

## EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DEL IMPACTO TÉRMICO DE URBANIZACIONES PRIVADAS. EL CASO DEL PIEDEMONTES DEL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA

Ana L. Castillo<sup>1</sup>, Erica N. Correa Cantaloube<sup>1</sup>, María A. Cantón<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE). CCT Mendoza – CONICET Argentina.

Av. Ruíz Leal s/n. Parque General San Marín, CP 5500, Mendoza.

inahe@mendoza-conicet.gov.ar (54) (261) 4 5244001. E-mail: alcastillo@mendoza-conicet.gov.ar

*Recibido 20/08/2022; Aceptado 14/10/2022*

**RESUMEN.-** La expansión de desarrollos urbanos privados y públicos sobre el sector de piedemonte del Área Metropolitana de Mendoza ha ocasionado diversas problemáticas ecológico-ambientales. En este trabajo se categorizó un conjunto de estrategias, optimizando las características tecnológicas y ópticas de los materiales de las envolventes con el objetivo de identificar las estrategias más adecuadas que permitan disminuir el impacto térmico provocado por urbanizaciones privadas. Se evaluó mediante simulaciones dinámicas el impacto generado por la modificación de las propiedades termofísicas de las envolventes sobre el ambiente térmico de tres urbanizaciones de origen privado más representativas. Se simuló con el software ENVI-met alternativas de combinación de optimización de envolventes: Global y la modificación de albedos de paredes, techos y pavimentos; sumada la combinación techo-pavimento. Los resultados de este análisis demuestran que, en el barrio de trama más abierta, el aumento del albedo de techos y pavimentos combinados disminuye 4°C la temperatura del aire respecto a su condición actual. Estos resultados ponen en relevancia la necesidad de repensar y regular la materialidad tanto de calles como de techos para la rehabilitación de emprendimientos actuales y la construcción de futuros barrios en áreas de piedemonte.

**Palabras clave:** piedemonte, ahorro energético y sustentabilidad urbana.

## EVALUATION OF MITIGATION STRATEGIES FOR THERMAL IMPACT OF PRIVATE HOUSING DEVELOPMENTS. THE CASE OF THE PIEDMONTE OF METROPOLITAN AREA OF MENDOZA

**ABSTRACT.-** The sprawl of private and public urban developments on the hillside sector of the Mendoza Metropolitan Area has caused various ecological-environmental problems. In this work, a set of strategies was categorized, optimizing the technological and optical characteristics of the envelope materials with the aim of reducing the thermal impact caused by the presence and advance of private urbanizations. The impact generated by the modification of the thermophysical properties of the envelopes on the thermal environment of three most representative private urbanizations was evaluated by means of dynamic simulations. Alternative combinations of envelope optimization were simulated with the ENVI-met software: Global and the modification of albedos of walls, ceilings and pavements; added the roof-floor combination. The results of this analysis show that, in the neighborhood with the open grid, the increase of the albedo in roofs and pavements combined decreases the air temperature by 4°C with respect to its current condition. These results highlight the need to rethink and regulate the materiality of both streets and roofs for the rehabilitation of current developments and the construction of future neighbourhoods in hillside areas.

**Keywords:** hillside, energy saving and urban sustainability.

### 1. INTRODUCCIÓN

El modelo de crecimiento de las ciudades contemporáneas ha sido de carácter expansivo adoptando patrones de desarrollo asociados a la fragmentación. Este proceso se ha caracterizado por un desarrollo urbano residencial de baja densidad hacia la periferia, modificando el uso del suelo destinado a áreas rurales. Esta situación también se vio reflejada en las últimas décadas en Latinoamérica, a partir de un crecimiento acelerado, desordenado y anárquico.

Como consecuencia, se originaron problemas comunes tales como desequilibrios regionales, redes urbanas desproporcionadas, urbanización periférica, marginalidad, carencia de servicios, reducción de la calidad ambiental y alteración de ecosistemas frágiles (Ubilla Bravo, 2020; Cruz-Muñoz, 2021).

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM) no estuvo exenta a este proceso. En la década del 70 se produjo el desplazamiento de una alta tasa demográfica hacia la periferia de la ciudad

