

Gestión sostenible de áreas urbanas. Evaluación y diagnóstico mediante herramientas de geomática

Sustainable management of urban areas. Evaluation and diagnosis using geomatics tools

Presentación: 4 y 5 de octubre de 2022

Doctoranda:

María Florencia Colli

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía. Centro Científico Técnico Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Mendoza – Argentina
mfcolli@mendoza-conicet.gob.ar

Directora:

Érica N. Correa

Codirectora:

Claudia F. Martinez

Resumen

En el presente se exponen los avances de tesis doctoral, donde concluida la etapa de zonificación climática local se analizan y caracterizan las diferentes zonas a partir de índices espectrales. Se han aplicado variados índices para analizar las dimensiones vegetación, humedad, estrés hídrico e impermeabilización por uso urbano, pero se va a presentar únicamente la aplicación del índice espectral NDVI, utilizado para analizar y cuantificar la cobertura vegetal.

Los resultados muestran pequeñas diferenciaciones entre la zona 2 y 3, con valores entre 0,25 y 0,3 para decaer en las zonas 5 y 6 a valores que dificultosamente alcanzan los 0,2. Se produce un aumento significativo en las zonas 8 y 9, que poseen mejores condiciones de vegetación. Esto permite identificar las zonas que necesitan intervención para lograr una rehabilitación de la canopia urbana, siendo el caso de la LCZ 6, donde se presentan los peores resultados del índice.

Palabras clave: NDVI, índices espectrales, Zonas Climáticas Locales, datos espaciales, área metropolitana de Mendoza.

Abstract

This paper presents the progress of the doctoral thesis, in which, once the local climatic zoning stage has been completed, the different zones are analysed and characterised using spectral indices. Various indices have been applied to analyse the dimensions vegetation, humidity, water stress and waterproofing due to urban use, but only the application of the NDVI spectral index, used to analyse and quantify vegetation cover, will be presented.

The results show small differences between zones 2 and 3, with values between 0.25 and 0.3, and then decline in zones 5 and 6 to values that hardly reach 0.2. There is a significant increase in zones 8 and 9, which have better

vegetation conditions. This makes it possible to identify the zones that need intervention to achieve a rehabilitation of the urban canopy, the worst results of the index being in LCZ 6.

Keywords: NDVI, spectral indices, Local Climatic Zones, spatial data, Mendoza metropolitan area.

Introducción

El acelerado desarrollo de las zonas urbanas en detrimento de la superficie con vegetación natural y espacios productivos, ha provocado múltiples impactos ambientales negativos hacia el interior de las urbes como así también hacia las periferias. El análisis de estas transformaciones demanda la generación de información espacial, que permita monitorear la dinámica de los cambios en el sector urbano a fin de optimizar la planificación y gestión de estos.

Ante la demanda de información espacial confiable, a diferentes escalas y actualizada periódicamente, las técnicas teledetección y geomática constituyen una metodología destacada para cumplir con este requisito.

Poseer una clasificación climática morfológica del paisaje permite discretizar de manera integrada y estandarizar los estudios urbanos, vinculando variables ambientales, microclimáticas y morfológicas. Así la definición de LCZ se conforma como una base fundamental para la planificación urbana sustentable y estratégica.

Este trabajo presenta los avances de un proyecto de investigación orientado a desarrollar una metodología apropiada para la zonificación climática del Área Metropolitana de Mendoza -AMM- y la caracterización de zonas a través de distintos indicadores obtenidos mediante herramientas de geomática, que posibiliten establecer relaciones causales entre las variadas infraestructuras del espacio urbano y la calidad ambiental de su entorno.

La hipótesis de trabajo considera que disponer de una zonificación que vincule las características de las distintas zonas urbanas del AMM con su respuesta microclimática, y evaluar para cada una de las zonas identificadas relaciones causales entre infraestructura gris, infraestructura verde y la respuesta microclimática del área; permitirá detectar criterios para el diseño y gestión de la Infraestructura Verde Urbana, a fin de potenciar el aporte de sus servicios ecosistémicos teniendo en cuenta que la infraestructura verde constituye una respuesta local al desafío que imponen tanto el cambio climático, como los procesos de concentración y expansión urbana.

