

APLICACIÓN DEL MÉTODO WUDAPT EN LA CIUDAD DE MENDOZA-ARGENTINA PARA DEFINIR ZONAS CLIMÁTICAS LOCALES

APPLICATION OF THE WUDAPT METHOD IN THE CITY OF MENDOZA-ARGENTINA TO DEFINE LOCAL CLIMATE ZONES

MARÍA FLORENCIA COLLI ²
ÉRICA NORMA CORREA ³
CLAUDIA FERNANDA MARTINEZ ⁴

- 1 Este trabajo se realizó en el marco de CONICET y bajo la financiación del proyecto PICT 2017-3248 "Valoración Energética y Ambiental de los Espacios Urbanos en Ciudades de Zonas Áridas. Generación de Herramientas de Calificación y Evaluación Predictiva", otorgado por la ANPCYT.
- 2 Geógrafa
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) - Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) CCT, Mendoza, Argentina
Becaria doctoral de CONICET-INAHE-CCT Mendoza, Doctorado Mención Civil-Ambiental de la Universidad Tecnológica Nacional (UTA), Facultad Regional Mendoza (FRM)
<https://orcid.org/0000-0002-3068-5149>
colliflorencia9@gmail.com
- 3 Doctora en Ciencias
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) - Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) CCT, Mendoza, Argentina
Investigadora independiente CONICET - Docente de grado y posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional (UTA), Facultad Regional Mendoza (FRM)
<https://orcid.org/0000-0003-1690-076X>
ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar
- 4 Doctora en Ciencias Biológicas
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) - Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) CCT, Mendoza, Argentina
Investigadora adjunta CONICET, Docente de la Especialización y Maestría, Doctorado, Universidad Tecnológica Nacional (UTA), Facultad Regional Mendoza (FRM)
<https://orcid.org/0000-0001-9537-5259>
cmartinez@mendoza-conicet.gob.ar



El trabajo aplica el modelo de Zonas Climáticas Locales en el Área Metropolitana de Mendoza -AMM- utilizando el método WUDAPT y realiza un análisis crítico de su factibilidad de implementación en función de las características de la ciudad. Como hipótesis, contar con una zonificación de las estructuras urbanas homologadas de acuerdo a su condición microclimática es el primer paso para efectivizar la implementación de distintas estrategias de mitigación de la isla de calor a escala ciudad. Las limitaciones del método WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools) en el área de estudio se vinculan a dos factores: la definición de clases para la zonificación y la condición de homogeneidad necesaria para determinar las áreas de entrenamiento. Los resultados muestran, que la clasificación WUDAPT se estructura en clases puras, con imposibilidad de generar subclases. Las clases puras están definidas de acuerdo a la combinación de un conjunto de parámetros que no describen de manera acabada la condición de los perfiles urbanos del AMM en verano, donde el arbolado en alineación actúa como elemento morfológico estructurante. Esto implica la necesidad de generar subclases, afectando la relación entre Factor de Visión de Cielo, relación alto/ancho de canal vial, Factor de Ocupación de Suelo, superficie impermeable y altura promedio. Otra limitación, es el tamaño de las zonas de entrenamiento, que exige áreas homogéneas de 1 Km², condición difícil de cumplir en el AMM. En este trabajo la herramienta con clases estándar ha sido adaptada para la apropiada caracterización de las zonas climáticas en ciudades con abundante forestación urbana, cuya tipología es creciente en América Latina. Se concluye que, superadas las limitaciones de la herramienta, las zonas climáticas identificadas dentro del área de análisis muestran correlación con el paisaje de los distintos sectores de la ciudad y homogeneidad térmica intraclase.

Palabras clave: clima urbano, zonificación, LCZ, morfología urbana, Área Metropolitana de Mendoza

The work applies the Local Climate Zones model in the Mendoza Metropolitan Area (AMM in Spanish), using the WUDAPT method and makes a critical analysis of its implementation feasibility based on the characteristics of the city. As a hypothesis, having a zoning of homologated urban structures according to their microclimatic condition is the first step to make the implementation of different urban heat island mitigation strategies effective on a city scale. The limitations of the WUDAPT method (World Urban Database Access Portal Tools) in the study area are linked to two factors: the definition of classes for zoning and the necessary homogeneity condition to determine training areas. The results show that the WUDAPT classification is structured in pure classes, with the impossibility of generating subclasses. The pure classes are defined according to the combination of a set of parameters that do not fully describe the condition of the urban profiles of the AMM in summer. In this season, the trees in rows act as a morphological structuring element. This implies the need to generate subclasses, affecting the relationship between Sky View Factor, road channel height/width ratio, Land Occupancy Factor, impermeable surface and average height. Another limitation is the size of the training areas, which require homogeneous areas of 1 km², a difficult condition to fulfill in the AMM. In this work, the tool with standard classes has been adapted for the appropriate characterization of climatic zones in cities with abundant urban forestation, whose typology is growing in Latin America. It is concluded that once limitations of the tool are overcome, the climatic zones identified within the analysis area show correlation with the landscape in different sectors of the city and intra-class thermal homogeneity.

Keywords: urban climate, zoning, LCZ, urban morphology, Mendoza Metropolitan Area

I. INTRODUCCIÓN

Las ciudades impulsan cambios ambientales a nivel global y también son excepcionalmente vulnerables a las consecuencias de dicho cambio (Grimmond *et al.*, 2010). La planificación urbana es fundamental para informar, coordinar e implementar medidas que mejoren la calidad ambiental de las ciudades frente al cambio climático. Sin embargo, a nivel local, no parece existir una sensibilización al respecto, siendo escasas las iniciativas para aumentar la resiliencia urbana frente al cambio climático (Arellano Ramos y Roca Cladera, 2015).

