

## **“MODELADO URBANO A MICROESCALA: CONTRIBUCIÓN AL CONFORT URBANO DE ECOSISTEMAS ARIDOS”.**

**G. Roca<sup>1</sup>, S. Puliafito<sup>2</sup>, D. Allende<sup>3</sup>, F. Ruggieri<sup>4</sup>, R. Pascual<sup>5</sup>,**

Grupo de Estudios de la Atmósfera y el Ambiente (GEAA), Facultad Regional Mendoza- Universidad Tecnológica. Nacional, Rodríguez 273, (M5502AJE) Mendoza, Argentina. Tel: 54 261 5243003.

Email: arq.gabriela.roca@gmail.com

*Recibido 12/08/16, aceptado 10/10/16*

**RESUMEN** Este trabajo es la continuación de estudios anteriores, mejorando los criterios de selección, evaluación y clasificación. Describe la formulación y evaluación de un Modelo de Confort Urbano a Microescala, que permite describir y estimar el impacto de la antropización a nivel local, con el propósito de ayudar en la toma de decisiones relacionadas al confort urbano. La conformación de hábitats urbanos de escala media en zonas áridas, requiere estudios puntuales que hasta el momento no se han realizado sobre la relación entre confort urbano, calidad de aire y tipologías urbanas específicas. Los resultados se asociaron con zonas representativas del clima local (LCZ), que ayudaron a identificar detalladamente, las diferentes condiciones dentro de la ciudad. La orientación, conformación, morfología de la ciudad, los vientos y el uso del suelo, tienen una fuerte influencia sobre el confort térmico urbano y la exposición a partículas.

**PALABRAS CLAVES:** Modelado Urbano Microclimático, Confort Urbano, Diseño Urbano Sustentable, Ambientes Áridos.

### **INTRODUCCION**

El incremento de la tasa de urbanización se asocia con cambios en el uso y la cobertura del suelo (LULC), con un aumento en la contaminación del aire y una mayor demanda de consumo de energía y agua. Estos cambios antrópicos han aumentado la diferencia de temperatura entre los entornos urbanos y rurales o periféricos, produciendo el efecto de lo que se conoce como "Isla de Calor Urbana" (UHI). Las unidades de paisaje urbano tales como edificios, calles, árboles, jardines y parques interactúan de distinta manera con las capas atmosféricas adyacentes, tanto en escalas espaciales como temporales, en función de la exposición a la radiación solar, el intercambio neto de radiación de onda larga y la ventilación (Chow y Brazel 2011).

### **CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS URBANAS**

La definición de las zonas climáticas locales (LCZ) se basaron en la descripción propuesta por Stewart y Oke, (2012). Para clasificar las LCZ, se recorrieron en vehículo y caminado, el área bajo estudio, identificando la siguiente información: descripción del sitio (latitud, longitud, altura); parámetros urbanos (relación de aspecto, superficie construida, superficie permeable, superficie impermeable, altura de los elementos urbanos, tipo de rugosidad de los elementos urbanos); factor de visión al cielo (fracción de cielo descubierto en el hemisferio visible desde el nivel del suelo, en relación con la visión); conteo del tráfico vehicular (buses, camiones, camionetas, autos y motos); información meteorológica (temperatura, humedad relativa, radiación solar, viento) y mediciones de material particulado (PM10, PM2.5, PM1). Se usaron fotografías aéreas provenientes de Google Earth y fotografías a nivel suelo tomadas en el relevamiento in situ.

---

<sup>1</sup> Arquitecta Independiente en Formación Doctoral.

<sup>2</sup> Investigador Independiente CONICET.

<sup>3</sup> Dr. Ing. Químico. Investigador. GEAA- UTN Regional Mendoza.

<sup>4</sup> Ing. Química. Becaria en Formación Doctoral CONICET.

<sup>5</sup> Ing. Química. Becaria en Formación Doctoral FONCyT.

El área bajo estudio incluyó distintos tipos de uso de la tierra dentro de la ciudad y su periferia: espacios abiertos, zonas agrícolas rurales con riego artificial (en su mayoría viñedos), zonas residenciales, zonas semiáridas, parques urbanos y calles con árboles. Los rasgos más finos de uso de la tierra se han obtenido utilizando la clasificación de usos del suelo del Plano de Zonificación del Gran San Juan, realizado por la Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano de la Provincia de San Juan (Figura 18 Gobierno de la Provincia de San Juan 2010).