Zona de estudio

El Área Metropolitana de Mendoza-AMM-(32°52'37.08"S; 68°50'28.03"O), localizada en el Oasis Norte de la Provincia de Mendoza (790msnm). Posee clima seco desértico (BW según la clasificación climática de Köppen-Geiger). La radiación solar es elevada en verano (1022.0 W/m² máximos diarios) y cuenta con numerosos días de cielo claro (2762 horas anuales de sol). Los vientos son moderados y poco frecuentes, de velocidad promedio: 11 km/h con dirección sur-este y la precipitación media anual es de aproximadamente 250mm (Stocco et al., 2018). Desde el punto de vista microclimático, las características de elevada heliofanía, escasa frecuencia e intensidad de vientos y acotadas precipitaciones anuales, sumadas a una anomalía térmica positiva en altura y frecuentes inversiones térmicas, son condiciones óptimas para el desarrollo del fenómeno de isla de calor (Correa, 2006).

El AMM concentra el 65% de la población provincial y el 71% de la población urbana, la cual ha tenido un crecimiento acelerado, (censo 2010).

Respecto de la morfología urbana, presenta muy baja densidad edilicia, se caracteriza por presentar una trama del tipo racional, con manzanas rectangulares con orientación N-S, E-O, distribuidas porcentualmente de manera equitativa (30%) con una configuración espacial del tipo abierto (canales viales anchos de 20 o 30), (Sosa et al., 2017). El conglomerado urbano está copiosamente arbolado con diversas especies. Las mismas se encuentran plantadas en líneas paralelas a un sistema de conducción de riego artificial, donde el 68% se concentra en tres especies forestales (*Morus alba* 39%, *Fraxinus ssp.* 20% y *Platanus hispánica* 9%) y el 38% restante está conformado por un conjunto de 22 especies en donde la representatividad de cada una de ellas es inferior al 5%. (Martinez et al, 2014; Castillo et al, 2019).

Desarrollo

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de la investigación se ha estructurado en tres etapas: 1. Selección y adecuación de una metodología apropiada para la zonificación del Área Metropolitana de Mendoza; 2. Realización de campaña de monitoreo microclimático; 3. Obtención de índice NDVI, análisis gráfico y estadístico descriptivo.

Definición y análisis de Zonas Climáticas Locales en el Área Metropolitana de Mendoza

Para generar una clasificación del paisaje urbano que sirva como base para analizar diferentes variables, se ha utilizado la metodología propuesta por Stewart y Oke (2012), que clasifica el territorio en zonas uniformes en cobertura de suelo, estructura, materiales y actividades humanas. El sistema comprende la categorización 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. El conjunto estándar es sectorizado en dos tipologías: a) construidas - LCZ 1 a 10-, y b) de cobertura de suelo - LCZ A a G-. Cada LCZ es el resultado de un conjunto de parámetros que configuran y caracterizan las propiedades morfológicas. Cada “zona” se nombra individualmente, distinguiendo el conjunto de propiedades superficiales que las caracterizan. Para definir las LCZ del Área Metropolitana de Mendoza, se ha utilizado la herramienta WUDAPT (Colli et al., 2020).

Campañas de monitoreo microclimático.

entre las fechas 15 de febrero y 14 de marzo de 2021 se ha realizado la campaña de monitoreo microclimático en el AMM. Para ello se emplearon 23 sensores de temperatura y humedad relativa de tipo HOBO H8-003-02 y UX100-003 (HOBO®; Inicio; Cape Cod, MA). Los mismos se han colocado a una altura de 2,5 m de altura en postes de luminaria pública dentro de cajas de PVC blanco perforado, para evitar la irradiación y permitir una adecuada circulación del aire (Oke, 2004).

Selección de zonas representativas para el análisis

Para delimitar el área de aplicación del índice, se ha utilizado el alcance de cada sensor, que se estableció de acuerdo con el criterio de la Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos (WMO, 2014). A partir esto se determina q para las zonas 2 y 3, el alcance es 133m de radio y para el resto de las zonas es de 218,75m.

Obtención de índices espectrales representativos de cada zona

A partir de imágenes satelitales ópticas y aplicación de álgebra de bandas se puede obtener información de vegetación y suelo. Para ser capaces de manipular e interpretar esa gran cantidad y diversidad de datos e información, es que se generan los índices espectrales, transformando las bandas originales en bandas nuevas y sintéticas. Los mismos posibilitan monitorear y determinar la sustentabilidad de distintas zonas urbanas y los parámetros críticos que las afectan. Estas técnicas presentan ventajas en lo referente a costos, menor tiempo invertido en la recolección de datos, información precisa, y mayor facilidad en la interpretación y predicción de fenómenos ambientales (Sánchez, 2017).