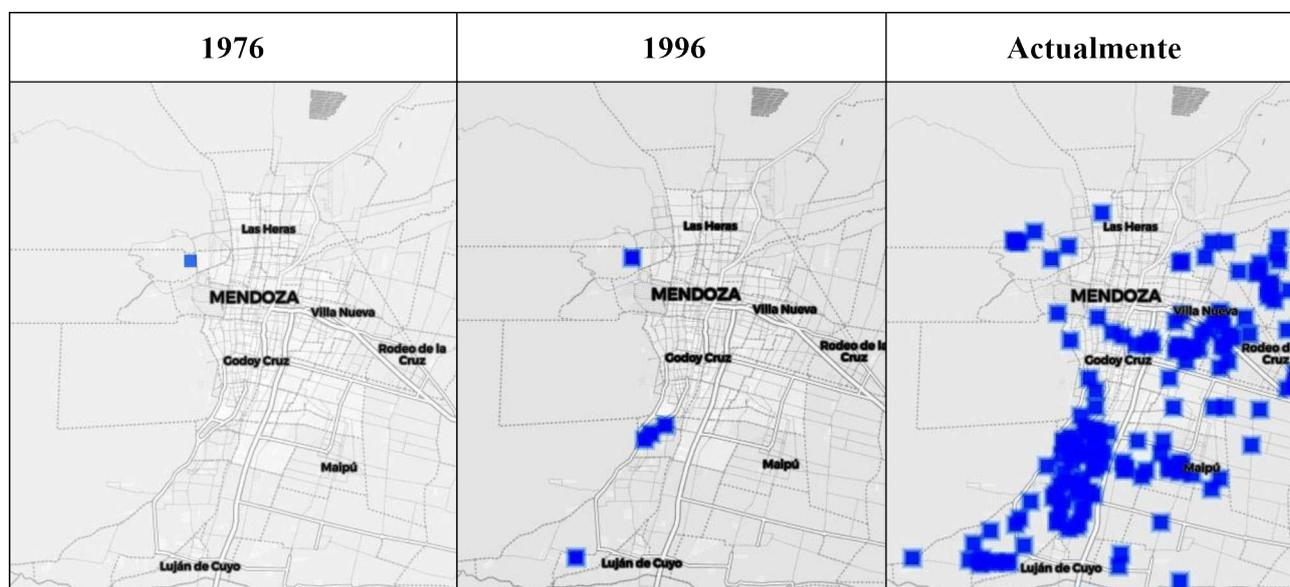
de Mendoza, con el surgimiento de numerosos barrios de baja densidad en diversos sectores, generando de esta forma un territorio fragmentado entre lo urbano, periurbano y rural (Mesa y Giusso, 2014). Esto trajo aparejado un impacto en la modificación del suelo natural y su biodiversidad debido al sellado de terrenos destinados al cultivo o con alta fragilidad ambiental como es el piedemonte. En el caso de este último sector, se asentaron barrios de origen público y privado que continuaron con criterios de diseño similares a los de la ciudad consolidada en llanura: morfología urbana en forma de damero a partir de un esquema de trama racional, presencia de avenidas cuya orientación oeste-este acompaña la máxima pendiente de la ladera de los cerros, forestación con árboles de alineación con especies no adaptadas a las características del sector. Esta expansión produjo una serie de impactos ecológicos entre los que se puede nombrar como principal el incremento del riesgo aluvional debido al aumento de las superficies impermeabilizadas y a la deforestación de los terrenos naturales, lo que ha provocado la disminución de la infiltración y el aumento de los aportes aluvionales en volumen y velocidad hacia zona más bajas (Abraham et al, 2005; Rodríguez, 2008)

El crecimiento sobre el área de piedemonte también ha dificultado los procesos de renovación y purificación del aire urbano, lo que ha contribuido con el aumento de las superficies de absorción y retención de la radiación solar. Esta situación sumada a la tecnología y materiales de las construcciones ubicada en el sector han promovido al aumento de la temperatura del espacio exterior, intensificando la Isla de Calor Urbano (ICU) en la ciudad y generando focos de ICU satélite en el piedemonte. En estudios realizados por Correa (2006) se ha determinado la existencia del fenómeno de isla de calor urbana sobre las urbanizaciones del

piedemonte con una intensidad máxima de 9°C, valor semejante al que alcanza el ICU en el sector central del AMM (10°C). Este comportamiento ha sido estudiado en diversos trabajos (Abulibdeh, 2021; Fahed et al, 2020; Mohammad, 2019), en los cuales ha determinado que el efecto de la isla de calor urbano está relacionado a problemas como la ocurrencia de las olas calor, el detrimento de la calidad del aire y el aumento del consumo energético. Esta condición, además ha colaborado con el aumento de la demanda de los sistemas de refrigeración, mayor polución del aire, modificación de los ecosistemas urbanos e intensificando los efectos sobre la calidad de los seres humanos.

Además de los efectos sobre la calidad del medioambiente y del consumo energético, la proliferación de barrios de distintas gestiones ha provocado una serie de conflictos sociales y territoriales como es la fragmentación del territorio. Debido al atractivo paisajístico, geográfico y económico, desde los años 60 se han asentado varios barrios de origen privado, siendo el Barrio Dalvian el pionero en el Área Metropolitana de Mendoza con la particularidad que su asentamiento fue sobre el sector norte del área de piedemonte. Esta situación tuvo su auge en los comienzos del siglo XXI con la construcción de diversos condominios y desarrollos de origen privado. De acuerdo con los datos relevados por Oliva y Castro (2015) indican que el 60% de los barrios surgieron a partir del año 2004. En la Tabla 1 se puede observar el crecimiento y expansión de los puntos que representan cada uno de los barrios privados que se han asentado sobre toda el Área Metropolitana de Mendoza. Estos conjuntos urbanos privados poseen criterios de diseño devenido de la normativa propia de cada barrio, lo que ha ocasionado un alto impacto en el terreno donde se asientan ya que para su inserción se han realizado grandes movimientos de tierra modificando las características naturales del terreno.

Tabla 1: Crecimiento y expansión de los Barrios privados sobre el Área Metropolitana de Mendoza



Ante esta situación, el objetivo general de la presente investigación es desarrollar, probar y valorar en términos ambientales, energéticos y económicos un conjunto de estrategias a implementar para la rehabilitación del sector. Además, categorizar las estrategias de acuerdo a su eficiencia respecto de las características morfológicas y tecnológicas de las urbanizaciones. De modo particular en este trabajo se analiza el impacto generado por la modificación de las propiedades termofísicas de las envolventes sobre el ambiente térmico de tres urbanizaciones de origen privado, representativas del desarrollo urbano del piedemonte. La hipótesis de trabajo sos-

tiene que el conocimiento y la valoración del impacto de distintas estrategias de rehabilitación microclimática en relación a la morfología característica de las urbanizaciones presentes en el piedemonte posibilitará asistir la toma de decisiones para la mejora del desempeño energético de las mismas, contribuyendo al desarrollo urbano sustentable del sector.