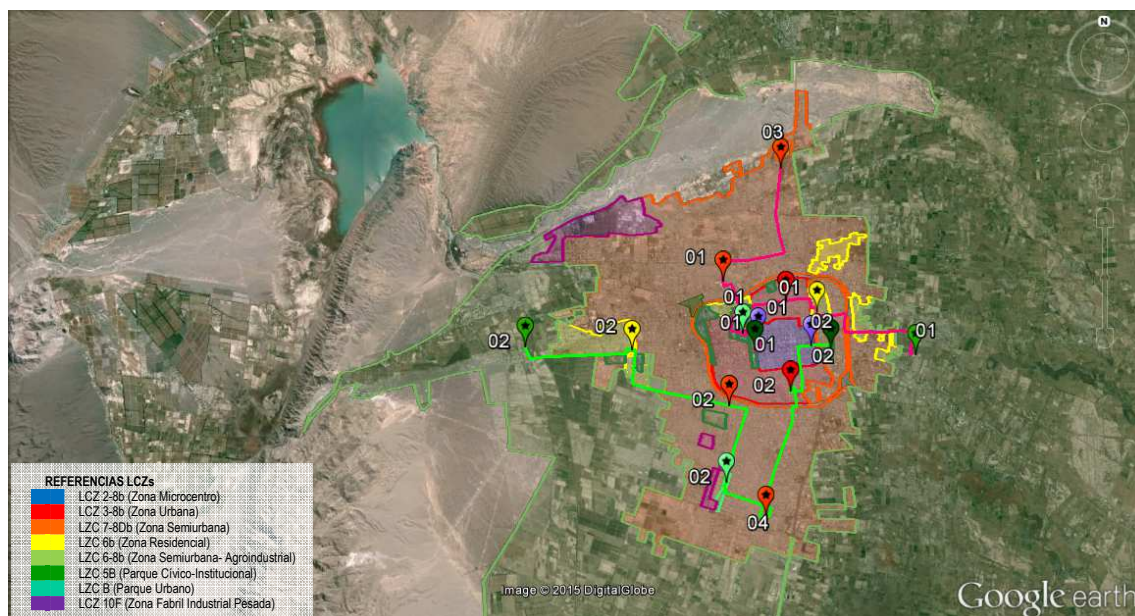


Figura 1. Mapa de las LZC para el Área metropolitana de San Juan con sus recorridos y puntos de mediciones fija y móviles, meteorológicas y atmosféricas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la selección de las zonas climáticas, se utilizó el sistema de clasificación Local Climate Zones, conocido por sus siglas en inglés LCZs, fue propuesto por Stewart y Oke (2012), quienes las definen como aquellas regiones de cubierta uniforme de la superficie, estructura, material y la actividad humana que abarcan desde cientos de metros a varios kilómetros de escala horizontal. Los rasgos más finos de uso de la tierra se obtuvieron utilizando la clasificación de usos del suelo del Plano de Zonificación del Gran San Juan, realizado por la Dirección de Planeamiento y desarrollo Urbano de la Provincia de San Juan.

Para las mediciones fijas de temperatura, humedad relativa, radiación solar, viento, heliofanía, se utilizaron tres estaciones meteorológicas DAVIS Pro 2 Plus que representan diferentes condiciones urbanas (microcentro, urbano y suburbano). Las mediciones itinerantes se realizaron en un circuito continuo que abarcó 10 puntos de medición en la dirección norte-sur (recorrido magenta) y otro que abarcó 10 puntos más en la dirección este-oeste. Se realizó un circuito por día, midiendo durante tres períodos diferentes de un mismo día con regímenes estables de temperatura: por la mañana temprano, comenzando a las 8:00 hora local; a la tarde, comenzando a las 14:00 hs., y en la noche, justo después de la puesta del sol a las 20hs. Cada circuito duró aproximadamente 2 horas en total, es decir que sólo hubo un desfase de 120 minutos entre la primera y la última medición a través de la Ciudad de San Juan. Durante las mediciones fijas e itinerantes también se midió Material Particulado, el instrumento se configuró para escanear las distribuciones de tamaño solamente para 10, 2.5 y 1  $\mu\text{m}$ , en todos los sitios de monitoreo cada 1 minuto, durante un período mínimo de 5 minutos por LCZ, se contabilizaron todo tipo de vehículos motorizados públicos y privados, para correlacionarlos con los registros de emisiones.

Para el cálculo del índice de temperatura fisiológicamente equivalente (PET) se utilizó el Modelo Rayman desarrollado por el Instituto de Meteorología en la Universidad de Freiburg, Alemania.

## RESULTADOS

### APLICACIÓN DEL SISTEMA DE ZONAS CLIMÁTICAS LOCALES PARA SAN JUAN.

**Descripción:** LZC 2-8b. **Tipología:** Zona que conjuga tres tipos de elementos: i) mezcla densa de edificios de mediana altura (entre 1 a 6 pisos), calles pavimentadas, suelo impermeable en un 90 %, los materiales de construcción son piedra, ladrillo visto, azulejos, hormigón, pintura de fachadas mayormente claras, veredas anchas cubiertas en su totalidad de mosaico calcáreo de color amarillo y algunas de grancilla; ii) construcciones de mediana altura de hormigón y metal y iii) árboles altos de hojas caducas (plátanos y moreras), que forman bóvedas verdes, que arrojan sombra.



Tabla 1a y b: Zona microcentro. Función: industrial, comerciales, institucionales y residenciales.

**Descripción:** LZC 3-8b. **Tipología:** Zona que conjuga tres tipos de elementos: i) mezcla densa de edificios de mediana altura (entre 1 a 3 pisos), calles pavimentadas, suelo impermeable en un 90 %, los materiales de construcción son piedra, ladrillo visto, azulejos, hormigón, pintura de fachadas mayormente claras, veredas anchas cubiertas en su totalidad de mosaico calcáreo de color amarillo y algunas de grancilla; ii) construcciones de mediana altura de hormigón y metal y iii) árboles altos de hojas caducas (plátanos y moreras), que forman bóvedas verdes, que arrojan sombra.

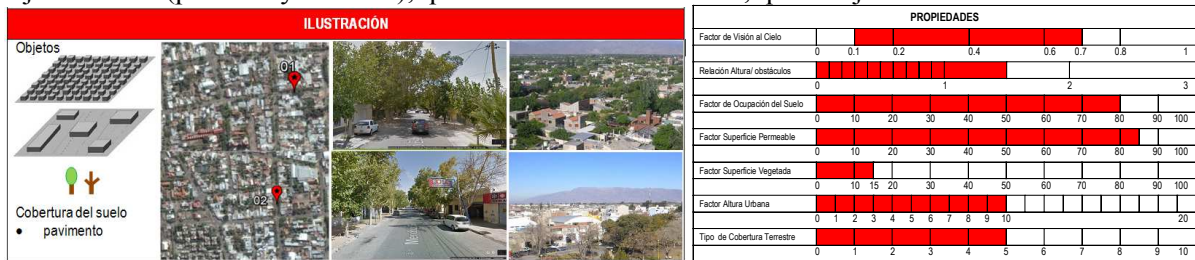


Tabla 2a y b: Zona urbana. Función: industrial, comerciales, institucionales y residenciales.

**Descripción:** LZC 7-8Db. **Tipología:** Zona que conjuga cuatro tipos de elementos: i) mezcla densa de edificios de mediana altura (entre 1 a 3 pisos), calles pavimentadas, son hormigón, ladrillo visto, tejas francesas, piedra laja y travertino, pintura de colores en las fachadas; calles anchas pavimentadas, veredas completamente impermeables de mosaico calcáreo de colores, baldosas de grancilla y de hormigón; ii) construcciones de mediana altura de hormigón y metal, iii) árboles altos de hojas caducas (plátanos y moreras) que arrojan sombra.