En el trabajo de tesis, para analizar el AMM desde diferentes dimensiones se han seleccionado diferentes índices espectrales. Entre las variables estudiadas se encuentran vegetación, humedad, estrés hídrico e impermeabilización de suelo por construcción. Dada la importancia de la vegetación como reguladora del microclima de la ciudad, para el análisis de distintos aspectos de la condición ambiental y edilicia de las zonas climáticas identificadas, se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada-NDVI (Tabla 1). Este es el que se desarrolla en el presente trabajo.

Para esta etapa se utilizaron imágenes satelitales multiespectrales Sentinel-2A. Se analizaron y procesaron mediante el programa QGIS, imágenes correspondientes al 24 de febrero de 2021. Los ráster originales fueron calibrados y los valores digitales fueron transformados a reflectancia.

Las imágenes fueron adquiridas de la página web del Servicio Geológico de EE. UU.

Producto utilizado: Sentinel-2A _PRODUCT_ID: L1C_T19HED_A029651_20210224T143334

Fórmula (Sentinel-2)	Descripción de índice espectral	Referencia
NDVI: (B8-B4 / B8+B4)	Determina cantidad y calidad de vegetación. Sus valores van de -1 a 1 correspondiendo valores cercanos a -1 vegetación seca o enferma y, cercanos a 1, vegetación sana.	Rouse et al., 1974

Tabla 1: Fórmulas de cálculo y descripción de los índices empleados para el AMM

Se analizan el comportamiento de índice en cuanto a máximos, mínimos y media en cada zona. En relación a las LCZ se evaluó desempeño térmico registrado con los hobos (temperatura ambiente máx., min y media) para el día 26 de febrero de 2021 por ser un día típico del verano en Mendoza (Sosa et al., 2017).

Resultados

Zonificación Climática Local para el AMM

Mediante la aplicación del método WUDAPT en el ámbito del área Metropolitana de Mendoza, se obtuvo la Zonificación Climática local (Figura N°1). En “tipología construida” se observa que la clase con mayor representación superficial es la LCZ-6 que corresponde a la tipología “Abierto de baja altura” (27,55%); seguida por LCZ-8, tipología que corresponde a “Grandes construcciones bajas” (22,71%), En tercer lugar, la LCZ-3 “Compacto de baja altura” (21,42%) y le siguen las tipologías LCZ-9 “Construcciones dispersas” (14,87%), LCZ-5 “Abierto de mediana altura” (8,87%) y LCZ-2 “Compacto de media altura” (4,58%). Al oeste de la ciudad se encuentran las clases A “Bosque arbolado denso” y B “Árboles dispersos”.