En las metrópolis, las características morfológicas de los espacios, las propiedades ópticas y térmicas de los materiales usados en sus envolventes, el índice de vegetación y el elevado aporte de calor antropogénico, entre otros factores, modifican el balance térmico incrementando las temperaturas urbanas, generando los efectos conocidos como “isla de calor” y “calentamiento urbano” – UHI y UW (“urban heat island” y “urban warming” por sus siglas en inglés respectivamente). La penalización energética para el enfriamiento inducido por la isla de calor urbano es de cerca de 0,8 kWh por unidad de superficie de la ciudad y por grado de aumento de la temperatura, o de 68 kWh por persona y grado (Santamouris, Cartalis, Synnefa y Kolokotsa, 2015). Las temperaturas urbanas más altas tienen impacto en la calidad de vida del habitante urbano, en el consumo de energía para el enfriamiento de los edificios, el confort al aire libre, la contaminación, la salud y la economía local (Akbari y Konopacki, 2004; Sarrat, Lemonsu, Masson y Guedalia, 2006; Taha, 2008; Luber y McGeehin, 2008; Pantavou, Theoharatos, Mavrikis y Santamouris, 2011; Sakka, Santamouris, Livada, Nicols y Wilson, 2012; Hirano y Fujita, 2012). Por ello es que crear comunidades más frescas se ha convertido en una prioridad para los gobiernos, impulsada principalmente por los nuevos objetivos encaminados a reducir las emisiones de carbono en respuesta al cambio climático global.

Mendoza es la cuarta ciudad en importancia demográfica y económica de Argentina; ubicada en el centro oeste del país y con un alto índice de aridez, integra la diagonal árida argentina. Posee escasa disponibilidad hídrica, abundante recurso solar a lo largo del año y elevado porcentaje de días despejados. El Área Metropolitana de Mendoza (AMM) es el núcleo urbano más importante del oeste argentino. El territorio está integrado por 7 municipios, cuenta con una superficie de 313,7 km², 979.397 habitantes, una densidad poblacional de 32 hab/km² y a escala urbana se identifican 9.950 manzanas. Presenta un modelo urbano del tipo abierto cuya habitabilidad térmica, sustentabilidad energética y ambiental dependen estrictamente de la presencia del arbolado urbano (Ruiz, Sosa, Correa y Cantón, 2015). A escala microclimática, sus características de aridez, elevada heliofanía y escasa frecuencia e intensidad de vientos y precipitaciones, más una anomalía térmica positiva en altura y las frecuentes inversiones de temperatura, son condiciones óptimas para la formación de la isla de calor. En la ciudad, este

fenómeno alcanza máximas de 10°C y valores promedios de 6°C, en invierno y verano, esto produce un incremento de aproximadamente 20% en las necesidades de enfriamiento del área metropolitana en base 24°C (Correa, 2006) y deteriora las condiciones de confort en los espacios abiertos de la ciudad -hasta 82% de las personas sienten algún grado de disconfort por calor en el periodo estival- (Ruiz, 2013). A escala global, las diferentes simulaciones climáticas estimadas a partir de los modelos de circulación general de la atmósfera (GCMs) marcan un importante calentamiento para la región del oeste argentino. Las temperaturas irán incrementándose durante el siglo XXI con aumentos mayores en el verano que en el invierno. Las simulaciones regionales para los territorios de las provincias de San Juan y Mendoza indican aumentos de alrededor de 3°C en los meses de verano a fines del siglo XXI. En consecuencia, los efectos del cambio climático pronosticados para la región implican mayores temperaturas diurnas y nocturnas, y menor disponibilidad del recurso hídrico (Villalba *et al.*, 2016). Las vulnerabilidades climáticas a escala global intensificarán en la región las olas de calor, la sequía y afectarán la magnitud de la isla de calor urbana.

En Mendoza, el INAHE-Conicet, trabaja desde el año 2004 en la caracterización y cuantificación del desarrollo espacial y temporal de la isla de calor urbana dentro del AMM, determinando sus causas y efectos (Correa, 2006). Y, desde el año 2007, en la evaluación de distintas estrategias de mitigación, entre ellas: esquemas eficientes de arbolado en alineación en convivencia con la forma de la trama urbana y su densidad edilicia (Ruiz *et al.*, 2015; Sosa, 2018); incremento de la reflectividad solar y el empleo de materiales fríos en las envolventes, y el uso de nuevas tecnologías verdes -cubiertas y paredes vegetadas- asociados a diferentes contextos urbanos (Alchapar y Correa, 2016; Alchapar Correa y Cantón, 2018; Flores Asin, 2019; Martínez, Cantón y Roig, 2014); diseño y materialidad de los espacios verdes tradicionales -parques y plazas- (Stocco, 2016). Los resultados han revelado que, en sectores de baja densidad edilicia, que actualmente representan más del 87% del AMM, la aplicación adecuada de estrategias de mitigación conduce a una disminución de la temperatura máxima de 5 a 6°C en el 67% de los escenarios evaluados; del orden de 2 a 3°C en la temperatura mínima en el 58% de los casos; y del orden de 3 a 4°C en la temperatura promedio en el 75% de los casos (Sosa, Correa y Cantón, 2018), lo que representa un potencial de ahorro en el consumo de energía para refrigeración que oscila entre el 24% y el 33%, dependiendo de las características de la trama urbana donde se emplaza la vivienda. En la alta densidad edilicia la combinación óptima de albedo en techos, fachadas y pavimentos puede disminuir las temperaturas urbanas hasta 3.5°C y las temperaturas interiores en viviendas sociales de 2 a 4°C, dependiendo de su tipología y orientación (Alchapar y Correa, 2016).

De lo descripto se desprende que existe suficiente conocimiento sobre las características de la isla de calor local y el efecto de