Tabla 3a y b: Zona semiurbana. Función: industrial, comerciales, institucionales y residenciales.

**Descripción:** LZC 6b. **Tipología:** Zona que conjuga dos tipos de elementos: i) mezcla densa de edificios de baja altura (1 a 2 pisos), calles pavimentadas, son hormigón, los materiales de construcción son ladrillo visto, tejas francesas, piedra laja y travertino, pintura de colores en las fachadas; calles anchas pavimentadas, veredas completamente impermeables de mosaico calcáreo de colores, baldosas de grancilla y de hormigón; ii) árboles altos de hojas caducas (plátanos y moreras) que arrojan sombra.



Tabla 4 a y b: Zona semiurbana. Función: residencial.

**Descripción:** LZC 6-8b. **Tipología:** Zona que conjuga tres tipos de elementos: i) disposición residencias de interés social de baja altura (1 piso), los materiales de construcción son hormigón, ladrillo, bloque de hormigón, revoque cementicio y pinturas claras, anchas calles pavimentadas, veredas de tierra apisonada; ii) áreas de suelo permeable cubierto mayoritariamente de viñedos, también hay arbustos, matorrales, tierra desnuda, regados artificialmente, acequias con circulación de agua para riego, banquetas con pastizales y iii) árboles altos de hojas caducas (moreras y álamos) que arrojan sombra.



Tabla 5 a y b: Zona semiurbana periférica. Función: residencial y agroindustrial.

**Descripción:** LZC B. **Tipología:** Zona que posee un tipo de elemento: i) Paisaje ligeramente boscoso, tiene árboles de hoja caduca y / o de hoja perenne que arrojan sombra. Suelo principalmente permeable (plantas bajas).



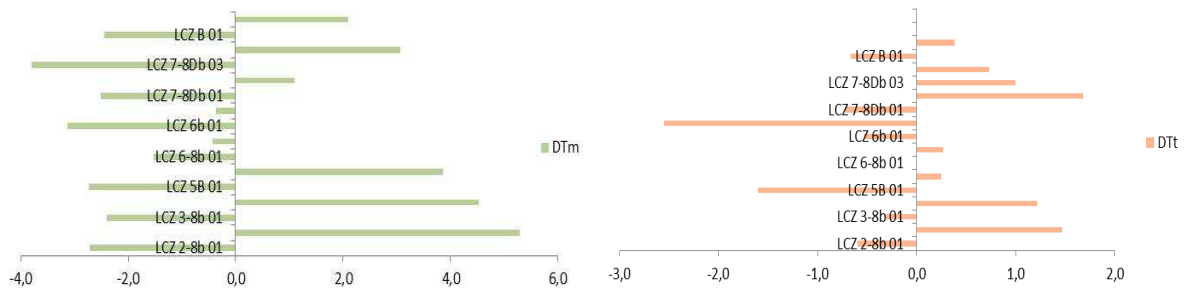
Tabla 6 a y b: Zona intraurbana. Función: Parque urbano.

**Descripción:** LZC 5B. **Tipología:** Zona que posee dos un tipos de elementos: i) edificios de gran tamaño, de mediana altura (entre 3 a 6 pisos), los materiales de construcción son hormigón, piedra laja y travertino, pintura de colores en las fachadas; calles anchas pavimentadas, veredas completamente impermeables de mosaico calcáreo de colores, baldosas de grancilla y de hormigón y ii) paisaje ligeramente boscoso, tiene árboles de hoja caduca y / o de hoja perenne que arrojan sombra. Suelo principalmente permeable (plantas bajas).

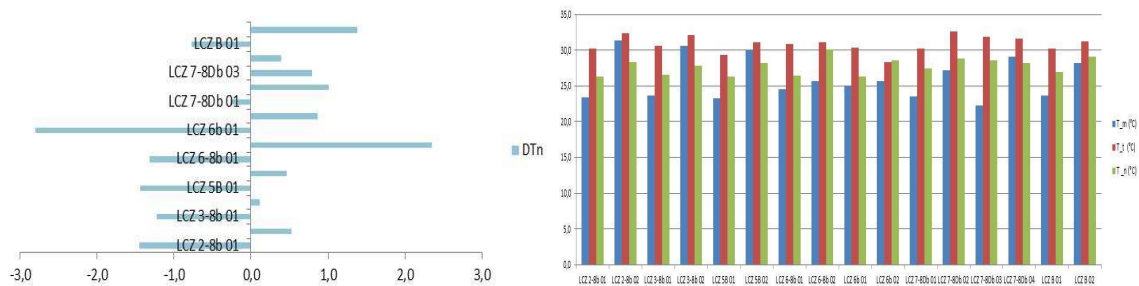


Tabla 7 a y b: Zona intraurbana. Función: Parque cívico- institucional.

# ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE TEMPERATURA FISIOLÓGICAMENTE EQUIVALENTE (PET)



Figuras 2 y 3: Diferencias de temperatura por LCZ (medición matutina- medición de tarde).



