

ACTAS DE TRABAJOS COMPLETOS
DEL

E-ICES 14



DECIMOCUARTO ENCUENTRO DEL CENTRO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA

2 al 4 de septiembre de 2019
UTN Centro Tecnológico de Desarrollo Regional “Los Reyunos”
San Rafael, Mendoza, Argentina

MÉTODO WUDAPT PARA LA ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA. ANÁLISIS DE ZONAS IDENTIFICADAS Y SU COMPORTAMIENTO TÉRMICO.

M. F. Colli¹· E.N. Correa²· C. F. Martínez³

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE - CCT CONICET Mendoza)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

e-mail: mfcoll@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

El trabajo tiene por objetivo considerar la aplicabilidad del sistema de Zonas Climáticas Locales -LCZ- propuesto por Stewart y Oke en el Área Metropolitana de Mendoza -AMM-. Como hipótesis se sostiene que la zonificación microclimática permitiría un ordenamiento ambiental de la ciudad en relación a la disponibilidad de recursos climáticos y sus posibilidades de aprovechamiento para el diseño sustentable del parque edilicio y el uso de las energías renovables. Para corroborar si la zonificación generada es congruente con el comportamiento térmico de la ciudad, a partir de análisis de imágenes satelitales se ha evaluado la distribución de la temperatura superficial del AMM, a partir del procesamiento de imágenes LANDSAT 8.

La implementación del sistema en Mendoza se realiza con la herramienta WUDAPT. La misma presenta como limitación la imposibilidad de generar subclases, y que las clases puras propuestas en la metodología no describen de manera acabada la condición de los canales viales del AMM en verano. Esto se debe a la existencia de una intensa forestación urbana, donde el arbolado en alineación actúa como un elemento estructurante de la morfología, y genera que las clases dentro del sistema de clasificación propuesto no sean puras, afectando la relación entre SVF (factor de visión de cielo), H/W (relación alto/ancho de canal vial), FOS (factor de ocupación de suelo), superficie impermeable y altura promedio de los elementos. Otra limitación es el tamaño de las zonas de entrenamiento, exige áreas homogéneas de 1 Km², condición difícil de cumplir en el AMM. Los resultados muestran que el modelo de LCZ necesita ser adaptado para la apropiada caracterización de las zonas climáticas en ciudades con abundante forestación urbana, cuya tipología es creciente en América. Superadas las limitaciones, las zonas climáticas identificadas muestran cierta correlación con el desempeño térmico de los distintos sectores de la ciudad.

Palabras clave: Clima urbano, Isla de Calor, Zonas Climáticas Locales, AMM.

INTRODUCCIÓN

El planeamiento urbano tiene una transcendencia fundamental para informar, coordinar e implementar medidas que mejoren la calidad ambiental de las ciudades frente al cambio climático. Para la mitigación del calentamiento urbano se han propuesto estrategias, a nivel internacional, susceptibles de ser incorporadas en la planificación territorial. Especialmente en la “pequeña escala”, existe una amplia experiencia de diseño bioclimático urbano. A su vez, en los últimos años se ha producido a nivel edilicio un importante esfuerzo para aumentar la eficiencia energética, con el objetivo de reducir de forma paralela el consumo de energía y la generación de gases de efecto invernadero.

Tal como expresan Betchel y colaboradores (2015) es necesario avanzar en el estudio del clima urbano y conocer las condiciones climáticas propias de cada urbe y cómo las mismas generan

¹ Becaria Doctoral CONICET

² Investigadora Independiente CONICET

³ Investigadora Adjunta CONICET

estrés térmico, contaminación ambiental y propician distintas patologías en los habitantes urbanos que se encuentran bajo sus efectos. Para estudiar el efecto combinado del clima urbano, el cambio climático en las ciudades y evaluar la vulnerabilidad de las poblaciones urbanas, se necesitan modelos climáticos avanzados.

El uso de modelos climáticos demanda contar con información detallada sobre la superficie urbana, a fin de disponer de datos necesarios como parámetros de entrada para los modelos urbanos (Betchel, 2015). Uno de los modelos con mayor aplicación es el de Zonas climáticas locales (LCZ) desarrollado por Stewart y Oke (2012), el cual ha sido aplicado en distintos casos a nivel mundial, regional y local (Puliafito et al., 2013, Stewart et al., 2014, Monteiro 2018, Wang et al., 2018).

Dentro de este contexto, este trabajo tiene como objetivo, analizar la factibilidad de implementación en el AMM utilizando el método WUDAPT. Para corroborar si la zonificación generada es congruente con el comportamiento térmico de la ciudad, a partir de análisis de imágenes satelitales se ha evaluado la distribución de la temperatura superficial del AMM, a partir del procesamiento de imágenes LANDSAT 8.

Como hipótesis, considera que contar con una zonificación climática que permita estandarizar el estudio del clima urbano del AMM posibilitará disponer de una base teórica sólida para su planificación. La zonificación permitirá interrelacionar dinámica urbana y clima, para desarrollar estrategias de mitigación a distintos factores de riesgo. De modo específico, la configuración urbana del AMM, en lo que refiere a la fuerte presencia de arbolado en alineación de calles, demanda una adaptación y un ajuste a la metodología propuesta internacionalmente para que su implementación sea viable en la región.

METODOLOGÍA

La metodología está compuesta por dos etapas: en la primera se hace un análisis del sistema propuesto por Stewart y Oke (2012) para la clasificación de LCZ; en la segunda se aplica el sistema WUDAPT en el AMM.

Etapas 1: Modelo de análisis del Clima Urbano. Zonas Climáticas Locales

Stewart y Oke (2012) desarrollaron un sistema de clasificación de paisaje, basándose en el clima de espacios urbanos y rurales, con el objetivo de estandarizar los estudios de UHI (urban heat island). El sistema comprende la categorización de LCZ que son “regiones uniformes en cobertura del suelo, estructura, materiales y actividades humanas que se extienden entre unos cientos de metros hasta algunos kilómetros en escala horizontal”. El sistema comprende la categorización en 17 LCZ (Figura 1), 15 de ellas definidas por la morfología de superficie y cobertura de suelo, y 2 definidas por el uso del suelo y los materiales de construcción predominantes en cada uno. El conjunto estándar es sectorizado en dos tipologías: a) construidas -LCZ 1 a 10-, y b) de cobertura de suelo - LCZ A a G.

