUC EU, una impronta mayor al 70%, carece de relevancia; para la BUC suburbana dicho fenómeno se produce con una impronta mayor al 80%.

b) Parque de Mayo: INTENSIDAD: $\Delta T = 8,87^\circ\text{C}$ - ALCANCE: 1000m

c) Parque Rawson: INTENSIDAD: $\Delta T = 2,75^\circ\text{C}$ - ALCANCE: 800m

➤ ESTACIÓN INVIERNO:

a) Por BUC:

- La INTENSIDAD del efecto térmico de los EVU, disminuye desde el centro urbano a la periferia: EU: $\Delta T = 3,56^\circ\text{C}$; UR: $\Delta T = 1,68^\circ\text{C}$; SU: $\Delta T = 1,57^\circ\text{C}$
- El ALCANCE del efecto térmico de los EVU disminuye del centro a la periferia urbana: EU: 1000m - UR: 800m - SU: 600m
- La IMPRONTA ARBÓREA mínima que debiera tener un EVU para lograr una INTENSIDAD mínima de $\Delta T = 1^\circ\text{C}$, aumenta del centro urbano a la periferia: EU: 10% - UR: 10% - SU: 30%. Es decir que para lograr la misma INTENSIDAD, se requiere mayor porcentaje de impronta arbórea. Para la BUC EU, una impronta mayor al 85%, carece de relevancia.

b) Parque de Mayo: INTENSIDAD: $\Delta T = 8,87^\circ\text{C}$ - ALCANCE: 1500m

c) Parque Rawson: INTENSIDAD: $\Delta T = 4,57^\circ\text{C}$ - ALCANCE: 1100m

CONCLUSIONES

Utilización de imágenes satelitales

Si bien la adquisición y el procesamiento de las imágenes satelitales para obtención de temperatura del aire, es laborioso y complejo, dichas imágenes resultan una herramienta idónea para trabajos de planificación urbana bioclimática, ya que permiten ampliar los estudios de eficiencia térmica de los espacios verdes urbanos, tanto en el tiempo como en el espacio. No obstante la obtención indirecta de la Temperatura del Aire a partir del NDVI y por tanto el posible margen de error que pudiera involucrar, los datos obtenidos convalidaron resultados de trabajos anteriores realizados por la Unidad Ejecutora, respecto al efecto de refrescamiento de los espacios verdes urbanos, utilizando mediciones *in situ*. Además, las diferencias térmicas obtenidas entre los espacios verdes y sus entornos, aún si se consideraran dichos márgenes de error, resultan por demás adecuadas para su aplicación en la planificación urbana bioclimática.

Es imprescindible complementar los datos térmicos satelitales, con mediciones *in situ* para termo-referenciar los datos de sensores remotos.

Si bien el tiempo de procesamiento de las imágenes satelitales para la obtención de datos no se reduce significativamente, el uso de esta herramienta, disminuye en gran medida el arduo trabajo de campo que involucra los registros *in situ* con sensores ambientales.

Efecto Térmico de los EVU

Se identificaron puntos frescos de la ciudad, en coincidencia con los EVU, verificándose el efecto térmico de los mismos. La mayor diferencia de Taire en el Verano entre las áreas verdes más frescas y las construidas más cálidas fue de 6,00°C.

Se calculó que esa diferencia de Taire se corresponde con un NDVI de 0,582972. Por lo cual éste indicaría el índice mínimo que deberían tener los EVU para lograr dicho efecto térmico.

Se demostró el impacto positivo que ejercen los EVU sobre el Clima Urbano, confirmando estudios previos con mediciones *in situ* sobre sus efectos en el refrescamiento de la ciudad.

Se identificó que el efecto térmico de los EVU está fuertemente asociado a la Isla de Calor de la ciudad: 5°C para Verano y 4,5°C en Verano (Cúnsulo *et al.* 2013).