Figuras 4 y 5: Diferencias de temperatura por LCZ (medición nocturna). Comportamiento de temperatura por puntos similares (todas las mediciones)

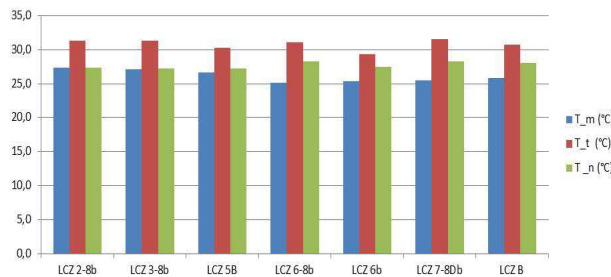
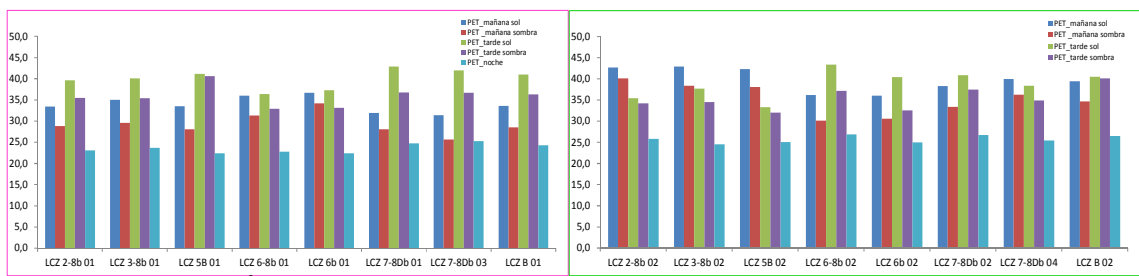
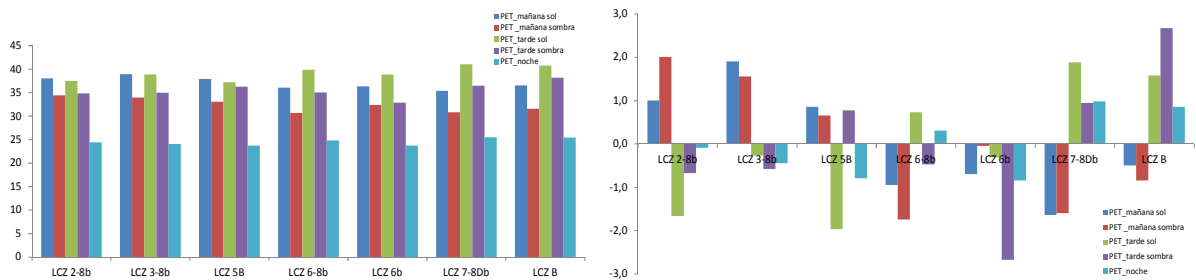


Figura 6: Comportamiento de temperatura por LCZ (todas las mediciones)

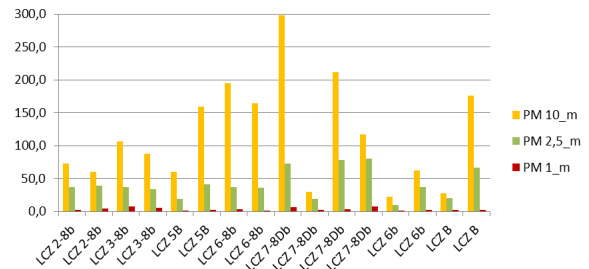
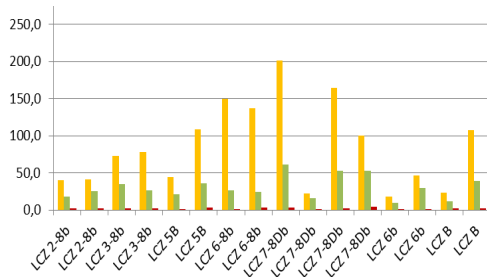


Figuras 7 y 8: Índice PET por LCZ (todas las mediciones: recorrido magenta y verde).

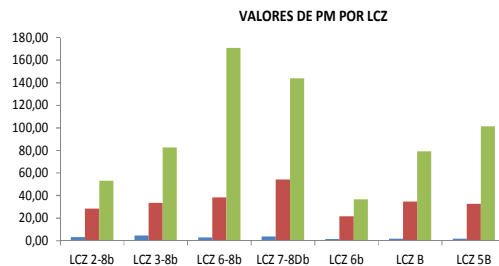
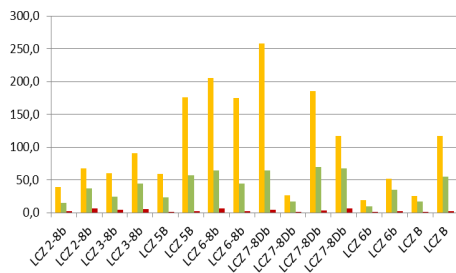


Figuras 9 y 10: Índice PET por LCZ\_valor promedio (todas las mediciones). Diferencia de temperatura índice PET por LCZ\_valor promedio.

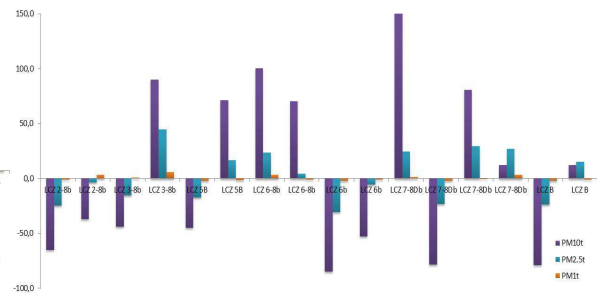
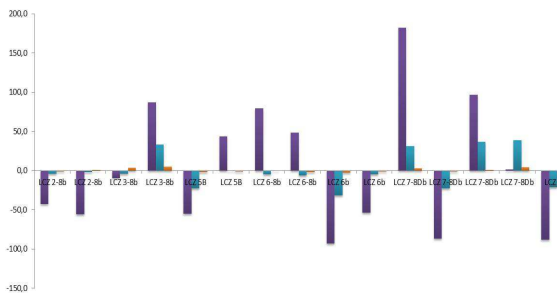
## ANÁLISIS DE MATERIAL PARTICULADO PM10, PM2.5 Y PM1, DE MEDICIONES ITINERANTES EN LAS LCZ DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JUAN