Es decir que cada Zona Climática Local es el resultado de un conjunto de parámetros que configuran y caracterizan las propiedades morfológicas, de cobertura superficial, propiedades radiativas y propiedades metabólicas. Cada “zona” se nombra individualmente, distinguiendo el conjunto de propiedades superficiales que las caracteriza. Los parámetros utilizados en la definición de cada zona se muestran en la Tabla I. Teniendo en cuenta que cada clase describe un tipo construido o un tipo de cobertura natural, los parámetros están definidos sólo para las LCZ estándar, pero atendiendo a la realidad que una ciudad no se ajuste a los tipos propuestos, los autores proponen como alternativa la posibilidad de realizar una subclasificación combinando tipologías.

TIPOS DE EDIFICACIÓN	DEFINICIÓN	TIPOS DE COBERTURA	DEFINICIÓN
1. Compacto en altura	Edificación densa de edificios de más de 10 pisos. Pocos árboles. Pavimento. Materiales de construcción: concreto, hierro, roca y vidrio.	A. Bosque / Arbolado Denso	Densamente arbolado por especies perennifolias. Coberturas previas en su mayoría (plantas bajas). Zonas de bosques, actividad forestal o parques urbanos.
2. Compacto de media altura	Edificación densa de mediana altura (3 a 9 pisos). Pocos árboles. Pavimento. Materiales de construcción: concreto, ladrillos, roca y cerámica.	B. Árboles dispersos	Arbolado disperso de especies perennifolias. Coberturas previas en su mayoría (plantas bajas). Zonas de bosques, actividad forestal o parques urbanos.
3. Compacto de baja altura	Edificación densa de baja altura (1 a 3 pisos). Pocos árboles. Pavimento. Materiales de construcción: concreto, ladrillos, roca y cerámica.	C. Arbustos	Arbustos, matas y árboles leñosos bajos dispersos. Coberturas previas en su mayoría (suelos desnudos o arena). Zonas de matorrales o agricultura.
4. Abierto en altura	Edificios de más de 10 pisos separados. Abundancia de coberturas previas (plantas bajas y algunos árboles). Materiales de construcción: concreto, hierro, roca y vidrio.	D. Plantas Bajas	Paisajes dominados por cultivos, plantas bajas y/o césped. Pocos árboles. Zonas de parques urbanos o de actividad agrícola.
5. Abierto de media altura	Edificios de mediana altura (3 a 9 pisos) separados. Abundancia de coberturas previas (plantas bajas y algunos árboles). Materiales de construcción: concreto, hierro, roca y vidrio.	E. Rocas o pavimento	Paisajes de rocas o zonas pavimentadas. Pocos árboles. Zonas de rocosas o plaza de estacionamiento.
6. Abierto de baja altura	Edificios de baja altura (1 a 3 pisos) separados. Abundancia de coberturas previas (plantas bajas y algunos árboles). Materiales de construcción: madera, concreto, ladrillos, roca y cerámica.	F. Suelo descubierto o arena	Áreas de cobertura con arena o suelo descubierto. Poca cobertura vegetal. Zonas de desiertos o de agricultura (luego de cosecha).
7. Construcciones bajas	Densa edificación de un piso. Pocos árboles. Tierra compactada. Materiales de construcción livianos: madera, metal corrugado y paja.	G. Agua	Grandes cuerpos de agua libres como mares, o pequeñas áreas como ríos, reservorios y lagunas.
8. Grandes Construcciones bajas	Grandes edificaciones bajas (1 a 3 pisos) separadas. Pocos árboles. Pavimento. Materiales de construcción: hierro, concreto, metal y roca.	VARIACIONES EN LAS PROPIEDADES DE LA COBERTURA	
9. Construcciones dispersas	Construcciones pequeñas o medianas dispersas en áreas naturales. Abundancia de las coberturas previas (plantas bajas, árboles dispersos)	b. Árboles desnudos	Árboles caducifolios (invierno). Incrementa la visión del cielo. Reducen el albedo.
10. Áreas Industriales	Edificios industriales de baja y media altura (chimeneas y tanques). Pocos árboles. Pavimento o tierra compactada. Materiales de construcción: metal, hierro y concreto.	s. Cubierta de nieve	Más de 10 cm de nieve. Aumenta el albedo. Disminuye el ingreso de energía.
		d. Suelo seco	Suelo seco. Disminuye el ingreso de energía. Aumenta el albedo. Gran ratio de Bowen.
		w. Suelo húmedo	Suelo muy húmedo. Aumenta el ingreso de energía. Disminuye el albedo. Bajo ratio de Bowen.

Figura 1. Zonas Climáticas Locales propuestas por Stewart y Oke (2012)

Tabla I. Valores de propiedades superficiales para cada LCZ.