## 2. METODOLOGÍA

Para evaluar y seleccionar qué estrategia sería la conveniente para implementar en la rehabilitación del sector de piedemonte, se reali-

zaron las siguientes etapas: a) Caracterización del área de estudio y de los barrios de origen privado insertos en el área de piedemonte, b) Propuestas de optimización de tecnologías de la envolvente; c) Método de evaluación de los conjuntos urbanos analizados mediante simulaciones dinámicas con el empleo del software ENVI-met y d) Ajuste de los resultados del comportamiento térmico entre el modelo simulado y medido para de un conjunto urbano existente.

### 2.1. Caracterización del área de estudio y de los barrios privados insertos en el área de piedemonte

El sector de piedemonte del Área Metropolitana de Mendoza está ubicada al oeste de la Ciudad de Mendoza a una latitud de 32.5°S y longitud de 68.5°O. El territorio sobre el cual se implanta la ciudad de Mendoza está caracterizado de acuerdo a su geomorfología, por ser una amplia planicie semidesértica de tipo aluvial con pendientes que se extienden hacia el oeste al pie de la precordillera de Los Andes. El perfil seccional de la provincia presenta, hacia el oeste un paisaje dominado por la presencia de montañas elevadas y hacia el este el territorio desciende y se desarrolla en una amplia llanura, quedando definidos principalmente dos escenarios: llanura (300 a 800 m.s.n.m.) y piedemonte (801 a 1400 m.s.n.m.). En altitudes comprendidas entre los 300 y 1400 m.s.n.m. se han emplazado los principales asentamientos urbanos y es allí donde se desarrolla la mayoría de las actividades productivas de la provincia, tanto agrícola como industrial. Para la selección de barrios de origen privado más representativos, se realizó un relevamiento del área de piedemonte. En esta etapa se caracterizaron barrios de origen privado icónicos debido a su dimensión e implantación en el sector de piedemonte del Área Metropolitana de Mendoza.

Para el análisis y comparación de cada barrio se consideraron sus características morfológicas, ubicación geográfica, indicadores

urbanos y edilicios: superficie total del emprendimiento, cantidad de viviendas, altitud, pendiente, trazado y orientación de la trama predominante, ancho de canales viales, dimensiones de manzanas y lotes; factor de ocupación del suelo, retiros, alturas, tipos de especies forestales de alineación y superficie de envolvente verticales y horizontales.

Los tres barrios analizados -Dalvian, Mendoza Norte y Palmares Valley- cuentan con un desarrollo residencial de viviendas unifamiliares de baja densidad, el modelo urbano es de tipo abierto siguiendo con los criterios de la Urbanización Parque: forma particular de asentamiento urbano localizado en zona suburbana en la cual el tipo de uso, fraccionamiento y ocupación del suelo utilizado, conforman áreas urbanizadas donde la vegetación y las condiciones paisajísticas se manifiestan como elementos dominantes del conjunto (Ley 4886, 1983). En relación al tipo de forestación en alineación los tres barrios cuentan con especies de alta permeabilidad solar. Las principales diferencias entre los barrios seleccionados son: año de creación, localización geográfica, morfología urbana, orientación y dimensión de manzanas y lotes; retiro frontal y porcentaje de superficie de envolventes. La figura 1 presenta la caracterización y cuantificación de las distintas variables para los tres barrios evaluados.

### 2.2 Propuestas de optimización de tecnologías de la envolvente

Con el objetivo de identificar las estrategias más adecuadas que permitan disminuir el impacto térmico provocado por la presencia y avance de los conjuntos urbanos privados sobre áreas de piedemonte, se optó por la estrategia que optimiza el tipo y color de materiales de la envolvente edilicia y de los pavimentos (Alchapar y Correa, 2016; Sosa et al, 2018). Para ello se modificaron las propiedades ópticas de los techos, muros de las viviendas y calles de los tres

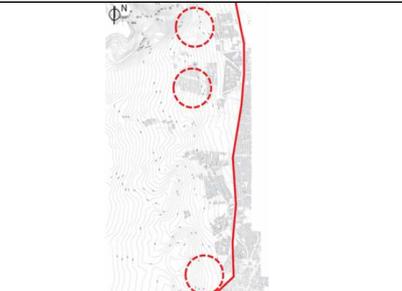
	B° Dalvian	B° Mendoza Norte	B° Palmares Valley
			
<b>Año de construcción</b>	1969	2017	2012
<b>Altitud</b>	900	840	890
<b>Superficie Total</b>	1.783.755	906.522	970.377
<b>N° de viviendas</b>	924	500	550
<b>Trama urbana</b>	Racional	Racional-orgánica en los bordes	Orgánica
<b>Dimensiones manzanas (largo-ancho)</b>	300x50	200x70	250x80
<b>Ancho de canales viales</b>	20	20	20
<b>Dimensiones lotes (ancho y prof)</b>	20x25	20x35	20x40
<b>Superficie lotes</b>	500	700	800
<b>Factor de ocupación</b>	0,45	0,35	0,35
<b>Retiro frontal</b>	2	5	2
<b>Retiro lateral</b>	1/3h	3	3
<b>Tipo de forestales</b>	Schinus molle (Aguaribay)	Schinus molle (Aguaribay)	Acacia visco
<b>Permeabilidad solar forestales</b>	Alta	Alta	Alta
<b>Sup. Pared %</b>	36	43	48
<b>Sup. Techo %</b>	23	21	22
<b>Sup. Calle %</b>	41	37	29

Fig. 1: Caracterización de barrios privados seleccionados en áreas de piedemonte del AMM.