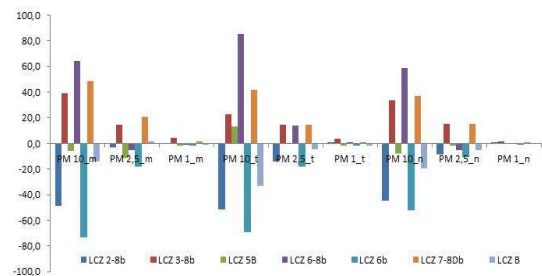
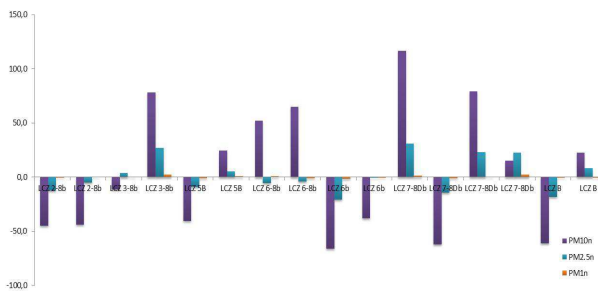
Figuras 11 y 12: Material particulado por puntos similares (medición matutina y vespertina)



Figuras 13 y 14: Material particulado puntos similares (medición nocturna). Valores PM por LCZ



Figuras 15 y 16. Material particulado por puntos similares \_diferencias respecto de la media (medición matutina y vespertina)



Figuras 17y 18. Material particulado por puntos similares, diferencias respecto de la media (medición nocturna). Material particulado por LCZ \_diferencias respecto de la media

## DISCUSIÓN

El índice fisiológico equivalente (PET), considera como “Confortable” el rango de temperatura entre 18°C a 23°C, es decir sin estrés térmico, sin embargo, ninguna LCZ logra cumplimentar ese rango de confort bajo efecto de la sombra, excepto en las mediciones nocturnas y solo en 2 de 7 LCZ, pero si se han obtenido muy buenos valores de PET en las diferencias sol- sombra, alcanzando en varias mediciones valores de casi 5°C entre una y otra (Matzarakis; et al., 1999). La elaboración de los LCZ,

nos permitió evaluar no sólo la isla de calor urbana en términos de la diferencia urbano-rural, sino que se pudieron realizar evaluaciones intraurbanas, calculando diferencias entre las diversas LCZ. Los resultados principales indican lo siguiente:

Parámetro/LCZ		B	5B	2-8b	3-8b	7-8Db	6b	6-8b
mañana	D Temperatura							
	D PET							
	D PM10							
	D PM2.5							
	D PM1							
tarde	D Temperatura							
	D PET							
	D PM10							
	D PM2.5							
	D PM1							
noche	D Temperatura							
	D PET							
	D PM10							
	D PM2.5							
	D PM1							
Referencia		zona de confort urbano		zona de confort reducido		zona de disconfort urbano		

Tabla 8: Parámetros por LCZ durante todo un día.

#### A. DISCONFORT URBANO

i) **LZC 2-8b**: éste área, resultó de confort reducido, puesto que tiene varios parámetros que contribuyen a su degradación ambiental, tanto higrotérmicos como atmosféricos. Climáticamente, resultó ser una de las LCZ más calurosas durante las tres mediciones de un mismo día, destacándose la mañana y la tarde con uno de los valores más elevado de temperatura. Respecto al índice de confort PET, presentó estrés por calor fuerte al sol y estrés por calor moderado a la sombra, en la medición diurna y vespertina; la medición de la noche obtuvo un PET con estrés por calor suave. Los resultados obtenidos, pueden deberse a que es la LZC más densamente construida en superficie y en altura, la volumetría edilicia es compacta, el 90% de los materiales son impermeable, no existen superficies verde horizontales ni verticales que humidifique el aire; las calles son anchas, pero al elevarse la altura del perfil urbano y reducirse a cero los retiros de la construcción dejan de ser canales viales y se transforman en cañones viales. La arboleda es densa y alta (alcanza hasta 3 niveles de construcción, conformando una bóveda verde cuyo el efecto de su sombra contribuye al confort térmico, pero por otro lado impide que se ventile la zona, el aire se limpie y disminuya la temperatura. La zona si bien logra a la noche retornar a la temperatura del amanecer, durante toda la noche y hasta el amanecer la temperatura es constante, no logrando refrescarse por debajo de ese límite, fuera de la arboleda pública, no existen elementos, ni materiales constructivos que mitiguen el estrés por calor, incluso que puedan contribuir al confort urbano.

Respecto a las mediciones de contaminación atmosféricas, arrojó niveles altos de material particulado (PM 10, 2.5 y 1) mañana, tarde y noche. Esto puede deberse a que por la mañana, hora a la que comienza una fuerte actividad comercial e institucional, hay resuspensión de polvo, sumado a la circulación de vehículos al ser una zona fuertemente transitada (en un período de 15 minutos se midieron 198 autos privados, 42 motos, 47 camionetas, 4 camiones y 23 buses públicos) con la consiguiente emanación de gases antropogénicos que ello implica. Los edificios altos construidos en la línea municipal y su elevada altura, enangosta la proporción del canal vial, más la arboleda abovedada, conforman caños urbanos tubulares, que no permiten que el viento transite fácilmente refrescando y limpiando el aire, no existe ninguna superficie verde (fuera de la arboleda pública), ni material de absorción de material particulado, generando así niveles elevados de disconfort meteorológico-atmosféricos.

ii) **LZC 3-8b**, ésta área, es contigua a la **LCZ 2-8b**, no es microcentro sino una zona urbana, pero con la misma densidad y ocupación de suelo que la anterior (industrial, comercial, institucional y