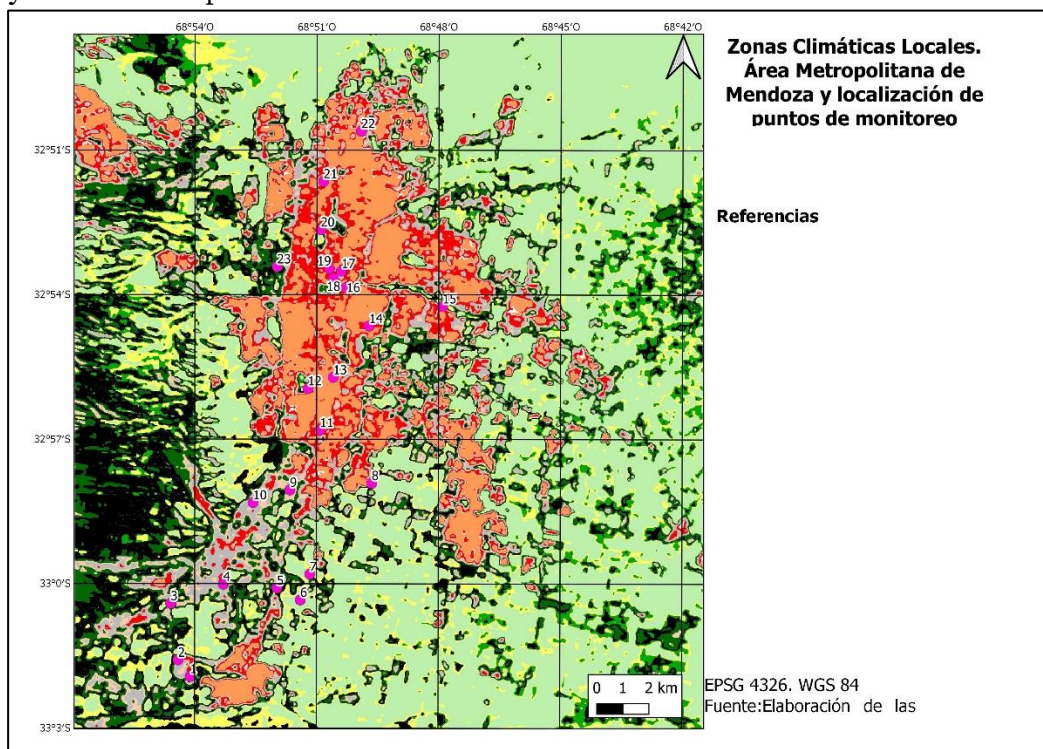


Figura 1: Zonas Climáticas Locales identificadas en el AMM y localización de puntos de monitoreo

Resultado del cálculo de NDVI para el AMM

Como producto de la aplicación del álgebra de bandas específico para el desarrollo del índice, en el área correspondiente al radio de alcance establecido para cada sector monitoreado, se obtiene un ráster donde cada píxel brinda el valor del mismo. En la figura 2 se muestra la respuesta de cada uno de los sectores monitoreados.

En la zona climática LCZ 2 (compacto de media altura) y LCZ 3 (compacto de baja altura) se logra identificar la trama vial, ya que en este sector se localizan los píxeles con valores más altos. Hacia el interior de la trama los valores se reducen radicalmente, diferenciándose focos críticos de valores negativos.

En la LCZ 6 (abierto de baja altura) los valores altos son escasos y no presentan continuidad. Predominan los píxeles con valores de clasificación del índice “regular” que van de 0,2 a 0,4. Hacia el interior de la manzana predominan valores “deficientes” entre 0 y 0,2, y sectores críticos, es decir “muy deficientes”, distribuidos en toda la superficie. Estos valores dejan en claro que en esta zona el arbolado público se encuentra deteriorado.

Las zonas correspondientes a la periferia del área metropolitana, las zonas 8 (grandes construcciones bajas) y 9 (construcciones dispersas) caracterizadas por poseer alta cobertura vegetal, espacios abiertos, viviendas aisladas y terrenos extensos. En toda la superficie analizada predominan píxeles de condición “muy buena” valores mayores a 0,6.

El comportamiento térmico registrado y los valores de NDVI, se sintetizan en la tabla 2. En las columnas de las temperaturas, se visualiza que en las máximas la LCZ que tuvo el mayor valor es la LCZ 6 (40,01°C) y la que tuvo el registro más bajo dentro de las máximas fue la zona 9 (32,44°C). Con respecto a las temperaturas mínimas la que presenta el mayor valor dentro de esta categoría, es la zona 8 con 18,69 °C y la que presenta el más alto es la zona 2

con 24,5 °C. En las temperaturas medias la LCZ que ha registrado el valor más bajo es la 9 (25,56 °C) y la que posee la mayor Tmed es la LCZ 5 (30,2°C).