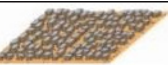









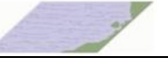
	1-COMPACTO EN ALTURA Edificación densa de edificios de más de 10 pisos. Pocos árboles. Pavimento. Materiales de construcción: concreto hierro, roca y vidrio.
	2-COMPACTO DE BAJA ALTURA Edificación densa de mediana altura (3 a 9 pisos). Pocos árboles. Pavimento. Materiales de construcción: concreto, ladrillos, roca y cerámica.
	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.
	4-ABIERTO EN ALTURA Edificios de más de 10 pisos separados. Abundancia de cobertura previas (plantas bajas y algunos árboles). Materiales de construcción: concreto, hierro, roca y vidrio.
	5-ABIERTO DE MEDIA ALTURA Edificios de mediana altura (3 a 9 pisos) separados. Abundancia de cobertura previas (plantas bajas y algunos árboles). Materiales de construcción: concreto, hierro, roca y vidrio.
	6-ABIERTO DE BAJA ALTURA Edificios de baja altura (1 a 3 pisos) separados. Abundancia de cobertura previa (plantas bajas y algunos árboles). Materiales de construcción: madera, concreto, ladrillos, roca y cerámica.
	7- CONSTRUCCIONES BAJAS Densa edificación de un piso. Pocos árboles, tierra compactada. Materiales de construcción livianos: madera, metal corrugado y paja.
	8- Grandes construcciones bajas Grandes edificios bajos (1 a 3 pisos) separados. Pocos árboles. Pavimento. Materiales de construcción: hierro, concreto, metal y roca.
	9- CONSTRUCCIONES DISPERSAS Construcciones pequeñas o medianas dispersas en áreas naturales. Abundancia de coberturas previas (plantas bajas y árboles dispersos)
	10-ÁREAS INDUSTRIALES Edificios industriales de baja y media altura (chimeneas y tanques). Pocos árboles. Pavimento o tierra compactada. Materiales de construcción
	A-BOSQUE/ ARBOLADO DENSO Densamente arbolado por especies perennes o caducifolias. Coberturas previas en su mayoría (plantas bajas). Zonas de bosques, actividad forestal o parques urbanos.
	B-ÁRBOLES DISPERSOS Arbolado disperso de especies caducifolias o perennes. Coberturas previas en su mayoría (plantas bajas). Zonas de bosques, actividad forestal o parques urbanos.
	C-ARBUSTOS Arbustos, matas y árboles leñosos bajos dispersos. Coberturas previas en su mayoría (plantas bajas). Zonas de bosque, actividad forestal o parques urbanos.
	D- PLANTAS BAJAS Paisaje dominados por cultivos, plantas bajas y/o césped. Pocos árboles. Zonas de parques urbanos o de actividad agrícola.
	E- ROCAS O PAVIMENTOS Paisaje de rocas o zonas pavimentadas. Pocos árboles. Zonas rocosas o playas de estacionamiento.
	F- SUELO DESCUBIERTO O ARENA Áreas de cobertura con arena o suelo descubierto. Poca cobertura vegetal. Zonas de desiertos o de agricultura (luego de la cosecha).
	G-AGUA Grandes cuerpos de agua libres como lagos, mares, ríos, reservorios o lagunas.

Figura 1. Clasificación de las Zonas Climáticas Locales. Fuente: Adaptado de Stewart y Oke (2012, p.7).

diversas estrategias de mitigación sobre distintos escenarios de análisis. Sin embargo, para efectivizar su implementación a escala ciudad es necesario establecer cuáles estrategias presentan mayor viabilidad costo/beneficio, de acuerdo a las características de las distintas zonas urbanas que componen el AMM. Es por ello imperativo desarrollar una zonificación que vincule las características de las distintas zonas urbanas de la ciudad de Mendoza con su respuesta microclimática.

Si bien existen varios modelos que intentan clasificar los sectores de la ciudad en función de las características de las zonas urbanas y su microclima (Castro, Conrado, Fernández, Álvarez y López, 2014; Fernández García y Martilli, 2016; Palme, Inostroza, Villacreses, Lobato-Cordero y Carrasco, 2017; Salvati, Palme y De la Barrera, 2018), uno de los que posee mayor aplicación a nivel internacional es el de Zonas Climáticas Locales (LCZ), desarrollado por Stewart y Oke (2012).

El presente trabajo tiene como objetivo aplicar el modelo de Zonas Climáticas Locales en el AMM utilizando el método WUDAPT y realizar un análisis crítico de su factibilidad de implementación en función de las características de la ciudad, que difieren sustancialmente del modelo urbano de las ciudades de Europa, Asia y América del Norte, donde el modelo fue concebido, desarrollado y empleado. La hipótesis considera que contar con una zonificación de las estructuras urbanas que componen el AMM, homologadas de acuerdo a su condición microclimática, es el primer paso para posibilitar un análisis profundo de la factibilidad de implementación de las distintas estrategias de mitigación de la isla de calor y el calentamiento urbano a escala ciudad.

II. MARCO TEÓRICO

El modelo de zonas climáticas locales (LCZ) es un sistema de clasificación del paisaje. Comprende la categorización de zonas 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" (Stewart y Oke, 2012, p. 1884). La categorización se realiza en 17 LCZ, 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 una. El conjunto estándar es sectorizado en dos tipologías: a) construidas (LCZ 1 a 10); y b) de cobertura de suelo (LCZ A a G) (Figura 1).

Cada Zona Climática Local es el resultado de un conjunto de parámetros (Tabla 1) 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.

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 posibilidad de que las características de una ciudad no se ajusten a los tipos propuestos, Stewart y Oke (2012) proponen como alternativa la opción de realizar una subclasificación combinando tipologías. Las subclases están justificadas cuando las características secundarias del sitio afectan el clima local o pueden estar relacionadas con los objetivos particulares de una investigación climática.

El modelo LCZ ha sido aplicado en distintos casos a nivel mundial, regional y local. A nivel mundial, Stewart *et al.* (2014) realizan una evaluación del funcionamiento del esquema LCZ utilizando observaciones de temperatura en las ciudades de Nagano, Vancouver y Uppsala. Wang *et al.* (2018), por su parte, efectúan una evaluación de las LCZ en ciudades áridas de Estados Unidos de América, aplicando LCZ para Phoenix y Las Vegas, y siguiendo el método WUDAPT. En Latinoamérica, Monteiro (2018) y Pezzuto y Silva (2013) analizan la relación de LCZ con la morfología urbana, tomando como caso de estudio la ciudad de Campinas, San Pablo (Brasil).

En Argentina, Piccone (2014) estudia el clima urbano de la ciudad de Tandil, Buenos Aires, para lo cual realiza una clasificación de la ciudad a partir de variables físicas, características de construcción, cobertura del suelo y concentración de la población. Roca, Puliafito, Allende, Ruggieri y Pascual (2016) aplican el modelo en la ciudad de San Juan, para el análisis y formulación de un modelo de confort urbano.