Valor albedo	Actual	Optimizado				
		Global	Calle	Pared	Techo	Calle y Techo
Pared	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,2
Techo	0,3	0,85	0,3	0,3	0,85	0,85
Cañiñe	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05	0,5

Fig. 2: Propuestas de rehabilitación de optimización de albedos.

barrios seleccionados. Si bien los conjuntos urbanos seleccionados poseen diferentes características morfológicas, las tecnologías de las envolventes son homólogas entre sí, por lo que se evaluaron materiales con similares características ópticas: albedo de 0.3 para techos (teja francesa cementicia negra mate), 0.2 para muros (revestimiento acrílico ocre o terracota) y 0.05 para los asfaltos. Los valores asignados para la rehabilitación de las envolventes fueron: 0.85 para techos (pinturas atérmicas), 0.5 para muros (revestimiento acrílico de color claro) y 0.5 para pavimentos (mezcla asfáltica con ligante sintético pigmentado con óxido titanio o concreto con agregado claro). En la tabla xx presenta las alternativas evaluadas en términos en distintas combinaciones de estrategias de rehabilitación: 1) Global -modificación de albedos de paredes, techos y pavimentos-, 2) Calle, 3) Pared, 4) Techo y 5) Calle-Techo; y los valores de albedo considerados. De esta manera se definen 6 escenarios (uno correspondiente a la situación actual y cinco alternativas de rehabilitación) por cada barrio analizados, ver figura 2.

2.3. Método de evaluación de los conjuntos urbanos analizados mediante simulaciones dinámicas

Para evaluar el comportamiento de los tres conjuntos urbanos privados insertos en el área de piedemonte se realizaron una serie de etapas: a) Selección y monitoreo de un caso testigo, barrio representativo del área de piedemonte Y b) Modelo de Simulación, descripción del software utilizado).

2.4. Selección y monitoreo de un caso testigo

La selección del caso testigo se hizo a través de un relevamiento de imágenes satelitales y planos catastrales en donde se realizó un análisis morfológico de los diferentes conjuntos urbanos del área de piedemonte. De ese análisis se identificó como barrio de trama racional como la más representativa del área de piedemonte del AMM (80%). Este barrio está caracterizado por: Largo de manzanas de 150 m, ancho de calles de 16 m y 20 m, superficie de lotes de 200 m<sup>2</sup>, Factor de ocupación de suelo de 0,55, Retiros: frontal de 2m, sólo tienen un retiro lateral de 5,50 m ya que el diseño del barrio consta de viviendas apareadas. La forestación de esta trama es la especie *Melia azedarach* (Paraíso), árbol de segunda magnitud, altura máxima de 15 m y diámetro de copa que varía entre 6 - 8 m.

Este caso testigo fue monitoreado microclimáticamente en verano durante un periodo de 28 días (del 2 al 30 de enero). Se adquirieron en forma simultánea datos de temperatura y humedad relativa del aire cada 15 minutos, mediante sensores del tipo HOBO UX100-003 -Temperature/Relative Humidity data logger- ubicados en el centro de dos canales viales con distinta orientación: Norte-Sur y Oeste-Este, a una altura de 2 m desde el nivel de la calle (Oke, 2004). Los equipos de medición fueron colocados dentro de una caja perforada de PVC blanco, con el objeto de evitar la irradiación y asegurar una adecuada circulación del aire. En la figura 3 se muestra la ubicación del caso base y del tipo de sensor utilizado.

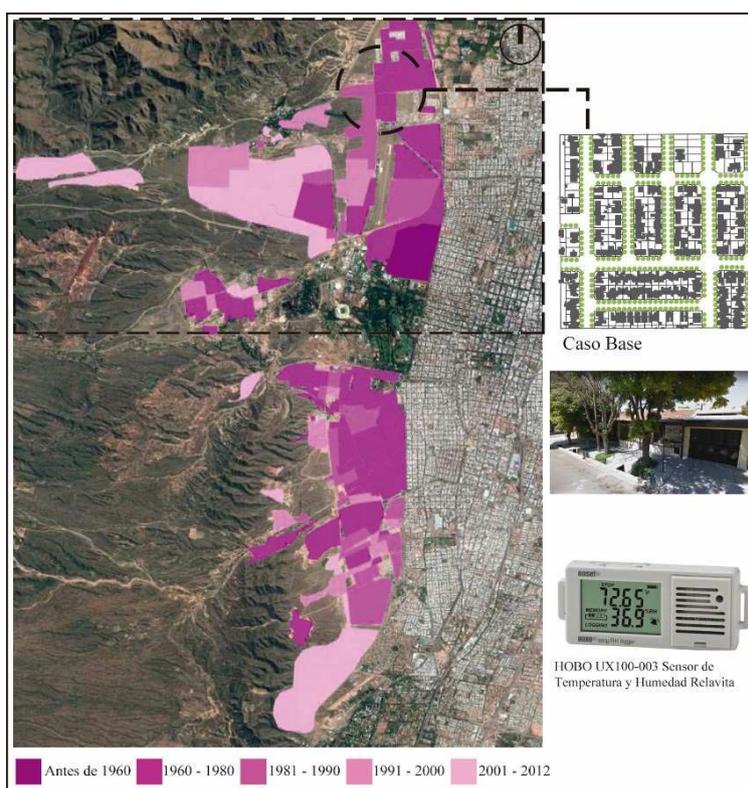


Fig. 3: Ubicación de caso base, caracterización de sensor de medición

### 2.5. Modelo para simulaciones dinámicas

Para la evaluación del comportamiento microclimático de los barrios seleccionados, se realizaron simulaciones dinámicas mediante el uso del software ENVI-met. Este software está basado en las leyes fundamentales de la dinámica de fluidos y la termodinámica (Bruse, 1999). Fue desarrollado por el grupo de trabajo Environmental Modelling Group del Dr. Michael Bruse del Institute of Geography of the University of Mainz, Alemania (<http://www.envi-met.com>). Consiste en un modelo computacional 3D que trabaja a escala urbana dentro de un ciclo diario diseñado para simular las interacciones entre el aire y la superficie del entorno urbano con una resolución típica de 0,5 a 10 metros cada 10 segundos. Para la configuración de los modelos teóricos se incorporan los siguientes datos en archivos de entrada principal:

**Área de entrada:** se representa a través de una interfaz gráfica, contiene los datos de los valores del diseño físico del modelo, es decir la ubicación geográfica del esquema urbano, la forma y dimensiones de la edificación, la vegetación, distribución de materiales de superficie y tipos de suelo, y además la ubicación de los receptores en la grilla planteada. Las simulaciones se realizaron con una superficie de referencia de 300 x 300 m, la grilla es de 100 x 100 x 30, por lo tanto, la resolución del área es de 3 x 3 x 3m y el número de grillas totales es de x: 86; y: 86; z: 30. En cada modelo se ubicaron 9 receptores en los canales viales urbanos de cada conjunto. La figura 4 presenta los modelos de los conjuntos urbanos analizados y la ubicación de cada receptor.

**Base de Datos:** se incorporan en esta sección los datos y características de la forestación y la composición del suelo. La especie forestal utilizada para el ajuste del caso testigo fue la denominada "TH" de la librería PLANTS.DAT de ENVI-met, la altura se determinó en 15 m por corresponder con el desarrollo promedio de un forestal de 2° magnitud. Las características de esta tipología forestal son: 400 de resistencia mínima estomática, 0.20 de albedo de onda corta de la hoja de la planta, 2 m de profundidad total de la zona radicular, LAD (Leaf Area Density) de 0.40 a 1.80 de densidad del área foliar en  $m^2/m^3$  y RAD (Root Area Density) de 0.10 de densidad del área de la raíz en  $m^2/m^3$ . Para la simulación de los conjuntos urbanos con forestación de alta permeabilidad solar se utilizó la especie forestal denominada "DO" a la que le corresponde un valor de LAD de 2.0 a 0.25 de densidad del área foliar en  $m^2/m^3$ , siendo los valores del resto de las variables las presentadas previamente. La composición del suelo se configuró en la librería (SOILS.

DAT y PROFILS.DAT) ingresando la caracterización por capa en profundidad del suelo con el objetivo de representar el perfil de suelo del área de piedemonte de Mendoza.

**Definición del archivo de Configuración:** incluye las variables meteorológicas y condiciones del entorno del territorio en el que se evalúan los casos de estudio (velocidad y dirección de viento, rugosidad, temperatura atmosférica inicial, humedad específica y humedad relativa). El software ENVI-met 3.1 requiere del ingreso de variables que caracterizan las condiciones de borde de la simulación, tales como: velocidad, dirección de viento (m/s) a 10 m de altura y rugosidad de suelo ( $z_0$ ) al punto de referencia; temperatura atmosférica inicial (K) y humedad específica (gr. agua/kg. aire) a 2500 m de altura. Los datos se obtuvieron del Aeropuerto Francisco Gabrielli -Estación n° 87418, Observatorio Aero de Mendoza – en colaboración con la Universidad de Wyoming; humedad relativa (%) a 2m de altura; registrada con sensor ONSET Weather, tipo HOBO H08-003-02 (punto fijo, para el ajuste). Para la caracterización de las propiedades térmicas de los edificios insertos en el modelo se definió: temperatura interior, transmitancia térmica y albedo de paredes, techos y pavimentos. Con el propósito de especificar el comportamiento del suelo, se debe precisar temperatura y humedad para las diferentes capas de suelo.

En la Tabla 2 se presentan los datos de entrada del archivo "Configuration File", para el ajuste del esquema de trama racional. Ésta se divide en 3 categorías de datos: meteorológicos, edificación y suelo. Los datos meteorológicos de entrada se mantienen constantes en los ajustes, ya que son condiciones climáticas a nivel meso-escala y la tecnología y materialidad de las viviendas es la misma. Por último, se ajustaron el perfil de composición de suelo y las temperaturas superficiales del mismo de la capa inicial y media.

### 2.6. Ajuste de resultados medidos y simulados

Con el objetivo de validar y brindar confianza de los resultados de las simulaciones de los barrios seleccionados, se realizó un ajuste de un conjunto urbano representativo previamente monitoreado. Las curvas de ajuste del caso simulado con los valores de temperatura del aire máxima, mínima, promedio y amplitud; como así también se muestran los valores de SVF (Sky View Factor) y los 6 indicadores estadísticos utilizados para estimar el grado de precisión del modelo numérico simulado versus el monitoreado. Esto permite demostrar la confiabilidad de los re-



Fig. 4: Ubicación de receptores en los conjuntos urbanos.

Tabla 2: Datos de entrada para configuración del modelo de simulación ENVI-met.

Parámetros para configuración ENVI-met	Valores
Meteorológicos	* valores por defecto de ENVI-met
Velocidad viento a 10m sobre suelo (m/s)	3.5
Dirección viento (0°:N, 90°:E, , 180°:S, 270°:W)	135°
Rugosidad z0	0.1
Factor de ajuste solar	1.5
Temperatura atmosférica inicial (K)	298
Humedad específica a 2500m.s.n.m (g/kg-1)	2.8
Humedad relativa a 2m (%)	37
Edificación	
Temperatura interior (K)	297
Conductividad pared (W/m²K)	2
Conductividad techo (W/m²K)	0.78
Albedo pared	0.3
Albedo techo	0.2
Suelo	
Temperatura superficial, capa inicial (0-20cm)	293K*
Temperatura superficial, capa media (20-50cm)	290K*
Temperatura superficial, capa profunda (<50cm)	290K*
Humedad relativa, capa inicial (0-20cm)	20%*
Humedad relativa, capa media (20- 50cm)	35%*
Humedad relativa, capa profunda (<50cm)	60%*