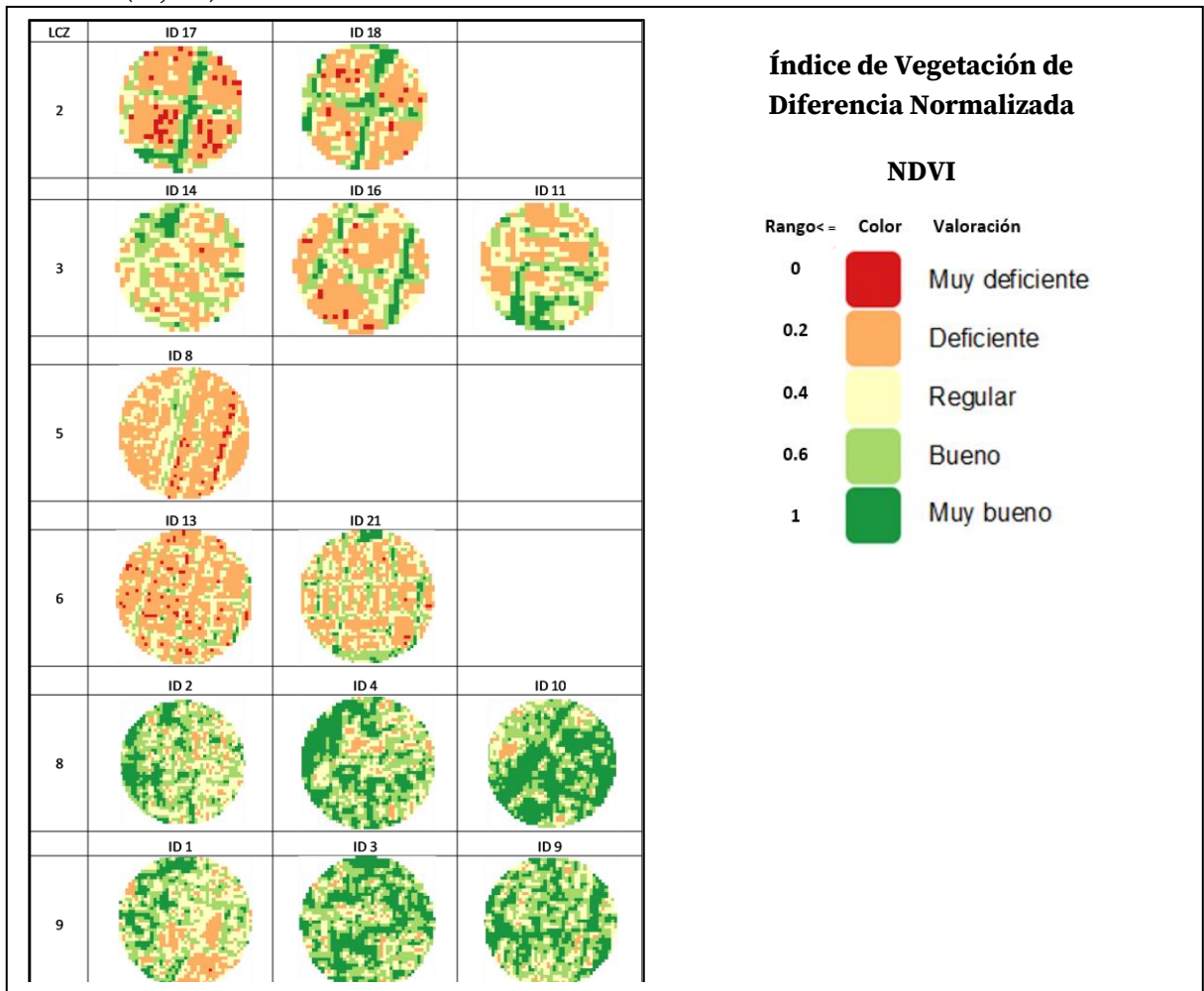


Figura 2: Comportamiento de NDVI por Zona Climática Local

Con respecto a los valores medios del NDVI, los registros máximos los poseen las LCZ 8 y 9, con registros superiores a 0,47, es decir que se encuentran en una situación “buena” y los más bajos los tienen las LCZ 5 y 6 teniendo una valoración “deficiente”. Dentro de los valores máximos nuevamente las zonas 8 y 9 son las que se encuentran en mejor situación, alcanzando valores muy altos (>0,85), posicionándose en una situación “muy buena”. En esta categoría los que tienen cifras más bajas son las zonas 2 y 6 que se encuentran en condición “buena”. La LCZ 5 es la clase que dentro de los valores mínimos posee el registro más bajo, alcanzando una categoría “muy deficiente”.

LCZ	Temperatura			NDVI		
	T Max	T Min	T Med	MED	MAX	MIN
2	34,01	24,5	29,06	0,24	0,78	-0,1
3	35,79	23,02	28,67	0,3	0,82	-0,1
5	39,21	22,18	30,2	0,17	0,6	-0,2
6	40,01	23,13	29,78	0,22	0,78	-0,1
8	37,25	18,69	26,24	0,51	0,88	0,02
9	32,44	19,23	25,56	0,47	0,85	0

Tabla 2: Índices espectrales y desempeño térmico en los sectores monitoreados de cada LCZ del AMM

Conclusiones

Utilizar técnicas de teledetección para determinar la cobertura vegetal urbana empleando imágenes multiespectrales de alta resolución, ofrece la oportunidad de cubrir grandes áreas de análisis y hacer un seguimiento eficiente a lo largo del tiempo y a diferentes escalas.