Más concretamente aún, en Mendoza, Puliafito, Bochaca, Allende y Fernández (2013) llevan a cabo un análisis de las áreas verdes y el confort térmico urbano. En la zonificación que proponen asignan 12 LCZ al AMM. Sin embargo, el trabajo no especifica cuál ha sido el método de interpolación geoespacial para definir los límites de las zonas climáticas y su nivel de ajuste. Y aunque el trabajo hace referencia a datos de temperatura del aire, no se verifica tampoco contrastación térmica entre zonas. El estudio, además, refiere a datos de temperatura de 2003 y 2005, en tanto que los resultados obtenidos de la caracterización morfológica y tecnológica corresponden a 2013. En este sentido, la metodología LCZ establece que las mediciones sean simultáneas y temporalmente coincidentes con la caracterización morfológica de los puntos tomados como referencia. Es por ello importante evitar la disociación temporal entre la toma de datos meteorológicos y la caracterización de la trama urbana para generar una correcta zonificación. Cabe destacar que el AMM reporta en los últimos 10 años un proceso de transformación donde las zonas periurbanas o de transición son dinámicas y las variables microclimáticas también han evidenciado modificaciones (Sosa, 2018). Todo lo anterior pone en evidencia la necesidad de definir adecuadamente las LCZ para el AMM.

Zona Climática Local (LCZ)	Relación de aspecto altura/media de edif / ancho de los cañones urbanos H/W	Sky View Factor 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	0.2-0.5	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

Tabla 1. Parámetros superficiales para cada LCZ. Fuente: Adaptado de Stewart, Oke y Krayenhoff (2014, p. 1064).

III. METODOLOGÍA

Aplicación del método WUDAPT en Mendoza

Se utilizó para la clasificación de las LCZ la herramienta WUDAPT, instrumento de acceso libre que permite cargar datos locales y compararlos con otras ciudades. Como se discutió previamente, la ciudad analizada posee un modelo urbano abierto de calles anchas y construcciones relativamente bajas, donde la intensa forestación que delimita las manzanas urbanas conforma verdaderos túneles verdes. El aglomerado urbano está profusamente 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%) (Martínez *et al.*, 2014). La configuración urbana sumada a la mencionada intensa forestación de sus calles modifica las condiciones radiativas y de flujo de viento de los canales viales, superando los efectos de la estructura edilicia en muchas zonas consolidadas de la metrópoli.

Estas particularidades del AMM generan que los parámetros definidos por Stewart y Oke (2012) para determinar las clases estándar, no sean directamente extrapolables para la clasificación local. Debido a que el arbolado urbano es un elemento estructurador y determinante de las LCZ, debido a su capacidad de modificar el SVF; por eso es importante comparar el funcionamiento de la metodología en condición de máxima y mínima expresión vegetativa del dosel forestal. De acuerdo a esto, inicialmente la metodología se ha desarrollado en la estación invernal de receso vegetativo, cuando es menor la influencia de este parámetro dada la condición caducifolia de las especies arbóreas.

Determinación de LCZ con WUDAPT

El proceso de definición de zonas con WUDAPT se realiza a partir de los pasos especificados por la metodología (Bechtel, *et al.*, 2015) que se encuentran detallados en su sitio web. En el presente estudio se trabajó con imágenes satelitales Landsat 8, disponibles en el catálogo Earth Explorer del USGS. Para evitar la influencia del dosel forestal, que no permite la visualización por teledetección de la zona que se encuentra debajo de la misma, se seleccionan imágenes correspondientes al invierno en el hemisferio sur: día 24 de julio de 2018 a las 02:43:13, en UTC.

Una vez seleccionadas las imágenes, se genera la clasificación LCZ en dos etapas. Para el procesamiento y análisis de las imágenes satelitales, se utilizó el software QGIS. Las imágenes se proyectaron en Posgar 07 Argentina Faja 2. La calibración y la corrección atmosférica de todas las bandas se efectúa automáticamente mediante el método DOS1 y los niveles digitales se convierten a valores de reflectancia (Piccone,

2014). Se conforma un ráster virtual y, fusionadas todas las bandas, se hace un recorte del área de interés. En la segunda etapa, para generar las LCZ con el método WUDAPT, se emplea una Clasificación Supervisada. Para ello, deben seleccionarse muestras representativas de cada clase de cobertura terrestre definidas, en este caso, cada LCZ definida por Stewart y Oke (2012). Luego, el software utiliza estos "sitios de entrenamiento" y, con los atributos de píxeles de una identidad conocida, se clasifican los píxeles de identidad desconocida (Linares y Tisnés, 2011). Durante esta etapa, es fundamental, para delimitar correctamente las áreas de entrenamiento, el relevamiento a campo, las fotografías aéreas, la cartografía y el uso de Google Earth, teniendo en cuenta que las áreas deben ser representativas y homogéneas de la clase que pretende definirse. Finalizada la selección de las áreas, se ejecuta el algoritmo de clasificación, el resultante u *output file* es un archivo ráster, donde cada valor de pixel corresponde a una categoría definida previamente.

En seguida, se lleva a cabo una primera aproximación de contrastación térmica de las áreas, a partir de los valores de temperatura superficial adquiridos de datos satelitales, específicamente del infrarrojo térmico de las imágenes antes procesadas y calibradas de Landsat 8. Si bien se ha planificado avanzar y profundizar en la contrastación térmica de las zonas con mediciones en tierra, esta primera aproximación pretende validar las zonas morfológicas identificadas con las respuestas térmicas de cada una.

IV. RESULTADOS

Aplicado el método WUDAPT, se observa que el área de estudio posee un total de 69.724,09 ha, del cual sólo 16.814 ha pertenecen al AMM, y el resto corresponde al piedemonte localizado al oeste mendocino, que presenta áreas de cultivo hacia el este (Figura 2).

El *output file* de la aplicación WUDAPT constituye un mapa donde se representan las LCZ del AMM y su entorno (Figura 3). La distribución porcentual de las LCZ identificadas según la tipología de construcción se ilustra en la Tabla 2. En el mapa se puede observar la zona urbana y periurbana del AMM, donde la Zona Climática Local que prima es la LCZ-6 "Abierto de baja altura", alcanzando un porcentaje del 27,55%, la que se ubica 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%. Esta zona tiene 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. Hacia el este, esta zona