sultados arrojados por la simulación. La identificación y cuantificación de los errores se realizó mediante la determinación del coeficiente de correlación ajustado o determinación (R2), el error de polarización media (MBE), el error absoluto medio (MAE), el error medio porcentual absoluto (MAPE), el error cuadrático medio (RSME), el error cuadrático medio sistemático (RSMES) y el error cuadrático medio aleatorio (RSMEu). Cada indicador expresa el grado de exactitud o error del modelo bajo diversas perspectivas, MAE y RMSE indican la magnitud del error promedio, pero no proporcionan información sobre el tamaño relativo de la diferencia media entre los valores observados y los valores predichos. MBE describe la dirección del sesgo de error, su valor está relacionado con la magnitud de los valores utilizados; un MBE negativo se produce cuando las predicciones son más pequeñas en valor que las observaciones. MAPE expresa al error como un porcentaje, suponiendo que es 5, el pronóstico está errado en un 5%. Como este número es un porcentaje, puede ser más fácil de

entender que los otros estadísticos, ver Tabla 3.

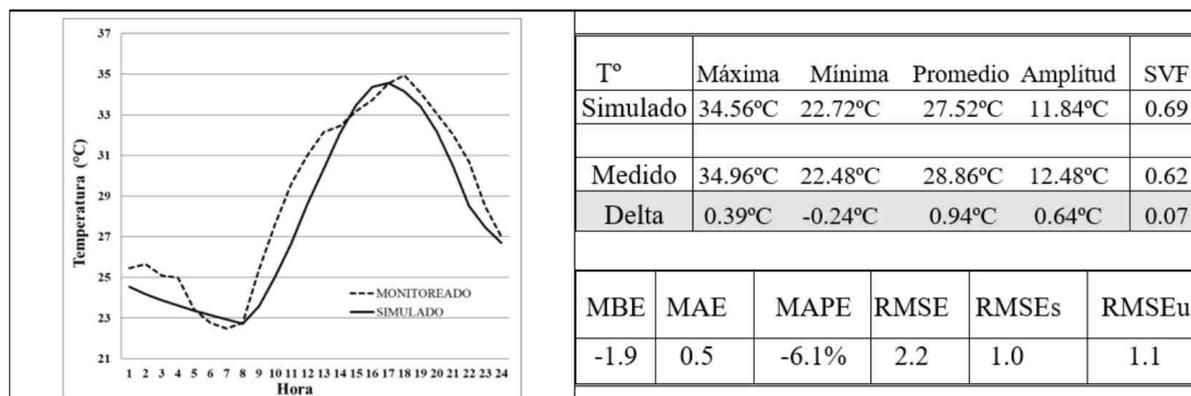
### 3. RESULTADOS

En esta sección se presenta un análisis comparativo de las temperaturas promedio del aire: máximas, mínimas y medias de todos los sensores presentes en cada uno de los conjuntos urbanos evaluados para un día típico de verano (15 de enero). Este análisis posibilita la identificación de la mejor combinación de valores de albedo para los tres conjuntos urbanos seleccionados que posean mejor respuesta térmica.

#### 3.1. Escenarios con valores de albedo originales y optimizados

Se presentan los resultados obtenidos en relación a la condición actual de cada uno de los barrios contrastada con la respuesta térmica resultante de la aplicación de estrategias de rehabilitación vinculadas a la modificación del albedo en todas las envolventes

Tabla 3: Curva de ajuste del caso simulado e indicadores estadísticos



(Global), Calle, Pared y Techo. Por último, se analiza en forma independiente el impacto de modificar en forma conjunta el albedo de las superficies horizontales -Calle y Techo-. En la Figura 5 se observan los valores obtenidos en cada barrio.

Al analizar los tres conjuntos urbanos, en su condición actual, se puede observar que el Barrio Dalvian presenta valores de temperaturas menores en relación a los otros barrios analizados, alcanza una diferencia de temperatura máxima de 0.5°C con respecto al Barrio Mendoza Norte y 1.3°C con el Barrio Palmares. Este comportamiento se debe a la orientación de los canales urbanos, los cuales están protegidos de la radiación solar en las horas de mayor incidencia en épocas de verano. Esta orientación contribuye a disminuir la temperatura del aire durante el día, sin embargo, en caso de ocurrir una tormenta de gran magnitud, las calles selladas orientadas oeste-este, favorecerían al aumento de la velocidad del agua aluvional.

Respecto a las estrategias de rehabilitación de las envolventes se observa que: la combinación "Global" en el barrio Dalvian no disminuye los valores de la temperatura máxima en relación a la condición actual, siendo la estrategia de aumento del albedo de la calle la que disminuye 0.5°C. Ese comportamiento está relacionado con el hecho que este barrio posee un mayor porcentaje de superficie de calle (41%) si se compara al resto de los conjuntos urbanos (37% Mendoza Norte y 29% Palmares). Cuando se analiza el comportamiento del escenario que posee sólo la optimización del albedo en la pared, los valores de temperatura máxima aumentan, superando en todos los barrios la situación Actual. Este comportamiento se puede explicar por la elevada incidencia solar en los canales viales debido a su ancho (20 m) como también el retiro frontal que establece el código urbano del barrio (5m), además esta incidencia solar está dada por la alta permeabilidad que caracterizan a las especies de forestales presentes en todos los barrios analizados.