residencial), pero en ésta baja a casi la mitad la densidad volumétrica edilicia. Del procesamiento de resultados se dedujo como zona de desconfort elevado, tanto térmicos como de contaminación ambiental. Climáticamente, resultó ser una de las LCZ más calurosas durante las tres mediciones de un mismo día, destacándose la mañana y la tarde con los valores más elevados de temperatura y por la noche levemente menor. En cuanto al índices de confort (PET), obtuvo tanto en la mañana, como en la noche, estrés por calor fuerte bajo el sol y estrés por calor moderado bajo la sombra, por la noche se obtuvo estrés por calor suave. Los resultados obtenidos, pueden deberse a que la LZC es densamente construida en superficie y en altura, la volumetría edilicia es compacta de mediana altura, el 90% de los materiales son impermeable, no existen superficies verde horizontales ni verticales que humidifique el aire; las calles son anchas, pero al reducirse a cero los retiros de la construcción los canales viales se quedan sin áreas verdes, prevalecen la áreas verticales y horizontales impermeables bajo efecto del sol, propiciando la absorción y reflexión del calor. La arboleda es densa y de mediana altura (alcanza hasta 2 niveles de construcción, conformando un fenotipo redondeado y compacto, cuyo el efecto de su sombra contribuye al confort térmico en la inmediatez; pero por otro lado conforma una masa espesa que impide que la brisa circule con facilidad, que la zona se ventile, el aire se limpie y humidifique y disminuya la temperatura. La zona si bien logra a la noche retornar a la temperatura del amanecer, durante toda la noche y hasta el amanecer la temperatura es constante, no logrando refrescarse por debajo de ese límite, no existen elementos, ni materiales constructivos que mitiguen el estrés por calor, incluso que puedan contribuir al confort urbano.

A lo que se suma que arrojó los niveles más altos de material particulado (PM 10, 2.5 y 1) mañana, tarde y noche. Esto puede deberse a que por la mañana, hora a la que comienza una fuerte actividad comercial e institucional, hay resuspensión de polvo, sumado a la circulación de vehículos, es una zona fuertemente transitada (en un período de 15 minutos se midieron 194 autos privados, 43 motos, 48 camionetas, 4 camiones y 12 buses públicos) con la consiguiente emanación de gases que ello implica. Los edificios de doble altura o más construidos en la línea municipal, más la espesa arboleda entorpecen el paso del viento y que no transita fácilmente refrescando y limpiando el aire, advirtiéndose niveles elevados de desconfort térmico- atmosféricos, no existe ninguna superficie verde (fuera de la arboleda pública), ni material de absorción de material particulado, generando así niveles elevados de desconfort meteorológico- atmosféricos.

iii) **LZC 6-8b**, está ubicada en la zona semiurbana periférica, su función es residencial y agroindustrial. De los resultados obtenidos se dedujo como zona de elevado desconfort. Climáticamente, resultó ser una de las LCZ más calurosas durante las tres mediciones de un mismo día, incluso a la noche resultó una de las más calurosa, sin embargo obtuvo uno de los mejores valores de índices de confort (PET) bajo efecto de la sombra a la mañana y a la tarde, por la mañana al sol resulto estrés por calor fuerte y a la sombra estrés por calor moderado; por la tarde al sol estrés por calor extremo y a la sombra estrés por calor fuerte, finalmente a la noche estrés por calor suave. Los resultados obtenidos, pueden deberse a que la LZC es preponderantemente agroindustrial, su suelo es más del 80% permeable y más del 70% está ocupado con suelos agrícolas de riego inducido, la zona es muy aplanada y libre de obstáculos, provocando por un lado gran desconfort al efecto del sol (hay grandes áreas de tierra desnuda, en los campos y en las banquetas y anchas calles de asfalto sin abrigo de sombra). La arboleda pública es muy heterogénea tiene ejemplares muy antiguos de gran tamaño y en mal estado que pueden ocasionar daños a la población, también ejemplares jóvenes que alcanza 1½ nivel de construcción sin buen mantenimiento, por lo que adquieren fenotipos no acordes al uso. Sin embargo bajo el efecto de la sombra de las densas arboledas y el paso sin obstáculos del viento humidificado por el riego de los terrenos agrícolas, arrojó unos de los mejores valores de PET.

Aunque al mismo tiempo esta LCZ, resultó con los niveles más altos de material particulado (PM 10, 2.5 y 1) mañana, tarde y noche. Las deducciones obtenidas, pueden deberse a que la LZC es fuertemente agroindustrial, la actividad ladrillera genera altos índices de polución ambiental y la puesta en marcha cada mañana de las actividades vinculadas a la agroindustria. Por la mañana, hora a la que comienza la fuerte actividad agroindustrial (vitivinícola, agrícola y fabricación de ladrillos) se genera movimiento de suelo (hay gran cantidad de suelo terroso flojo), resuspensión de polvo, sumado a la circulación de grandes vehículos de carga; a pesar de ser periférica es una zona fuertemente transitada (en un período de 15 minutos se midieron 42 autos privados, 26 motos, 20 camionetas y 7



camiones). La edificación es abierta de baja altura y las calles anchas, pero predominan las superficies impermeables (calles pavimentadas) y terrosas (banquinas amplias de tierra floja, el viento pasa casi sin obstáculos arrastrando consigo gran cantidad de material particulado, pero a la vez cumple con el efecto de refrescamiento, advirtiéndose niveles elevados de discomfort térmico- atmosféricos.

iv) **LZC 7-8Db**, éste área es semiurbana, comparte el mismo uso de suelo que LCZ 2-8b y 3-8b (industrial, comerciales, institucionales y residenciales), pero cada vez se aleja más del microcentro, disminuye en consecuencia en la densidad constructiva, horizontal y vertical. Esta LCZ arrojó valores de confort urbano reducido. Climáticamente, resultó ser bastante calurosas durante las mediciones de la tarde y noche, sin embargo obtuvo uno de los valores más bajos de temperatura por la mañana. Respecto a los valores de índice de confort (PET), por la mañana obtuvo uno de los mejores PET; al sol estrés por calor moderado y a la sombra estrés por calor suave, a la tarde al sol estrés por calor extremo y a la sombra estrés por calor moderado, por último a la noche obtuvo uno de los valores más elevado sin la influencia del sol directo, estrés por calor suave. Los resultados obtenidos, pueden deberse a que la LZC es densamente construida y compacta de baja altura, más del 90% de suelo impermeable, calles son anchas, la arboleda es escasa e irregular, de mediana altura; si bien el efecto de la sombra contribuye al confort térmico en su inmediatez, la arboleda pública está en muy malas condiciones de conservación, faltan gran cantidad de ejemplares. Hay extensas superficies bajo el efecto del sol, absorbiendo y emanando calor. Las áreas verdes son muy escasas y sólo en horizontal. La zona muestra de manera contundente, la falta de sombra, pues durante el día bajo efecto del sol, se mantiene en discomfort, a diferencia del amanecer que arrojó un buen valor PET, posiblemente debido a la larga brecha horaria sin el efecto del sol y expuesta a la acción del viento que refresca.