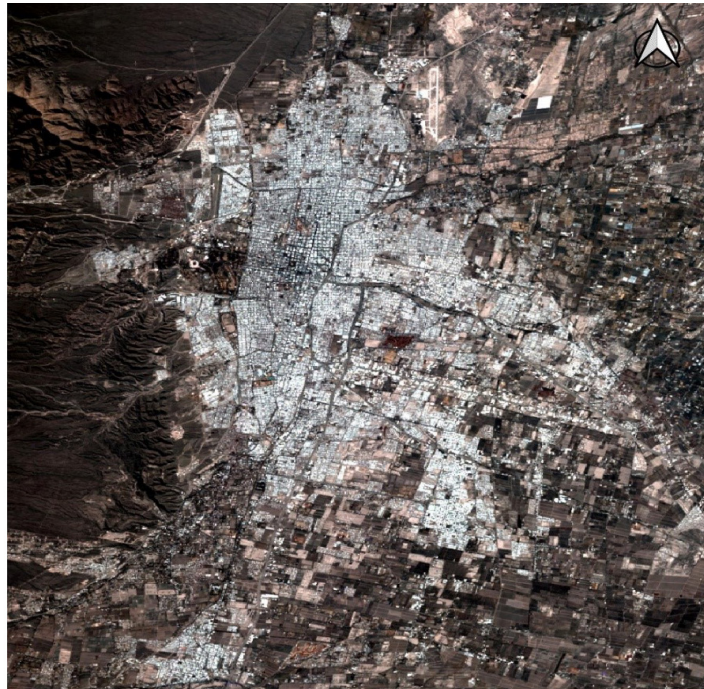
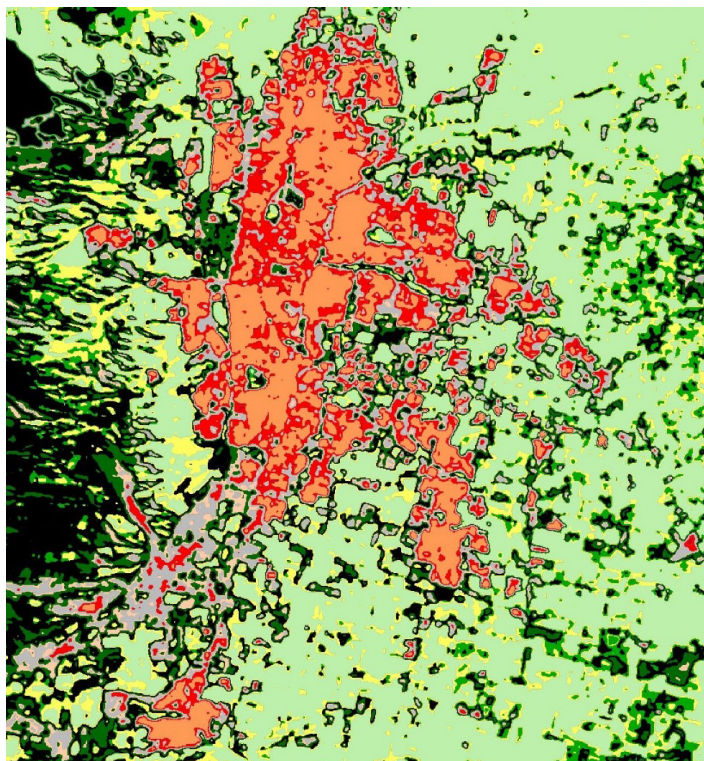


Figura 2. Caso de estudio: Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. Fuente: Elaboración de las autoras.



- 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

Figura 3. Zonas Climáticas Locales. Área Metropolitana de Mendoza. Fuente: Elaboración de las autoras.

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

Tabla 2. Distribución porcentual de Zonas Climáticas Locales en el AMM - Tipo de edificación. Fuente: Elaboración de las autoras.

Zonas Climáticas Locales	Sup. en hectáreas	Porcentaje
LCZ 2. Compacto de media altura	770,32	1,1
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

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

posee heterogeneidad de usos: hay sectores industriales y de depósito, y otros donde se advierten algunos barrios cerrados cuya expansión ha florecido en la última década.

En tercer lugar, en orden decreciente (21,42%), se registra la categoría LCZ-3 “Compacto de baja altura”, localizándose en la zona central de la ciudad de Mendoza, que se caracteriza 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.

A las anteriores, les siguen las categorías 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 de la ciudad se observa un importante sector con las clases A “Bosque arbolado denso” y B

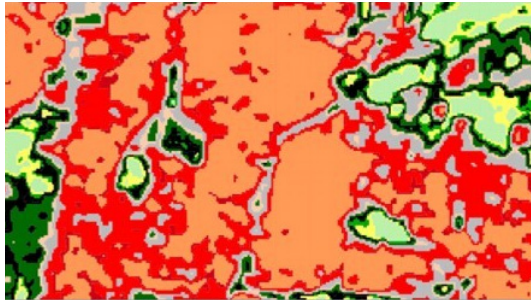
“Árboles dispersos”, que representan al Parque General San Martín (374 ha).

En la Tabla 3, se expone la distribución porcentual de LCZ en el AMM y piedemonte, según tipo de edificación y cobertura. El sector del piedemonte está categorizado con las clases E “Roca” y F “Suelo desnudo”, donde se aprecian manchas dispersas de vegetación autóctona. Al norte y, sobre todo, 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.

Si se toman sectores del AMM y se realiza una superposición de la imagen de Google Earth (base-opacidad 100%) y la clasificación de LCZ (opacidad 40%), se evidencia convergencia entre la morfología urbana y las zonas climáticas definidas mediante



Imagen de Google Earth



Clasificación LCZ

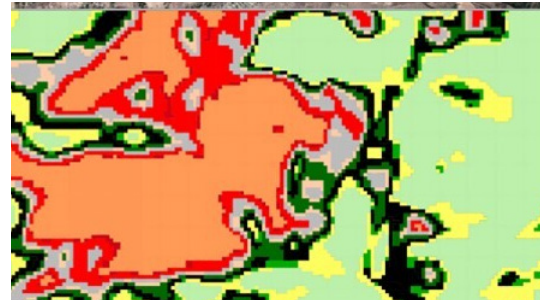


Superposición de imágenes de Google Earth y Clasificación LCZ

- 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



Imagen de Google Earth



Clasificación LCZ



Superposición de imágenes de Google Earth y Clasificación LCZ

- 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

Figura 4. Superposición cartográfica. Casco céntrico Ciudad de Mendoza- LCZ. Fuente: Elaboración de las autoras.

Figura 5. Superposición cartográfica – Ciudad de Luján de Cuyo-LCZ. Fuente: Elaboración de las autoras.