El monitoreo sobre las transformaciones urbanas y la pérdida de cobertura vegetal genera la disminución de calidad de vida de los habitantes urbanos. La aplicación de índices a diferentes escalas y de forma periódica, faculta la generación de alertas tempranas en las anomalías de las coberturas, permitiendo la toma de decisiones para su manejo o la mitigación de los factores externos que pueden afectar su desarrollo, derivando en mejoras en las condiciones microclimáticas y ambientales.

Esto se torna fundamental ya que se observa que la respuesta térmica de cada LCZ estaría fuertemente influenciada por la cantidad de vegetación. A mayor densidad edilicia con registros bajos de NDVI, se produce un incremento de la temperatura media, e inversamente, a mayor cobertura vegetal, dónde el índice presenta los valores más altos, la temperatura disminuye notoriamente. Es decir que el adecuado manejo de la forestación urbana contribuye a potenciar los beneficios ecosistémicos que ofrece la infraestructura verde, entre ellos regular la temperatura.

Ante lo desarrollado, se evidencia que la aplicación de índices espectrales para el diagnóstico y análisis del AMM constituyen una herramienta para la definición de políticas públicas, ya que permiten diferenciar espacialmente la necesidad de intervención en las diversas zonas y establecer criterios de prioridad y urgencia (Sanchez,2017). Esto representa, considerando la potencia de la geomática combinada con el análisis geoestadístico, una enorme oportunidad de contar con información de calidad, actualizada, a diferentes escalas y con accesibilidad, a disposición de la gestión de las zonas urbanas en relación con los fenómenos de riesgo de isla de calor y la detección de zonas que presentan potencial para su rehabilitación energética y ambiental.

Referencias

Castillo A.; Correa E. y Cantón M. (2019). “Geomorfología y forma urbana. Comportamiento térmico de distintas tramas en áreas de piedemonte: el caso de Mendoza, Argentina”. *EURE*, vol. 45, (136), pp. 183-207. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612019000300183>

Colli, M. F., Correa, É. N., y Martínez, C. F. (2020). “Aplicación del método WUDAPT en la ciudad de Mendoza-Argentina para definir Zonas Climáticas Locales”. *Urbano* 23(42), 18-31.

DOI: <https://doi.org/10.22320/07183607.2020.23.42.02>

Correa, E. 2006. “Isla de Calor Urbana. El Caso del Área Metropolitana de Mendoza”. Tesis Doctoral en Ciencias, Área Energías Renovables. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta.

Organización Meteorológica Mundial. (2014). Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos, octava edición.

Martinez C. F., M. A. Cantón y F. A. Roig F. (2014). “Incidencia del déficit hídrico en el crecimiento de forestales de uso urbano en ciudades de zonas áridas. Caso de Mendoza, Argentina”. C. F. *Interciencia Revista de Ciencia y Tecnología de América*. ISSN 0378-1844. Venezuela. Vol. 39 (12): 890-897.

OKE, T., (2004), “Urban Observations, Instruments and Methods of Observation Programme, IOM Report, World Meteorol. Organiz., Geneva.

Sanchez Vega, L (2017). “Elaboración de un índice de calidad ambiental (ICA), enfocado al sector urbano de la ciudad de Cuenca utilizando teledetección y análisis espacial”. Tesis doctoral. Universidad de Cuenca. Fac. Cs. Agropecuarias.

Sosa, M.B., Correa, E. y Cantón, M. (2017). “Influencia de la morfología urbana sobre la habitabilidad térmica exterior en la ciudad de clima árido”. *Hábitat Sustentable*, 7(1), 44-53. DOI: <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.01.05>

Stewart, ID y Oke, TR (2012). “Zonas climáticas locales para estudios de temperatura urbana”. *Boletín de la Sociedad Meteorológica Americana*, 93 (12), 1879-1900.

Stocco, S; Cantón M. y Correa E. (2018) “Incidencia de las plazas urbanas sobre el comportamiento térmico del entorno en alta densidad edilicia: el caso de la ciudad de Mendoza, Argentina”. *Urbano*, vol. 21, (37), pp. 94-106, 2018. Universidad del Bío Bío Chile. DOI: <https://doi.org/10.22320/07183607.2018.21.37.08>