A lo que se suma que arrojó altos niveles de material particulado (PM 10, 2.5 y 1) mañana, tarde y noche. Esto puede deberse a que por la mañana, hora a la que comienza una fuerte actividad comercial e institucional, hay resuspensión de polvo (hay extensas zonas terrosa), sumado a la circulación de vehículos, es una zona fuertemente transitada (en un período de 15 minutos se midieron 191 autos privados, 94 motos, 67 camionetas, 11 camiones y 11 buses públicos) con la consiguiente emanación de gases que ello implica. La edificación es compacta y las calles anchas, pero predominan las superficies impermeables y la escasas de zonas verdes y húmedas, el viento pasa casi sin obstáculos arrastrando consigo gran cantidad de material particulado, pero a la vez cumple con el efecto de refrescamiento, advirtiéndose niveles elevados de discomfort térmico- atmosféricos.

### **CONFORT URBANO**

v) **LZC 6b**, está localizada en zona semiurbana, con uso de suelo eminentemente residencial. Del procesamiento de resultados se dedujo como el área de confort urbano más elevado. Climáticamente, resultó ser una de las LCZ más frescas durante las tres mediciones de un mismo día. Incluso obtuvo uno de los mejores valores de índices de confort (PET) bajo efecto de la sombra; a la mañana al sol se obtuvo estrés por calor fuerte y bajo la sombra estrés por calor moderado, a la tarde al sol se obtuvo estrés por calor fuerte y bajo la sombra estrés por calor suave, convirtiéndose en el punto más fresco bajo la sombra respecto a todas las LCZ en la medición de mayor pico de calor; finalmente a la noche el valor dio confortable. Los resultados obtenidos, pueden deberse a que la LZC es preponderantemente residencial, el uso del suelo está equilibradamente distribuido entre permeable (plazoletas barriales, jardines residenciales, fragmentos verdes en veredas y banquinas, la vegetación domiciliaria es abundante, muchas casas poseen cercos verdes) e impermeable (construcciones residenciales, veredas y calles); la zona es muy aplanada y libre de obstáculos, para el paso del viento, las calles son anchas y la arboleda pública es baja (1 ½ nivel de construcción) y densa, los ejemplares están en buenas condiciones, provocando gran confort por efecto de la sombra, el paso sin obstáculos del viento que se humidifica por efecto de las áreas verdes, refresca y limpia el aire.

Al mismo tiempo esta LCZ, resultó con los niveles más bajos de material particulado (PM 10, 2.5 y 1) mañana, tarde y noche. Las deducciones obtenidas, pueden deberse a que la LZC es eminentemente residencial, no hay actividad que genere altos índices de polución ambiental. Por tanto el material que se genera por resuspensión de polvo y gases por circulación de vehículos es realmente bajo (en un período de 15 minutos se midieron 8 autos privados y 5 camionetas). La edificación es compacta de baja altura y las calles anchas, predominan las superficies permeables, verdes y húmedas, el viento

pasa casi sin mayores obstáculos, cumpliendo con el efecto de refrescamiento, advirtiéndose niveles elevados de confort térmico- atmosféricos.

vi) **LZC 5B**, se ubica en zona intraurbana y su uso de suelo es parque cívico- institucional. Los resultados la clasifican como área de confort urbano reducido. Climáticamente, se destacó en la medición vespertina y nocturna como una de las zonas más frescas; no así en la medición matutina, destacándose la noche con uno de los mejores valores de índice de confort (PET). Por la mañana al sol el PET dio estrés por calor fuerte y al sol estrés por calor moderado, a la tarde sol y sombra arrojó un PET estrés por calor fuerte y finalmente a la noche dio un PET confortable, es decir sin estrés térmico. Los resultados obtenidos, pueden deberse a que la LZC tiene un 60% de densidad edilicia y un 20% de áreas verdes- parquizadas y 20% veredas y calles<sup>6</sup> ; posee edificios altos y compactos, pero también extensas áreas verdes, calles anchas, la arboleda es de mediana altura, poca y densa. Estas características permiten que el calor se disipe por el efecto de refrescamiento del viento, el efecto de la brisa es concreto. Pero sugiere que la falta de sombra del área, tanto en la mañana como en la tarde es importante, puesto que el PET sólo arrojó valor de confort en la noche, sin efecto del sol directo.

Respecto del material particulado los valores de PM 10 y 2.5 no fueron relevantes en ninguna de las tres mediciones de un mismo día, sin embargo los valores de PM1 fueron unos de los más altos mañana, tarde y noche. Esto puede deberse a que la LCZ tiene una fuerte actividad institucional y a su vez es área de paso hacia otros centros de actividad de la ciudad, por tanto es fuertemente transitada (en un período de 15 minutos se midieron 246 autos privados, 39 motos, 60 camionetas, 2 camiones y 21 buses públicos) con la consiguiente emanación de gases que ello implica. Si bien la morfología de la LCZ, edificios altos y compactos, calles anchas, poca arboleda y extensas áreas verdes planas, propician el refrescamiento y ventilación de la zona, es concreto que el tránsito vehicular imprime un deterioro atmosférico importante.

vii) **LZC B**, se localiza en zona intraurbana y su uso de suelo es parque urbano. Los resultados la ubican en una zona de confort reducido. Climáticamente, fue la única que mostró claramente un incremento de la temperatura desde la mañana y hasta la noche y viceversa. Se destacó la medición matutina como una de las zonas con mayor diferencia de temperatura noche- mañana; sin embargo no fue una de las LCZ más frescas. Respecto a los valores del índice de confort PET los valores dieron de la siguiente manera por la mañana al sol alcanzó estrés por calor moderado a la sombra estrés por calor ligero; de tarde al sol estrés por calor extremo y a la sombra estrés por calor moderado, finalmente por la noche obtuvo estrés por calor suave. Los resultados obtenidos, pueden deberse a que la LZC tiene un parque urbano con el 80% de áreas verdes y forestadas, posee alta densidad volumétrica arbórea, calles angostas, la arboleda es muy alta o hasta de mediana altura, formando extensas áreas muy densa. Estas características provocan que el efecto del sol ingrese a la capa del clima urbano, el suelo vegetado humidifique el aire y llegada la noche la radiación terrestre lo caliente, pero al formarse un techo abovedado de la gran masa arbórea, el viento no logra ingresar y el calor no puede disiparse por falta del efecto de enfriamiento de la brisa.