Zona Climática Local (LCZ)	Relación H/W	SVF	Proporción de superficie del suelo con la cubierta del edificio (%).	Proporción de superficie del suelo con cubierta impermeable (roca, pavimento) (%).	Construcción media / altura del árbol zH	Calor Antropogénico
1-Compacto en altura	>2	0.2-0.4	40-60	40-60	>25	50-300
2- Compacto de media altura	0.75-1.5	0.3-0.6	40-70	30-50	8-20	<75
3-Compacto de baja altura	0.75-1.5	0.2-0.6	40-70	20-40	3-8	<75
4-Abierto en altura.	0.75-1.25	0.5-0.7	20-40	30-40	>25	<50
5-Abierto de media altura	0.3-0.75	0.5-0.8	20-40	30-50	8-20	<25
6-Abierto de baja altura	0.3-0.75	0.6-0.9	20-40	20-40	3-8	<25
7-Construcciones bajas	1-2	0.2-0.5	60-90	<10	2-4	<35
8-Grandes Construcciones bajas	0.1-0.3	>0.7	30-50	40-50	3-10	<50
9-Construcciones dispersas	0.1-0.25	>0.8	10-20	<20	3-8	<10
10-Áreas Industriales.	0.2-.05	0.6-0.9	30-30	20-40	5-15	<300
A-Bosque / Arbolado Denso	>1	<0.4	<10	<10	<3-30	0
B-Árboles dispersos	0.25-0.75	0.5-0.8	<10	<10	3-15	0
C-Arbustos	0.25-1.0	<0.9	<10	<10	<2	0
D-Plantas Bajas	<0.1	<0.9	<10	<10	<1	0
E-Rocas o pavimento	<0.1	<0.9	<10	<90	<0.25	0
F- Suelo descubierto o arena	<0.1	<0.9	<10	<10	<0.25	0
G-Agua	<0.1	<0.9	<10	<10	-	0

Etapa 2: Aplicación del método WUDAPT en Mendoza

Se utilizó la herramienta World Urban Database y Access Portal Tools (WUDAPT), que es un proyecto comunitario que busca generar un censo de ciudades de todo el mundo ofreciendo herramientas para definir las LCZ. Esta herramienta es de acceso libre y permite cargar datos locales y compararlos con otras ciudades. Se aplica puntualmente a la Ciudad de Mendoza que posee clima árido, con amplias fluctuaciones de temperatura diarias y estacionales, intensa radiación solar en todas las estaciones y un régimen de baja precipitación anual (≈ 250 mm). Los vientos locales son de tipo anabáticos catabáticos con una velocidad promedio de 2 m/s y de dirección NE y SO (Correa 2006). La ciudad posee un modelo urbano abierto de calles anchas y construcciones relativamente bajas, e intensa forestación que conforman túneles verdes (Cantón, et al, 2010). El aglomerado urbano está intensamente arbolado con especies plantadas en líneas paralelas a un sistema de conducción de riego artificial. El 68% de las especies arbóreas se concentra en tres tipos *Morus alba* ('morera', 39%), *Fraxinus ssp.* ('fresno europeo' y 'fresno americano', 20%) y *Platanus hispanica* ('plátano', 9%) (Martinez et al., 2014). Esta configuración urbana sumada a la intensa forestación de sus calles modifica las condiciones radiativas y de flujo de viento de los cañones urbanos, superando los efectos de la estructura edilicia en muchas zonas consolidadas de la metrópoli. Estas particularidades urbanas del AMM son las que generan que los parámetros definidos por Stewart y Oke (2012) para establecer cada zona estándar, a escala local se combinen de forma diferente a las establecidas para definir las propiedades microclimáticas de las zonas, que propone el sistema LCZ. Ante ello es necesario revisar la clasificación teniendo en cuenta las características específicas del área de estudio que determinan la necesidad de crear subclases en época estival.

En el caso de la propiedad H/W, teniendo en cuenta que más del 80% de la densidad edilicia corresponde a baja densidad, de 1 o 2 niveles (3 a 6 m de altura) y poseen un ancho de calle de 20 m; el H/W en el caso de 1 nivel es 0.15 y para el de caso de 2 niveles 0.3, siendo que según los parámetros definidos por Stewart y Oke corresponde que esta propiedad esté comprendida entre 1-2 (Tabla. 1). Un fenómeno similar ocurre con el SVF. Antecedentes locales muestran que, si se tuviera en cuenta sólo la morfología urbana, el AMM debería clasificarse en la LCZ 2, donde el SVF debe estar comprendido según la literatura entre 0.75-1.00, cuando la medición realizada indica un SVF de 0.13 (Sosa et al., 2016). Debido a que el arbolado urbano es un elemento estructurador y determinante de las LCZ por su capacidad de condicionar el SVF, resulta primordial realizar una LCZ en estación estival con el máximo desarrollo vegetativo del dosel forestal, como así también en la estación invernal donde sólo influye el ramaje desnudo dada la condición caducifolia de las especies arbóreas.

Determinación de LCZ con WUDAPT

Teniendo en cuenta las características del área AMM se desarrolló la aplicación del modelo LCZ con la utilización de la herramienta WUDAPT.

Este proyecto tiene como objetivo muestrear las LCZ, la cobertura del suelo y los tipos de uso del suelo. Este proceso se realiza a partir de los siguientes pasos especificados en el sitio web (<http://www.wudapt.org/>): el paso 1 que consiste en la descarga de datos y software, paso 2 generación de la clasificación LCZ y el paso 3 donde se suben y comparten los archivos generados. A continuación, se explica cómo se ha desarrollado cada paso en este trabajo.

Paso 1 Descarga de datos y software

La selección de las imágenes satelitales Landsat 8, son descargadas de EarthExplorer del USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Para evitar la influencia del dosel de los árboles, que no permite la visualización por teledetección de la zona que se encuentra debajo del mismo, se seleccionan imágenes pertenecientes al invierno. Además, si se realizara en primavera-verano, sería necesaria la creación de subclases y el método WUDAPT se limita a clases puras. Por estas razones las imágenes seleccionadas corresponden al 24 de julio de 2018 (invierno en el hemisferio sur) a las 02:43:13 en UTC. El proyecto WUDAPT trabaja con Saga Gis, pero en este trabajo se opta por trabajar con Qgis para el procesamiento y análisis de las imágenes.

Paso 2 Generación de la clasificación LCZ.

Se realiza en dos etapas. En la primera etapa, para el procesamiento y análisis de las imágenes satelitales, se utilizó el software libre QGIS 3.2 'Bonn'. Las imágenes se proyectaron en Posgar 07 Argentina Faja 2. La calibración y la corrección atmosférica de todas las bandas se realiza automáticamente mediante el método DOS1 y los niveles digitales se convierten a valores de reflectancia (Picone 2017). Finalizada esta etapa, se genera una superposición de bandas, lo que da como resultado un ráster virtual, ya que la entrada para la clasificación debe ser un archivo ráster. Fusionadas todas las bandas, se hace un recorte del área de interés.