En los tres barrios evaluados las diferentes combinaciones de optimización de los valores de albedo no impactan sobre las temperaturas mínimas. Por lo que se deberían considerar otras estrategias para disminuir las temperaturas nocturnas para estos

esquemas urbanos ubicados en áreas de piedemonte.

### 3.2. Escenarios con valores de albedo originales, optimizados y combinado calle-techo

En la figura 6 se ha realizado una comparación entre la situación actual y la rehabilitación de calle y techo, esto se realizó para apreciar con mayor claridad el impacto que genera esa combinación de albedos sobre la temperatura máxima. Se observa que en todos los barrios hay una disminución de aproximadamente 1°C de la temperatura máxima con respecto al escenario actual para los barrios analizados, este valor aumenta considerablemente (4°C) en el Barrio Mendoza Norte, debido a diseño de trama del tipo abierto. De esta manera se puede apreciar que el incremento de albedo de calles y techos manteniendo las características actuales de las paredes es beneficioso para la disminución de la temperatura del aire exterior en esquemas urbanos de tipología abierta y de baja densidad. La aplicación de esta estrategia representa un incremento en los costos relacionados a modificar las propiedades ópticas de las calles, pero contribuye a disminuir el consumo energético para el acondicionamiento térmico de las viviendas durante las horas diurnas.

### 3.3. Análisis de la distribución de las temperaturas

Para contrastar el comportamiento de las diferentes estrategias de optimización de albedo en los tres conjuntos urbanos analizados –representados por los distintos receptores en el modelo de simulación– se realizaron gráficos del tipo box-plot que muestran la variabilidad del comportamiento microclimático. Al analizar el gráfico (figura 7) de Box Plot, se observa que el Barrio Mendoza Norte es el que presenta una mayor variabilidad en los valores de temperatura máxima y media. Si se observa en la figura la media de los valores de temperatura máxima, estos se ubican en la parte inferior, demostrando que la rehabilitación dada por el aumento de albedo de Calles y Techos mejoraría la condición actual. En el escenario en donde se optimizó el albedo de pared, la variabilidad de la temperatura máxima del cuartil Q1 es de 37.5°C y en el Q3 de 40.9°C. Esa alta variabilidad puede estar dada por la característica de su trama abierta (canales viales de 20m sumado a un retiro frontal de las viviendas de 5 m) como también a la orientación oeste-este de los canales. Si bien en ese barrio todas las estrategias propuestas son

	Actual	Global	Albedo de Calle mejorado	Albedo de Pared Mejorado	Albedo de Techo Mejorado	Dif. Base-Global	Esquema urbano
<b>DALVIAN</b>							
T° MÁX	37,89	38,20	37,46	38,20	37,58	-0,31	
T° MIN	25,99	26,00	25,95	26,05	25,99	-0,01	
T° MEDIA	31,12	30,95	30,91	31,32	30,99	0,17	
<b>MENDOZA NORTE</b>							
T° MÁX	38,35	37,74	37,76	38,60	38,11	0,61	
T° MIN	25,84	25,82	25,77	25,89	25,84	0,02	
T° MEDIA	31,46	31,21	31,16	31,62	31,36	0,25	
<b>PALMARES VALLEY</b>							
T° MÁX	39,17	38,46	38,77	39,32	38,75	0,71	
T° MIN	26,12	26,09	26,08	26,15	26,11	0,03	
T° MEDIA	31,90	31,59	31,71	32,00	31,72	0,31	