WUDAPT. A modo de ejemplo, en las Figuras 4 y 5, se muestran los resultados de este proceso, en el casco céntrico de la Ciudad de Mendoza y en la Ciudad de Luján de Cuyo, con sus respectivos entornos. Se visualiza que los patrones morfológicos y de uso de suelo representan diferentes Zonas Climáticas. Como es el caso del Departamento Capital de Mendoza, donde los sectores de mayor densidad edilicia se superponen con las LCZ 2 y 3, y en el entorno donde se perciben espacios de mayor apertura LCZ 6. De la misma manera ocurre con el Parque General San Martín y plazas urbanas, que son identificados como LCZ A y B.

En la ciudad de Luján de Cuyo se distingue que el sector de mayor densidad edilicia es categorizado con LCZ 6, y el entorno donde predominan los sectores de producción agrícola es categorizado como LCZ D; y, de igual modo, las respectivas áreas de mayor forestación son representadas mediante LCZ A y B. A nivel calle, se advierte una correlación morfológica del paisaje con las LCZ definidas, la que puede apreciarse en la Figura 6, donde la imagen a nivel calle es distintiva de la tipología de edificación definida mediante el método WUDAPT.

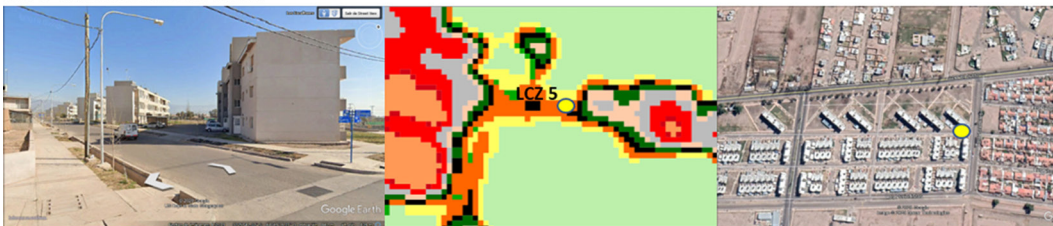
LCZ 2- Compacto de media altura



LCZ 3-Compacto de baja altura



LCZ 5 -Abierto de media altura



LCZ 6 -Abierto de baja altura



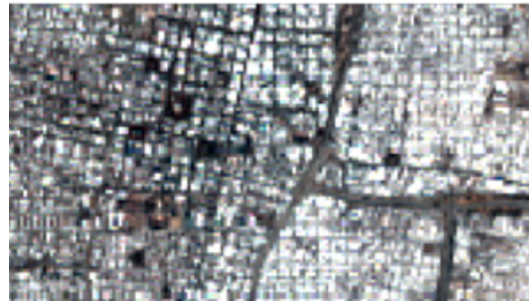
LCZ 8 -Grandes Construcciones bajas



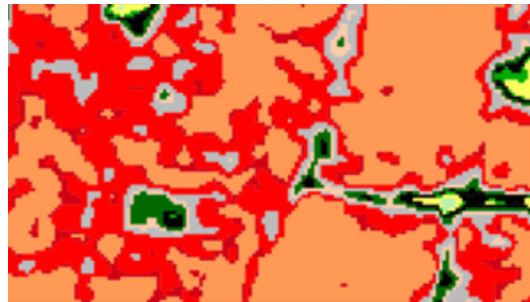
LCZ 9- Construcciones dispersas



Figura 6. Correlación imágenes de nivel de calle, clasificación LCZ e imagen de Google Street View. Fuente: Elaboración de las autoras.



Ciudad de Mendoza. Color natural, RGB (4,3,2)



Zonas Climáticas Locales. Ciudad de Mendoza



Temperatura superficial. Ciudad de Mendoza

Figura 7. Contrastación térmica. Clasificación LCZ -Temperatura Superficial. Fuente: Elaboración de las autoras.

Con respecto a la contrastación térmica de las zonas, se observa que la temperatura superficial posee correlación espacial con las clases definidas mediante el Método WUDAPT, es decir que las zonas poseen respuesta térmica semejante (Figura 7). Sin embargo, debido a que la imagen satelital corresponde a las 11:27 am (hora local), no se puede corroborar que este patrón se cumpla en otros horarios..

V. DISCUSIONES

El sistema de LCZ proporciona una discretización simple e integral del paisaje urbano. Pretende lograr un equilibrio entre exactitud y aplicabilidad. La limitación fundamental del modelo es que no permite capturar las peculiaridades de cada sitio analizado, fundamentalmente en ciudades de geometría heterogénea y con abundante vegetación urbana, como es el caso del AMM, ya que es un sistema reduccionista. El análisis de la bibliografía

internacional demuestra que éstas limitaciones se han superado a través de la generación de subclases. Existe una clara diferencia entre las realidades que, en este sentido, reflejan los trabajos realizados en ciudades europeas, norteamericanas o asiáticas respecto a lo que ocurre en las ciudades latinoamericanas. En las primeras, la totalidad de clases empleadas o un alto porcentaje son puras; en el caso de las ciudades de Phoenix y Las Vegas, se definieron 14 LCZ, todas clases estándar (Wang *et al.*, 2018). Stewart *et al.* (2014) identifican en Vancouver 8 clases, de las cuales sólo una es subclase. Un panorama diferente se aprecia en las ciudades latinoamericanas, donde la mayoría de las zonas son subclases. Así, Monteiro (2018) en Campinas, Brasil, analiza 17 zonas, todas subclases. Y Roca *et al.*, (2016) en San Juan, Argentina, definen 8 zonas, 7 subclases. Esta distancia en el abordaje metodológico evidencia que el método ha sido concebido en ciudades que poseen paisajes homogéneos de mayor superficie horizontal, con canales viales angostos y baja o nula presencia de arbolado urbano.

Dado que las clases puras definidas en el método en cuestión no representan las características propias de las ciudades latinoamericanas, surge la necesidad de crear gran cantidad de subclases, lo cual socava el objetivo principal de la metodología, es decir, estandarizar y sistematizar el estudio del clima urbano. En consecuencia, las clasificaciones de ciudades latinoamericanas no pueden ser homologadas y contrastadas a nivel internacional, por lo que, a pesar de la aplicación de la herramienta, los estudios de cada investigador difícilmente puedan contrastarse o extrapolarse a otras ciudades.