En la segunda etapa se realiza la Clasificación mediante teledetección. Para generar las LCZ con el método WUDAPT se utiliza la Clasificación Supervisada, donde se parte de un conjunto de clases conocido a priori, es decir, es el proceso de asignar clases de cobertura terrestre a píxeles. En dicha clasificación deben seleccionarse muestras representativas para cada clase de cobertura terrestre definidas con anterioridad, en este caso, cada LCZ definida por Stewart y Oke. Luego, el software utiliza estos "sitios de entrenamiento" que sirven para "entrenar" al ordenador en el conocimiento de las distintas categorías y los aplica a toda la imagen, es decir, con los atributos de píxeles de una identidad conocida, se clasifican los píxeles de identidad desconocida (Linares 2011). En este trabajo, se realizó una clasificación supervisada con algoritmo de mínima distancia para lograr la clasificación de zonas.

Para realizar el proceso de clasificación se utiliza el complemento "Semi-Automatic Classification Plugin" (SCP) de código abierto y gratuito para QGIS, que permite la clasificación semiautomática de imágenes de teledetección. Finalizada la selección de las áreas de entrenamiento, se ejecuta el algoritmo de clasificación, el ordenador calcula las estadísticas elementales de cada categoría y

con los atributos de píxeles de estas se clasifican los píxeles de identidades desconocidas. Este cálculo se aplica a todas las bandas que intervienen en la clasificación. El resultante u output file es un archivo raster (.tif) donde cada valor de píxel corresponde a una categoría definida previamente.

Paso 3 Compartir los archivos generados

Esta etapa consiste en compartir los resultados y que se encuentren disponibles para la comunidad de expertos urbanos e investigadores interesados en la temática. De esta manera se conforma un censo de ciudades de todo el mundo. Los mapas se encuentran disponibles en geopedia (https://geopedia.world/#t4_x4167958.278334089_y743579.4111581943_s2_b17).

Una vez definidas las LCZ se procede a la contrastación con la temperatura superficial. La obtención de la temperatura superficial es adquirida partir de datos Landsat, específicamente a partir de la Banda 10 de las imágenes previamente procesadas.

RESULTADOS

Los resultados se presentan en función de las dos etapas presentadas en la metodología. Con respecto a la *etapa 1* “Modelo de análisis del Clima Urbano. Zonas Climáticas”, se rescata como aspectos positivos que el modelo pretende superar la tradicional clasificación de los espacios en “urbanos y rurales” para los estudios de clima urbano, como se han realizado hasta ahora en el AMM (Mesa et al., 2003; Correa et al., 2003 Puliafito et al. 2013). La clasificación de las LCZ complementa la tradicional diferenciación del área urbana-rural y tiene como objetivo la estandarización de los estudios de clima urbano, lo que facilita la comunicación y la comparación interurbana de los resultados a nivel local e internacional.

El sistema permite a los planificadores utilizar las LCZ como "mapas climáticos" y "mapas urbano-climáticos", ya que otorga la posibilidad de cuantificar las capas térmicas y morfológicas, a través del uso de datos normalizados como lo son: la estructura urbana, la cubierta o rugosidad y el metabolismo. Esto facilita la comunicación del significado de variables meteorológicas evaluadas en los monitoreos y la interpretación de las consecuencias de las decisiones de diseño sobre el comportamiento microclimático de la ciudad.

La limitación fundamental del modelo es que no permite capturar las peculiaridades de cada sitio analizado, ya que es un sistema reduccionista, esto deriva en que su capacidad de descripción, análisis y explicación tenga ciertas limitaciones. Para los casos en que una ciudad no se ajuste a los tipos propuestos, como se explicó anteriormente, Stewart y Oke (2012) proponen la realización de una subclasificación combinando tipologías. Las subclases están justificadas cuando las características secundarias del sitio afectan el clima local o cuyas características pueden estar relacionadas con los objetivos particulares de una investigación climática. Aunque las subclases agregan flexibilidad al sistema LCZ, se dan varias advertencias para su uso.

Por lo analizado, es fundamental tener en cuenta que la subclasificación es justificable cuando las características secundarias en un área pueden generar interferencia y afectar directamente el clima local (Monteiro, 2018). Esta situación se da para el caso del AMM-Argentina, donde la intensa forestación de sus canales viales -45.000 árboles en las calles de la ciudad capital- (Martinez et al., 2014), modifica las condiciones radiativas y de flujo de viento de los cañones urbanos, superando los efectos de la estructura edilicia en muchas zonas consolidadas de la metrópoli. Sumado a ello, en la ciudad más del 80% de la densidad edilicia corresponde a baja densidad, de 1 o dos niveles -3 a 6 m de altura-, cuyo FOS (Factor de Ocupación de Suelo) se halla comprendido entre 0.35 a 0.70 y el Factor de Visión de Cielo (SVF por sus siglas en inglés), en los canales viales oscila entre 0.15 a 0.65 (valor correspondiente al verano) (Correa et al., 2010). Además, los árboles son caducifolios es decir que pierden el follaje en invierno, y en su mayoría son de primera y segunda magnitud forestal (cuya altura final se halla entre 12 a 25 m). Tomando como base estos parámetros y contrastando los mismos con los utilizados para definir las zonas de origen mostradas en la Tabla 2, se aprecia que será necesario la utilización de subclases para la definición de las LCZ a nivel local en verano. Es decir que el desafío será definir a escala local, un conjunto mínimo de subclases

que permitan la apropiada caracterización de sus espacios urbanos, sin alejarse del objetivo reduccionista de la metodología, ni comprometer sus posibilidades de homologación.