INVESTIGACIONES FUTURAS

Debido a la obtención indirecta de la temperatura del aire a partir del NDVI, en trabajos futuros se determinarán los errores asociados a los algoritmos aplicados. Esto permitirá revisar las conclusiones alcanzadas en el presente trabajo, a fin de corroborar su validez.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio contó con la colaboración de la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales), entidad que proveyó las imágenes satelitales utilizadas y facilitó la inestimable participación de la Dra. Ing. Graciela Salinas en el dictado del curso “Teleobservación y procesamiento digital de imágenes satelitales”, para la formación de los integrantes de la Unidad Ejecutora. Agradecemos también especialmente al Arq. Carlos Cotlier, al Sr. Diego López y a la Ing. Cecilia Cornero, del Centro de Sensores Remotos, de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, por su completo y generoso asesoramiento.

REFERENCIAS

- Cotlier, C.; López, D.; Cornero, C. (2010). Apuntes del curso de Posgrado/Maestría en Ingeniería Vial “Los Sistemas de Información Geográfica y Teledetección: Geomática aplicada al uso urbano, regional y medio ambiente”, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina.
- Cúnsulo, M., Papparelli, A., Kurbán, A. (2012). Inferencia de la temperatura del aire urbano a partir del “NDVI” utilizando imágenes satelitales” AVERMA. Volumen 16. 2012 ISSN 0329-5184; Págs. 11.01 a 11.07.
- Goetz, S. J.; Prince, S. D.; Small, J. (2000). Advances in Satellite Remote Sensing of Environmental Variables for Epidemiological Applications. *Advances in Parasitology*, Vol 41, pp 289–307.
- Kurbán, Papparelli, Cúnsulo (2004). Measurements Of The Bioclimatic Effects Of Groups Of Trees In An Argentinian Arid City. *ARCHITECTURAL SCIENCE REVIEW* ISSN 0003 - 8628. Revista Internacional con Referato. Volumen 47 N°4, Págs.: 339 a 346, University of Sydney. AUSTRALIA.
- Kurbán, Papparelli, Cúnsulo; Montilla (2007a). Shading by urban forests in arid ecosystems. *ARCHITECTURAL SCIENCE REVIEW*. ISSN 0003 - 8628. Vol 50.2 Págs,122 a129. University of Sydney – AUSTRALIA.
- Kurbán, Papparelli, Cúnsulo; Montilla; Ortega; Roca; Ripoll (2009). Cobertura bioclimática arbórea en una ciudad de zona árida. *AVERMA Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 13 ISSN 0329-5184 Pág. 11.85 a 11.91.
- Kurbán, Papparelli, Cúnsulo; Montilla; Ortega; Roca; Ripoll (2010). Espacios verdes forestados y población en clima urbano árido *AVERMA Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*; Revista Nacional c/referato. ISSN 0329-5184.
- Kurbán, Papparelli, Cúnsulo; Montilla; Ríos (2007b). Espacios verdes y temperatura urbana en ecosistemas áridos. *AVERMA Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*; ISSN 0329-5184; Volumen11 Págs 11.09 a 11.15.
- Papparelli, A., Cúnsulo, M., Kurbán, A. (2009). Planificación Sustentable del Espacio Urbano ISBN 978-987-584-196-3. Editorial Klickzowski/NOBUKO. Bs. As.
- Papparelli, A., Cúnsulo, M., Kurbán, A. (2011/2013). Isla de Calor Urbana obtenida con imágenes satelitales CICTCA 21A – 857.
- Pérez González, M^a. E., García Rodríguez M^a. P., y Guerra Zaballos, A. (2003). Análisis del clima urbano a partir de imágenes de satélite en el centro peninsular español. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, Vol 23, pág. 187-206.

ABSTRACT: The seasonal thermal effect of 19 Urban Green Spaces previously identified as bioclimatically efficient within the Metropolitan Area of San Juan, was studied through the processing of multispectral satellite images LANDSAT 5 TM + for year 2011. The air temperature was obtained with the TvX method from a broad sampling of relationship between the normalized vegetation index NDVI and the surface temperature. The calculated thermal data and records were combined with a weather station located in the city center. The results obtained validated with *in situ* field work regarding the cooling effect of urban green space can be extended to studies of thermal efficiency of urban green spaces, both in time and in space. Though the acquisition and processing of satellite imagery to obtain air temperature is laborious and complex, these images are an ideal tool for bioclimatic urban planning works.

Keywords: Satellite Imagery – Bioclimatic Urban Design – Arid Zones