De modo particular, la abundante forestación urbana en el AMM representa un elemento estructurante 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 del método WUDAPT. A nivel local, teniendo en cuenta sólo la morfología urbana, los sectores del centro administrativo del AMM deberían clasificarse en la LCZ 2, donde los valores de SVF definidos se encuentran entre 0.3-0.6; no obstante, las mediciones de SVF *in situ* arrojan valores de 0.13 (Sosa, 2018). De acuerdo a lo discutido y con miras a subsanar estas diferencias, la mayoría de las clases definidas para el AMM deberían ser subclases, replicándose la problemática identificada en el resto de las ciudades latinoamericanas. Frente a esto, la presente investigación propone definir a escala local una clasificación con nula o escasa cantidad de subclases. Para ello, efectúa una modificación al procedimiento de las LCZ y WUDAPT mediante la eliminación de una de las variables. A nivel internacional, Salvati *et al.* (2018) también proponen una modificación al sistema LCZ con el objetivo de mejorar la clasificación y lograr un mejor ajuste térmico, correlacionando tres parámetros morfológicos con el valor de la UHI en verano e invierno.

Este trabajo plantea desarrollar, primero, una base morfológica que permita la apropiada caracterización de los espacios urbanos en invierno, minimizando la incidencia de la forestación, definiendo las LCZ en base a la geometría urbana y contrastando la respuesta térmica en invierno, para ajustar la definición de las zonas. Esto genera una primera definición de LCZ, que será analizada y ajustada posteriormente en verano, a fin de extraer de los parámetros que definen las zonas puras en la metodología WUDAPT, aquel que tenga mayor peso estadístico en la respuesta térmica de la misma. Dicha labor permitirá representar particularidades sin alejarse del objetivo reduccionista del sistema, ni comprometer sus posibilidades de homologación. Además, esta primera zonificación de base fundamentalmente morfológica es una herramienta para avanzar en el análisis sistemático de la factibilidad costo/beneficio de la implementación masiva de las distintas estrategias de mitigación del calentamiento urbano y la isla de calor analizadas a nivel local, cuyos beneficios han demostrado ser fuertemente dependientes de la morfología (Alchapar y Correa, 2016; Sosa *et al.*, 2018).

VI. CONCLUSIONES

A partir de la clasificación de LCZ realizada para AMM, Argentina, con el método WUDAPT, se definieron 11 clases, 6 de tipología de edificación

y 5 de cobertura. De tipología construida, la zona que predomina es la "LCZ-6 Abierto de baja altura", que muestra un gran desarrollo en la zona central de la mancha urbana. Le sigue la LCZ-8 "Grandes construcciones bajas", que se encuentra fundamentalmente al sur de la mancha urbana y hacia el este, donde hay heterogeneidad de usos (industrial, depósito, barrios cerrados). En tercer lugar, y en orden decreciente, se registra la categoría LCZ-3 "Compacto de baja altura", localizada en la zona central de la ciudad de Mendoza y caracterizada por ser el centro administrativo, financiero y comercial de la provincia. Esta clase se observa también en cabeceras departamentales y en sus entornos inmediatos. Finalmente, los menores porcentajes corresponden a LCZ-9 "Construcciones dispersas", LCZ-5 "Abierto de mediana altura" y LCZ-2 "Compacto de media altura".

Efectuando una correlación de imágenes satelitales, imágenes a nivel calle y la zonificación desarrollada, es posible visualizar que los patrones morfológicos y de uso de suelo resultan distintivos de las zonas definidas gracias al método WUDAPT. Las LCZ definidas parecerían tener un comportamiento térmico homogéneo; *a priori* se advierte que la temperatura superficial posee correspondencia espacial con las clases definidas, es decir que intra zona poseen respuesta térmica semejante. Sin embargo, se planifica continuar con la validación térmica, contrastando mediciones en tierra e imágenes satelitales del infrarrojo térmico y profundizar el análisis del comportamiento de las variables microclimáticas.

Tras analizar el método WUDAPT, se identifica que, si bien es un proceso con numerosos pasos y múltiples variables a tener en cuenta, se ejecuta de manera sencilla y económica, ya que teniendo datos y conocimientos del área de estudio, se puede llevar a cabo en su totalidad con teledetección. Se trata, en suma, de una herramienta muy útil para una primera aproximación a la clasificación. De esta forma, se concluye que la aplicación de la Metodología de LCZ con el método WUDAPT en el AMM ha servido para generar una base morfológica, donde se distinguen los paisajes urbanos con geometrías diferentes. Aunque WUDAPT no permite la creación de subclases, se considera que la herramienta puede ser adaptada a la realidad local, mediante el proceso de selección de imágenes satelitales, optando por imágenes de invierno para evitar la interferencia de la canopia. Esta propuesta metodológica puede extrapolarse a otras ciudades latinoamericanas que poseen características semejantes a fin de mantener el objetivo de sistematizar los estudios de clima urbano.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akbari H. y Konopacki S. (2004). Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto, Canada. *Energy and Buildings*, 29, 191-210. DOI:10.1016/j.energy.2003.09.004
- Alchapar N. y Correa E. (2016) The use of reflective materials as a strategy for urban cooling in an arid "oasis" city. *Sustainable Cities and Society*, 27, 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.08.015>.
- Alchapar N., Correa E. y Cantón M. A. (2018). ¿Techos reflectivos o verdes? Influencia sobre el microclima en ciudades de zonas áridas. Mendoza-Argentina. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 11(22) 1-23, DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu11-22.trvi>