El resultado final de la *etapa 2 “Aplicación del método WUDAPT en Mendoza”*, es un mapa (Figura 2) donde se representan las LCZ del AMM y su entorno. El área de estudio alcanzó un total de 69.724,09ha, de este total, sólo 16.814ha pertenecen al AMM, el resto corresponde al piedemonte localizado al oeste mendocino y áreas de cultivo al este. La distribución porcentual de las LCZ sobre el área metropolitana según la tipología de construcción que se presenta en la tabla III, en el centro del mapa se puede observar la zona urbana y periurbana del AMM, donde la Zona climática Local que predomina es “LCZ-6 Abierto de baja altura” alcanzando un porcentaje del 27,55%, localizada fundamentalmente en la zona central de la mancha urbana. Esta zona se caracteriza por poseer edificios separados de baja altura (1 a 3 pisos), siendo el concreto y ladrillos los materiales de construcción predominantes. La LCZ-8 “Grandes construcciones bajas” sigue en porcentaje con un 22,71%. Estas zonas tienen un paisaje dominado por grandes edificaciones bajas y separadas entre sí. Se encuentra al sur de la mancha urbana, donde se han expandido barrios privados en detrimento de superficie agrícola. El sector que esta zona ocupa hacia el este posee heterogeneidad de usos, industrial y de depósito con la expansión de barrios cerrados.

En tercer lugar, en orden decreciente (21,42%) se encuentra la categoría LCZ-3 “Compacto de baja altura”, localizándose en la zona central de la ciudad de Mendoza, caracterizada por ser el centro administrativo, financiero y comercial de la provincia, con edificación densa de baja altura (1 a 3 pisos). Esta clase se encuentra también en cabeceras departamentales y en sus entornos inmediatos.

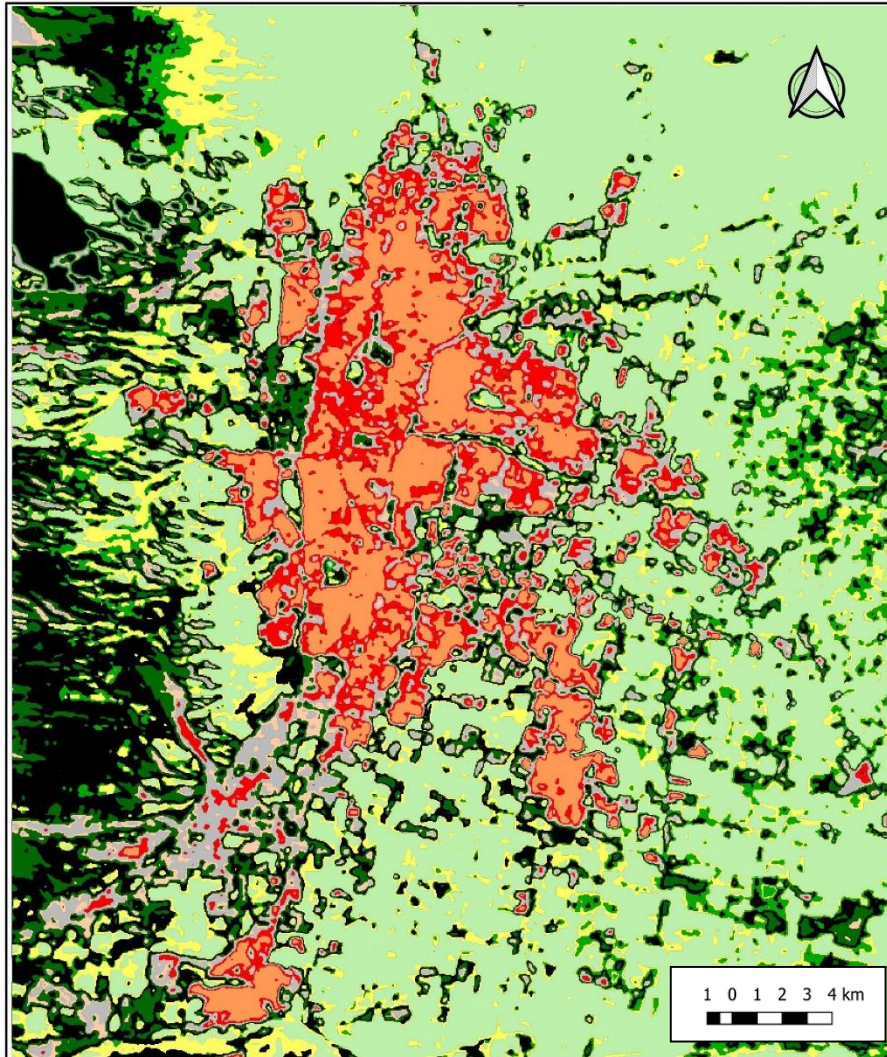
Siguen en porcentaje LCZ-9 “Construcciones dispersas” (14,87%), LCZ-5 “Abierto de mediana altura” (8,87%) y LCZ-2 “Compacto de media altura” (4,58%). En el AMM no hay presencia de las LCZ-1,4 y 7. Al oeste se observa un importante sector con las clases A y B, representando al Parque General San Martín (374ha).

Se presenta la distribución porcentual de LCZ en el AMM y Piedemonte según tipo de edificación y cobertura (Tabla II). El sector del piedemonte está categorizado con las clases E-Roca y F-Suelo desnudo, encontrando manchas dispersas de vegetación autóctona.

Al norte y fundamentalmente hacia el este de la mancha urbana, predomina la zona D-plantas bajas, que efectivamente se corresponde con el cinturón productivo del Oasis norte de Mendoza, representado por un paisaje dominado por cultivos frutihortícolas.

Se observa que temperatura superficial (Figura 3) posee correlación con las clases definidas mediante el Método WUDAPT, sin embargo, debido a que la imagen satelital corresponde a las 11:27am (hora local), no se puede corroborar que este patrón se cumpla en horarios donde la UHI alcanza su mayor intensidad o durante el período de calentamiento, es decir en la tarde.