Respecto del material particulado los valores de PM 10 y 2.5 dieron considerablemente bajos en las tres mediciones de un mismo día, sin embargo los valores de PM1 fueron más preponderantes en las tres mediciones. Esto puede deberse a que la LCZ tiene un alto porcentaje de suelo verde e irrigado, situación que sumada a la falta de ingreso de la brisa, la movilización y resuspensión de polvo es realmente baja, pero la morfología arbórea que no permite la ventilación adecuada de la zona, hace que los pocos vehículos que transitan por ella ejerzan un efecto nocivo sobre la salud por tratarse de una zona de esparcimiento (en un período de 15 minutos se midieron 14 autos privados, 8 motos, 3 camionetas, 2 camiones).

## CONCLUSIONES

La implementación de zonas climáticas locales para clasificar el paisaje, procuró avanzar con respecto a la categorización tradicional urbano- rural. Se logró detallar en profundidad cada zona climática y sus propiedades del sitio, brindando así un formato claro y normalizado sobre cómo estas zonas intervienen en el clima cerca de la superficie. El sistema de las LCZs, tuvo como objetivo la

estandarización de los sitios de clima urbano, permitiendo perfeccionar la nomenclatura, definición y estructura organizativa del sistema (Stewart and Oke, 2009).

Este trabajo muestra como el sistema de LCZs, también puede ser usado por los proyectistas de planificación, como "mapas climáticos" y "mapas urbano- climáticos". Pues, ha permitido cuantificar las capas térmicas y morfológicas de un mapa urbano- climático, a través del uso de metadatos normalizados como lo son: la estructura urbana, la cubierta y el metabolismo, que fueron extraídos de las hojas de datos LCZs y adaptados a cada área específica de la ciudad de San Juan (Stewart, I. and Oke, T. 2012). Por primera vez para la provincia de San Juan, se lograron definir 8 LCZs, con sus características únicas y su influencia en el clima urbano local de una ciudad continental de clima árido seco.

Hasta la fecha, la integración de los conocimientos sobre el clima urbano con la planificación urbana, no había sido especialmente útil o eficaz, en parte debido a que la climatología urbana ha avanzado lentamente en torno a cuestiones de escala. El sistema LCZ permitió avanzar en estas cuestiones, ya que ofrece un conjunto básico de principios de clima urbano para los arquitectos, urbanistas, ecólogos e ingenieros. El sistema logró transmitir éstos principios a través de escalas espaciales microlocal y elementos de diseño (tipo de uso de suelo, volumetría edilicia, distribución espacial de las construcciones, materiales de construcción, cobertura verde) que son elementos relevantes para muchas disciplinas afines a la climatología urbana. Pudiendo constatarse la fuerte influencia que tiene la sombra en una ciudad de riguroso clima estival.

En cuanto a la contaminación atmosférica, particularmente, en áreas urbanas de zonas áridas o semiáridas, la re suspensión y reincorporación de partículas pueden contribuir a la concentración en masa de PM, en un grado similar a otras actividades humanas como las industrias, el tráfico y construcción (Taha 1997 y Roth 2007); a través de la clasificación vehicular, frecuencia y medición de concentraciones de PM para cada una de las 7 LCZ fue posible presentar los resultados de una campaña de monitoreo de PM10, PM2.5 y PM1, detectando las fuentes de emisión, como así patrones diarios y horarios característicos de ésta ciudad de clima árido.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chow, W. and Brazel, A. (2011). Assessing xeriscaping as a sustainable heat island mitigation approach for a desert city. *Building and Environment* 47 (2012) 170- 181.
- Matzarakis, A.; et al., (1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *Int J Biometeorol* (1999) 43:76–84. Germany.
- Roca, G.; et al (2013). Características urbanísticas y climáticas integradas, para estudios microclimáticos del confort térmico urbano. *Revista: Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Asociación Argentina de Energía Solar. ISSN: 978-987-29873-0-5. Vol.1 pp. 11.93-11.101.*
- Roth, M., (2007). Review of urban climate research in (sub) tropical regions. *Int. J. Climatol.* 27, 1859–1873.
- Stewart, I. and Oke, T. (2009). Classifying urban climate field sites by “local climate zones”: The case of Nagano, Japan. *The seventh International Conference on Urban Climate*, 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan.
- Stewart, I. and Oke, T. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 93, pp.1879-1900.
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings* 25 ( 1997) 99-103. USE.

**ABSTRACT:** This work represents a significance advance over previous studies, improving selection criteria, evaluation and classification methods. The article describes the formulation and evaluation of a Microscale Urban Comfort Model, which estimates the impact of anthropization at local level, in order to assist urban designers and decision makers, when faced with urban comfort tasks. Even though the urban habitat conformation at middle scale in arid zones requires detailed analysis over the relationship between urban comfort, air quality and specific urban typologies, no studies have been

done on that topic. In that sense, this work used representative Local climate Zone to identify distinctive conditions inside the urban center. The orientation, conformation, morphology of the city, land use and wind patterns have been identified to have a strong influence on urban comfort and particle exposition.

**KEYWORDS:** Urban Microclimate Modeling, Urban Comfort, Sustainable Urban Design, Arid Environments.