- Arellano Ramos, B. y Roca Cladera, J. (2015). Planificación Urbana y Cambio Climático. En *International Conference on Regional Science. XVI Reunión de Estudios Regionales. Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV)*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 18-20 noviembre.
- Bechtel, B.; Alexander, P. J.; Böhner, J.; Ching, J.; Conrad, O.; Feddema, J.; Mills, G., ... y Stewart, I. (2015). Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. *International Journal of Geographic Information*, 4(1), 199-219. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi401019>
- Castro Conrado, Y., Fernández Figueroa, E., Álvarez, A. y López, A. (2014). Morfología urbana en la ciudad de Sagua la Grande. *Arquitectura y Urbanismo*, 35(3), 50-68.
- Correa, E. (2006). *Isla de Calor Urbana. El Caso del Área Metropolitana de Mendoza*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas.
- Fernández García, F. y Martilli, A. (2016). Estudio de detalle del Clima Urbano De Madrid. <https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/SostenibilidadEspelnf/EnergiayCC/04CambioClimatico/4cEstuClimaUrb/Ficheros/EstuClimaUrbaMadWeb2016.pdf>
- Flores Asin, J. E. (2019). *Tecnologías verdes en zonas áridas. Diseño y evaluación energético-ambiental de sistemas de vegetación de aplicación en cubiertas edilicias*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas
- Grimmond, C.S.B., Roth, M., Oke, T.R., Au, Y.C., Best, M., Betts, R. y Freitas, E. (2010). Climate and More Sustainable Cities: Climate Information for Improved Planning and Management of Cities. *Procedia Environmental Sciences*, 1, 247-274.
- Hirano, Y. y Fujita, T. (2012). Evaluation of the impact of the urban heat island on residential and commercial energy consumption in Tokyo. *Energy*, 37(1), 371-383.
- Linares, S. y Tisnés, A. (2011). Extracción y análisis de superficies urbanas construidas empleando imágenes Landsat 5 (TM). En *I Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica - IV Reunión de Usuarios de Tecnologías de la Información Geográfica del NEA* (pp. 180-191). Facultad de Humanidades - UNNE, Laboratorio de Tecnologías de la Información Geográfica, IIGHI - CONICET. Resistencia, Corrientes, Argentina, 14-15 de abril.
- Luber, G. y McGeehin, M. (2008). Climate change and extreme heat events. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(5), 429-435.
- Martínez, C. F., Cantón, M. A. y Roig, 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*, 39(12), 890-897.
- Monteiro, V. (2018). *Zonas Climáticas Locais E A Relação Com A Morfologia Urbana. Estudo de Caso: Campinas/Sp*. Biblioteca Digital Pontificia Universidade de Campinas. Recuperado de <http://tede.biblioteca digital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/1047?mode=full>
- Palme, M., Inostroza, L., Villacreses, G., Lobato-Cordero, A. y Carrasco, C. (2017). From urban climate to energy consumption. Enhancing building performance simulation by including the urban heat island effect. *Energy and Buildings*, 145, 107-120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.069>
- Pantavou, K., Theoharatos, G., Mavrikis, A. y Santamouris, M. (2011). Evaluating thermal comfort conditions and health responses during an extremely hot summer in Athens. *Building and Environment*, 46(2), 339-344. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.026>.
- Pezzuto, C. y 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. En XII ENCAC. Brasília, Brasil. 25-27 Setembro. Recuperado de <http://antac.pcc.usp.br/eventos/encac-elacac-2013>
- Piccone, N. (2014). *Clima Urbano de la ciudad de Tandil*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Sur. Departamento de Geografía y Turismo. DOI: [10.13140/RG.2.1.2083.8808](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2083.8808)
- Puliafito, S., Bochaca, F., Allende, D. y Fernández, R. (2013). Green areas and microscale thermal comfort in arid environments: A case study in Mendoza, Argentina. *Atmospheric and Climate Sciences*, 3(03), 372-384.
- Roca, G., Puliafito, S., Allende, D., Ruggieri, F. y Pascual, R. (2016). Modelado urbano a microescala: contribución al confort urbano de ecosistemas áridos. *Revista AVERMA*, 4(1), 01.77-01.88.
- Ruiz, M.A. (2013). *Efectos microclimáticos de la vegetación en ciudades de zonas áridas. Incidencia sobre los consumos energéticos y la calidad ambiental del hábitat*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas.
- Ruiz, M.A., Sosa, M.B., Correa, E.N. y Cantón, M.A. (2015). Suitable configurations of forested urban canyons to mitigate the UHI in Mendoza city, Argentina. *Urban Climate*, 14, 197-212. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.05.005>
- Sakka, A., Santamouris, M., Livada, I., Nicols, F. y Wilson, M. (2012). On the thermal performance of low income housing during heat waves. *Energy and Buildings*, 49, 69-77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.023>.
- Salvati, A., Palme, M. y De la Barrera, F. (2018). Urban morphology parametrization for climate modelling in urban planning. En *10th International Conference on Urban Climate/14th Symposium on the Urban Environment*. 6-10 August 2018. New York, USA. Recuperado de <https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/meetings-events/ams-meetings/10th-international-conference-on-urban-climate-14th-symposium-on-the-urban-environment/>
- Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A. y Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Energy and Buildings*, 98, 119-124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.052>.
- Sarrat, C., Lemonsu, A., Masson, V. y Guedalia, D. (2006). Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution. *Atmos Environ*, 40, 1743-1758. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.037>
- Sosa, M.B (2018). *Estrategias de mitigación de la isla de calor sustentabilidad ambiental y eficiencia energética de perfiles urbanos de baja densidad en zonas áridas*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas.
- Sosa, M.B., Correa, E. y Cantón, M. A. (2018). Neighborhood Designs For Low Density Social Housing Energy Efficiency. A Study For An Arid City In Argentina. *Energy and Building*, 168, 137-146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.006>
- Stewart, I. D. y Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900.
- Stewart, I. D., Oke, T. R. y Krayenhoff, E. S. (2014). Evaluation of the local climate zone scheme using temperature observations and model simulations. *International Journal of Climatology*, 34 (4), 1062-1080. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.3746>
- Stocco, S. (2016). *Impacto de la morfología y materialidad de las plazas en la calidad energético-ambiental de ciudades emplazadas en zonas áridas*. Tesis Doctoral. Universidad Tecnológica Nacional (regional Mendoza) UTN.
- Taha, H. (2008). Meso-urban meteorological and photochemical modeling of heat island mitigation. *Atmospheric Environment*, 42(38), 8795-8809. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.06.036>
- Villalba, R., Boninsegna, J.A., Masiokas, M.H., Cara, L., Salomon, M., Pozzoli, P. (2016). Cambios Climáticos y Recursos Hídricos: El caso de las tierras secas del oeste argentino. *Ciencia Hoy*, 45, 49-55.
- Wang, C., Ariane, M., Myint, S., Kapla, S., Brazel, A.J. y Lukaszcyk, J. (2018). Assessing local climate zones in arid cities: The case of Phoenix, Arizona and Las Vegas, Nevada. *Journal of Photogram and Remote Sensing*, 141, 59-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.04.009>