Zonas climáticas locales. Área Metropolitana de Mendoza



REFERENCIAS

- LCZ 2. Compacto de media altura
- LCZ 3. Compacto de baja altura
- LCZ 5. Abierto de mediana altura
- LCZ 6. Abierto de baja altura
- LCZ 8. Grandes construcciones bajas
- LCZ 9. Construcciones dispersas
- LCZ A. Bosque/Arbolado denso
- LCZ B. Árboles dispersos
- LCZ D. Plantas bajas
- LCZ E. Roca
- LCZ F. Suelo desnudo



Sistema de proyección Posgar 2007
Faja 2
EPSG 5344

Figura 2. Zonas Climáticas Locales. Área Metropolitana de Mendoza. Fuente: Elaboración de las autoras.

Tabla II. Distribución porcentual de Zonas Climáticas Locales en el AMM y Piedemonte- Tipo de edificación y cobertura.

Zonas Climáticas Locales	Sup. en hectáreas	Porcentaje
LCZ 2. Compacto de media altura	770,32	1,10
LCZ 3. Compacto de baja altura	3601,53	5,17
LCZ 5. Abierto de mediana altura	1491,08	2,14
LCZ 6. Abierto de baja altura	4632,2	6,64
LCZ 8. Grandes construcciones bajas	3819,09	5,48
LCZ 9. Construcciones dispersas	2500,31	3,59
LCZ A. Bosque/Arbolado denso	5144,11	7,38
LCZ B. Árboles dispersos	4656,76	6,68
LCZ D. Plantas bajas	27376,1	39,26
LCZ E. Roca	8700,38	12,48
LCZ F. Suelo desnudo	7032,21	10,09
Total	69724,09	100

Fuente: Elaboración de las autoras.

Tabla III. Distribución porcentual de Zonas Climáticas Locales en el AMM - Tipo de edificación.

LCZ – Tipo de edificación	Sup. en hectáreas	Porcentaje
LCZ 2. Compacto de media altura	770,32	4,58
LCZ 3. Compacto de baja altura	3601,53	21,42
LCZ 5. Abierto de mediana altura	1491,08	8,87
LCZ 6. Abierto de baja altura	4632,21	27,55
LCZ 8. Grandes construcciones bajas	3819,09	22,71
LCZ 9. Construcciones dispersas	2500,31	14,87
TOTAL	16814,53	100,00

Fuente: Elaboración de las autoras.

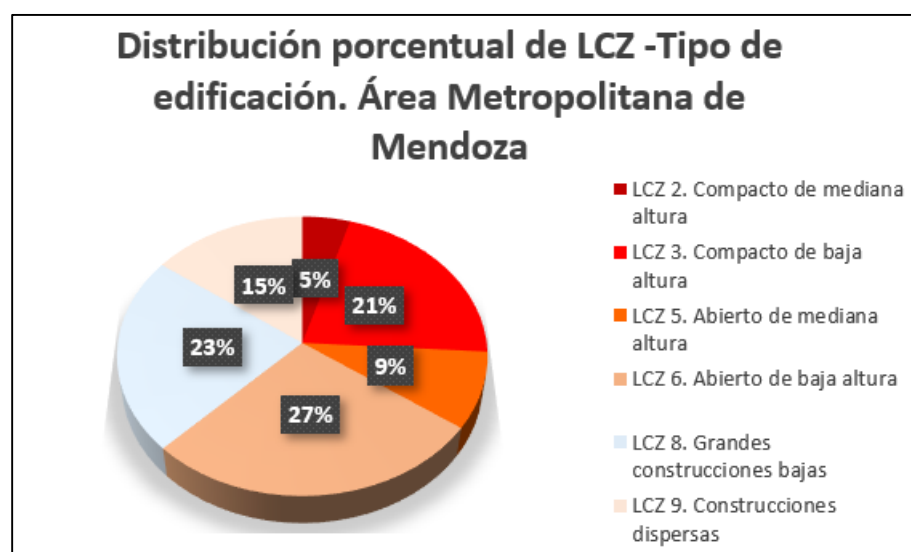


Figura 3. Distribución porcentual de Zonas Climáticas Locales en el AMM - Tipo de edificación y cobertura. Fuente: Elaboración de las autoras.

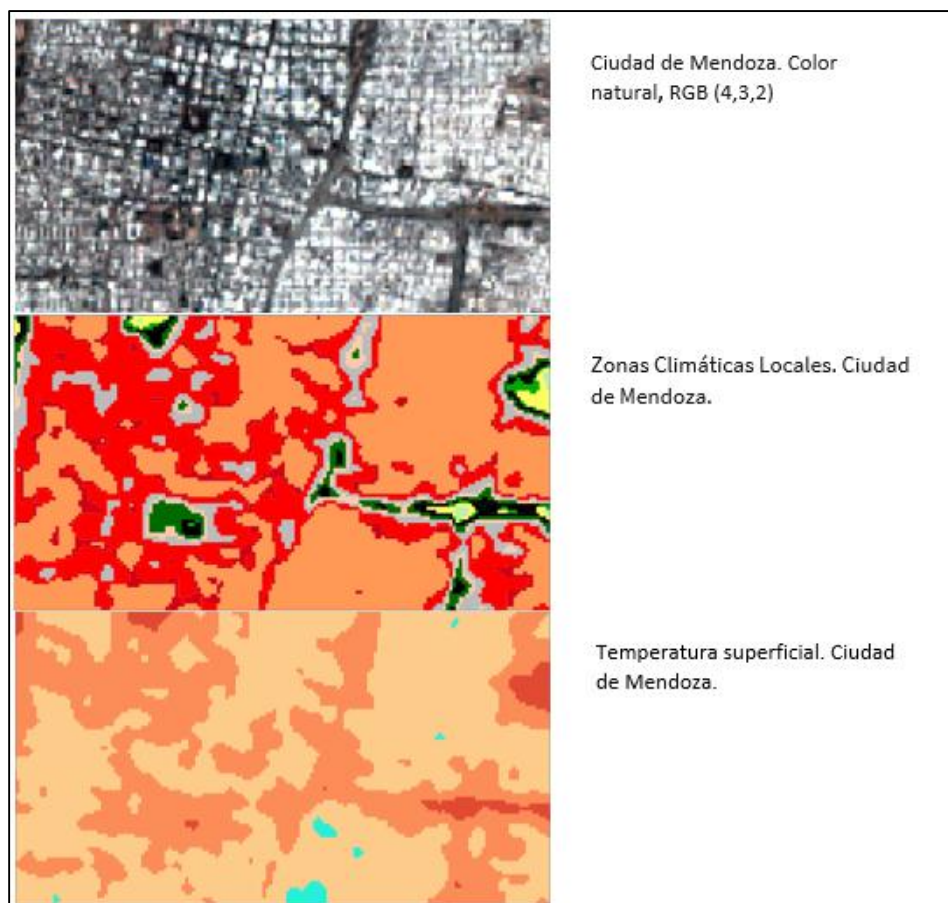


Figura 3. Correlación de LCZ y temperatura superficial. Fuente: Elaboración de las autoras.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El sistema de LCZ proporciona una discretización simple e integral del paisaje urbano, permitiendo estandarizar los estudios del clima urbano en general. Tiene como objetivo lograr un equilibrio entre la exactitud y la aplicabilidad, ya que se considera como un punto de partida óptimo para la recolección de los datos, la definición de la geometría urbana y las características microclimáticas de las distintas zonas.

Si se aplica la metodología de manera integral se logra alcanzar el objetivo principal propuesto por sus autores que es estandarizar los estudios de clima urbano y la UHI (Steward y Oke, 2012). Permite homologar, estandarizar y realizar un estudio sistémico vinculando las condiciones climáticas con las características morfológicas y tecnológicas de la ciudad en estudio. Si bien posee limitaciones, se considera que las mismas pueden superarse, de modo tal de aprovechar el potencial del esquema para identificar y analizar las características del clima, el metabolismo y la morfología urbana. Así puede conformarse como una herramienta de utilidad no sólo para el estudio del clima urbano, sino también para la planificación urbana sustentable y estratégica.

La ausencia de medición de temperatura del aire y de contrastación térmica no permite comprobar si las zonas son realmente homogéneas y si están apropiadamente definidas. Ante esto los objetivos de la metodología no se logran, es decir que al no realizarse un abordaje completo que incluya la verificación de cada zona, no se puede alcanzar una estandarización del estudio del clima urbano, que sirva como base para la planificación y en menor medida, lograr comparar los resultados obtenidos entre ciudades.

La intensa forestación urbana en el AMM representa un elemento determinante a la hora de definir las LCZ, ya que esta particularidad determina valores de SVF que no resultan coincidentes con las propiedades establecidas para las tipologías construidas. Es posible afirmar que se logrará determinar con mayor precisión cada zona climática en la medida en que se determine con exactitud su factor de visión de cielo, esto es que el SVF sea cuantificado mediante el instrumental

adecuado y analizado con softwares específicos -Píxel de Cielo (Correa et al., 2005), Rayman (Matzarakis et. al, 2007), BioKlima v.2.6 (2016).

Ante estas condicionantes se recurre al método WUDAPT para realizar una clasificación más ajustada. Con el desarrollo de esta técnica para la época invernal se ha logrado como resultado la definición de las LCZ para el AMM (Imagen 3).

A partir del proceso se definen 11 clases, 6 de tipología de edificación y 5 de cobertura. Con respecto a las zonas definidas por tipología de construcción la LCZ-6 “Abierto de baja altura” es la que posee mayor superficie, mientras que la LCZ -2 “Compacto de media altura” la menor en tamaño (Tabla 3). Fuera de la mancha urbana se registran las LCZ de cobertura, fundamentalmente de Roca al oeste y cubierta vegetal de baja altura al este.

Analizando el método, se concluye que, si bien es un proceso con numerosos pasos y múltiples variables a tener en cuenta, es un proceso que se ejecuta de manera sencilla y económica, ya que, teniendo datos y conocimiento del área, se puede realizar en su totalidad con teledetección.

Es fundamental que se pueda verificar que las zonas hayan sido correctamente clasificadas, debido a que, en el proceso de clasificación pueden confundirse clases que posean firmas espectrales similares. Es decir que, si bien es una herramienta muy útil, es una primera aproximación a la clasificación. Resulta fundamental complementar del método con la corroboración a campo, el ajuste mediante los parámetros definidos por Stewart y Oke (2012) y la contrastación térmica.

REFERENCIAS

- Arellano Ramos, B.; Roca Cladera J. (2015). Planificación Urbana y Cambio Climático. International Conference on Regional Science. XVI Reunión de Estudios Regionales. Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV). Universidad Politécnica de Cataluña. 18-20 de noviembre de 2015.
- Bechtel, B.; Paul J.; Böhrner J.; Ching J.; Conrad o.; Feddema J.; Mills G.; See L.; Iain Stewart. (2015). Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. *Int. J. of Geo-Inf.* 4, 199-219.
- BioKlima v. 2.6 (software) (2016). Recuperado de <https://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>
- Camilloni I; Barros V. (1994) Urban-biased trends in Buenos Aires' mean temperature. *Cl. Research* 4,33-45
- Camilloni I; Barros V. (1995) Influencia de la isla urbana de calor en la estimación de las tendencias seculares de la temperatura en Argentina subtropical. *Geofísica Internacional* 34, 161-170.
- Camilloni I; Barrucand M. (2012) Temporal variability of the Buenos Aires, Argentina, urban heat island. <https://www.researchgate.net/publication/225137484>
- Cantón, M.A., Martínez, C.F. (2009). Sustentabilidad del Bosque Urbano en Zonas Áridas. Análisis y Disagnóstico de la condición de las arboledas en Mendoza-Argentina. 6to Congreso Iberoamericano de Parques y Jardines Públicos.
- Capelli, A.M.; Piccolo, M.; y Campo A. M. (2006) Clima urbano de Bahía Blanca. *Revista Universitaria De Geografía - Volumen 15 – 2006.*
- Castro Y., Fernández Figueroa E.; Álvarez A, López A. (2014). Morfología urbana en la ciudad de Sagua la Grande. *Arquitectura y Urbanismo* vol.35 no.3.
- Correa E. N., Ruiz M. A., Cantón M. A. (2010). Morfología forestal y confort térmico en “ciudades oasis” de zonas áridas. *Ambiente Construído, Porto Alegre*, v. 10, n. 4, p. 119-137, out./dez. 2010. ISSN 1678-8621.
- Correa, E. N. (2006). Isla de Calor Urbana. El caso del área metropolitana de Mendoza. Tesis doctoral en Ciencias, Área Energías Renovables. Fac. de Ciencias Exacta. Universidad Nacional de Salta. Salta-Argentina.
- Correa, E. N.; Pattini, A.; Córica, M. L.; Fornés, M.; Lesino, G. (2005) Evaluación del factor de visión de cielo a partir del procesamiento digital de imágenes hemiesféricas. Influencia de la configuración del cañón urbano en la disponibilidad del recurso solar. *AVERMA*. Vol. 9, pp. 43-48.
- Correa, E.; Martínez, C. F.; Lesino, C.; Cantón, A. (2006). Impact of Urban Parks on the Climatic Pattern of Mendoza's Metropolitan Area, in Argentina. 23^a Conference on Passive and Low Energy Architecture.PLEA 2006.

- Fernández García, F.; Martilli, A. (2016). Estudio de detalle del Clima Urbano De Madrid. <https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspeInf/EnergiayCC/04CambioClimatico/4cEstuClimaUrb/Ficheros/EstuClimaUrbaMadWeb2016.pdf>
- Grosso Cepparo, M.V. (2017) Agua y tierras secas. Lecturas críticas sobre la escasez hídrica en el Departamento Lavalle (Mendoza). Estudios Socioterritoriales. N° 22 p. 27-45.
- Martinez C. F., Cantón M. A, Roig Juñent F. A. (2014). Incidencia del déficit hídrico en el crecimiento de forestales de uso urbano en ciudades de zonas áridas. Caso de Mendoza, Argentina. *Interciencia Revista de Ciencia y Tecnología de América*. ISSN 0378-1844. Venezuela. Vol. 39 (12): 890-897. 2014.
- Martinez C. F.; Cantón, M.A.; Roig F. A. (2009). Impacto de la condición de aridez en el desarrollo ambientalmente sustentable de ciudades oasis. El caso del arbolado urbano en el ÁMM. *AVERMA*. Vol. 13. pp. 113-120.
- Matzarakis A, Rutz F, Mayer H (2007) Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. *Int J Biometeorol* 51:323–334
- Mazzeo N.; Camilloni I.; Gassmann M. (1989) Climatología de la difusión atmosférica en la zona de Campana (prov. de Buenos Aires). *Geoacta* 16, 11 a 21.
- Mazzeo N.; Camilloni I. (1991) Buenos Aires Urban Meteorological Data Analysis of a Five- Day Period. *Energy and Buildings* 15, 339-343.
- Monteiro, (2018). Zonas Climáticas Locais E A Relação Com A Morfologia Urbana. Estudo De Caso: Campinas/Sp. <http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/1047?mode=full>
- Oke, T. R. (2006) Initial Guidance To Obtain Representative Meteorological Observations At Urban Sites. Instruments and Observing Methods. Report n°. 81. WMO.
- Pezzuto, C. C.; DE LA Silva, J. M. P. (2013). Métodos de Análisis del Recorte Territorial por medio de la Zona Climática Local y Unidad de Paisaje: Estudio de Caso en el Municipio de Campinas. XII ENCAC. Piccone (2014). https://www.researchgate.net/profile/Natasha_Piccone/publication/301495626_Clima_Urbano_de_la_ciudad_de_Tandil/links/5716788308aec49c999cbddc/Clima-Urbano-de-la-ciudad-de-Tandil.pdf
- Puliafito, S.; Bochaca, F.; Allende, D.; Fernández, R. (2013) Green áreas and microscale thermal comfort in arid environments: A case study in Mendoza, Argentina”. *Atmos. Clim. Sci.* 3, 372–384.
- Roca, G.; Puliafito, S.; Allende, D.; Ruggieri, F.; Pascual, R. (2016). Modelado Urbano A Microescala: contribución al confort urbano de ecosistemas áridos. *AVERMA*. Vol. 4, pp. 01.77-01.88.
- Ruiz, M.A.; Correa Cantaloube, E.; Cantón, M. A. (2016). Diseño eficiente de parques en ciudades de zonas áridas. *Confort térmico y clima urbano. ENCACS 2016*. p. 105-116.
- Sosa, M.B.; Correa Cantaloube, E.; Cantón, M.A. (2016). ¿En qué medida la forma urbana afecta al comportamiento térmico exterior? Un estudio para reducir la isla de calor urbana en una ciudad árida. *ENCACS 2016*. p. 91-102.
- Stewart, I. D.; Oke T. R.; Krayenhoff E. S. (2014). “Evaluation Of The Local Climate Zone Scheme Using Temperature Observations And Model Simulations”. *International Journal Of Climatology*. 34: 1062 – 1080.
- Stewart, I. D.; Oke, T. R. (2012) Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.93, n. 12, p. 1879–1900.
- Wang, C.; Ariane M.; Myint S.; Kaplan S.; Brazel A.J., Lukasczyk J. (2018) Assessing local climate zones in arid cities: The case of Phoenix, Arizona and Las Vegas, Nevada. *J. of Photogram. and Remote Sensing*. Vol 141:59-71.
- World Urban Database y Access Portal Tools. <http://www.wudapt.org/>