Fig. 5: Comparación de temperaturas obtenidas en cada barrio analizado

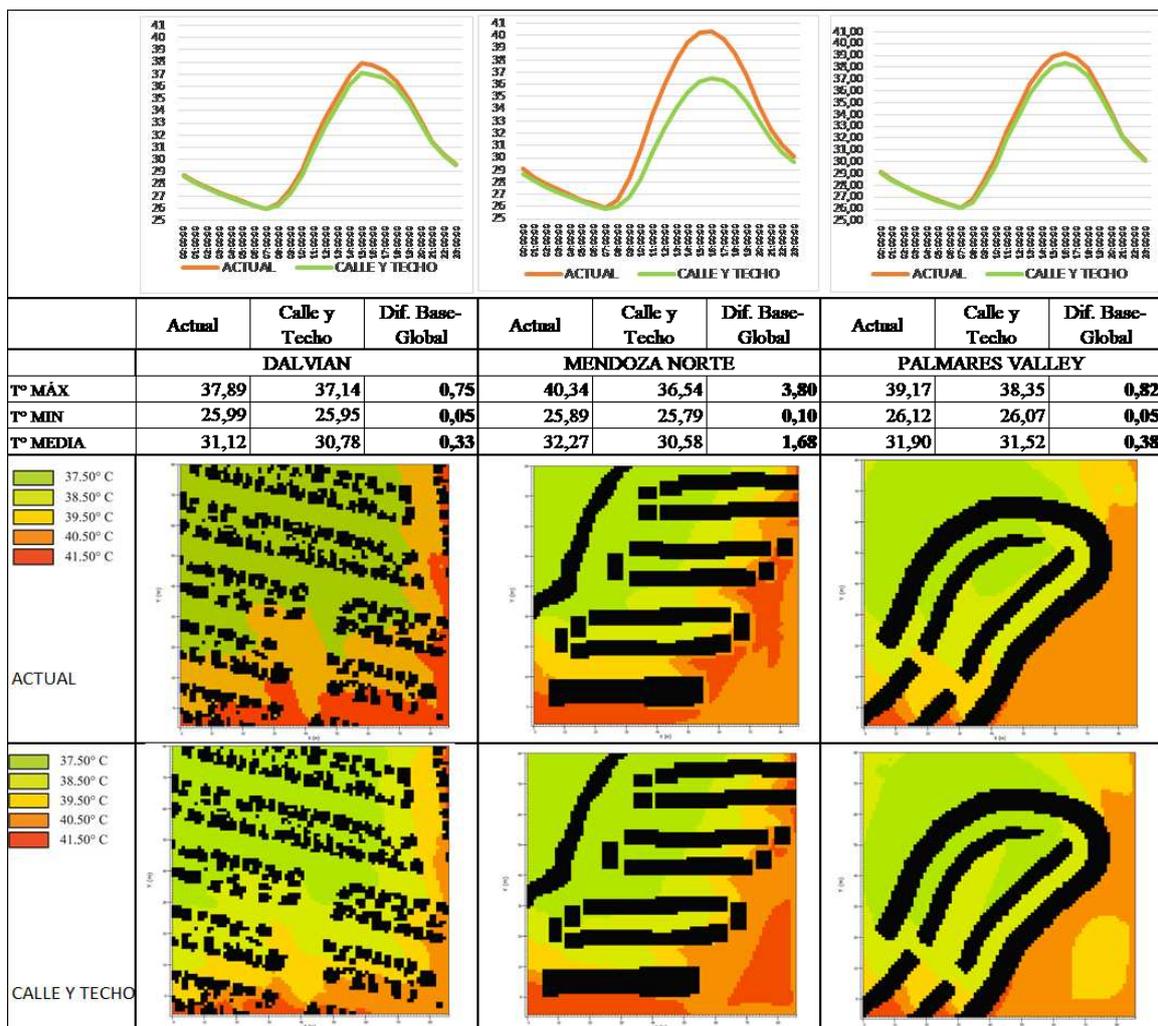


Fig. 6: Comparación de valores entre situación actual y rehabilitación Calle-Techo

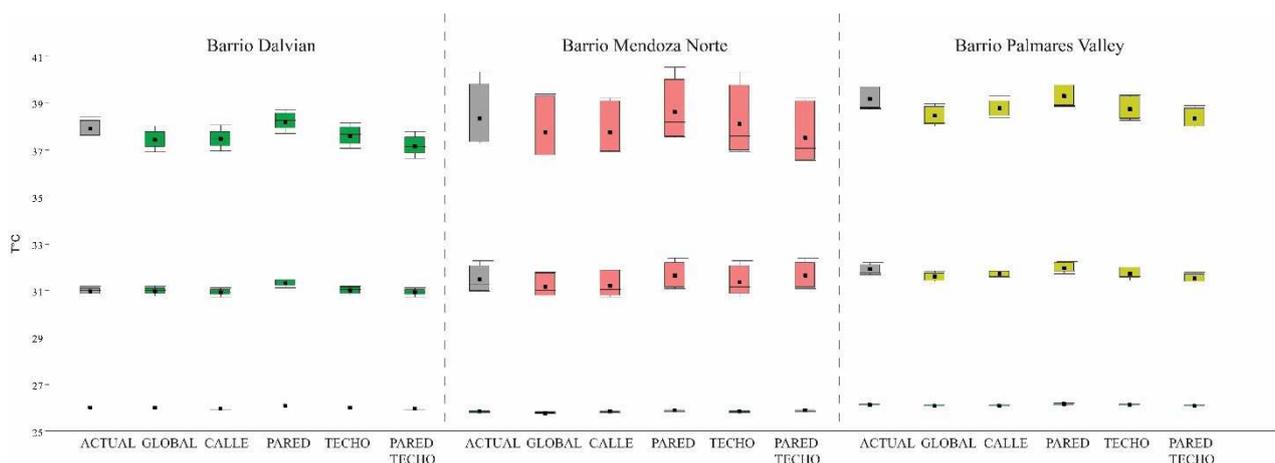


Fig. 7: Gráfico Box Plot de la variabilidad de temperatura de cada barrio analizado

las que logran una alta variabilidad de los valores de temperatura máxima y media, es también la estrategia de aumento de albedo de la pared la que alcanza mayores de valores de temperatura en todos los barrios.

#### 4. CONCLUSIONES

La expansión urbana generada por emprendimientos públicos y privados ha afectado en términos ambientales y energéticos al sector de piedemonte del AMM. Dado que este sector ha sufrido diversas

presiones ecológico-ambientales, es necesaria una correcta toma de decisiones en cuanto a las pautas de diseño y elección de materiales para la rehabilitación de los conjuntos urbanos ubicados en este sector. Para el caso de los barrios de origen privado, los resultados del presente trabajo muestran que la estrategia de rehabilitación asociada a intervenir la materialidad de los paramentos horizontales -cubiertas y pavimentos- se presenta como la más eficiente. La implementación de esta estrategia alcanza una disminución de hasta 4°C en la temperatura del aire respecto a su condición actual en el

caso del Barrio Mendoza Norte, cuya trama es la más abierta en relación a los casos analizados. Este resultado es de mayor impacto respecto a los encontrados en la literatura internacional, en donde se observa que, al aumentar el albedo de los pavimentos, la disminución de temperatura es del orden de 2°C (Acharya, et al, 2021). Cabe destacar que, si bien todas las investigaciones corresponden a ciudades de clima árido, las mayores diferencias de temperatura alcanzadas localmente se deben al carácter abierto de la trama analizada en el piedemonte en comparación con urbanizaciones compactas en ciudades consolidadas. En este sentido, diversas ciudades están considerando sumar en sus códigos de planeamiento urbano políticas que incluyan como estrategia a implementar el uso de pavimentos fríos (EPA, 2020; Garcetti, 2019). En consecuencia, los resultados de esta investigación ponen en relevancia la necesidad de repensar y regular la materialidad tanto de calles como de techos para la rehabilitación de emprendimientos actuales y la construcción de futuros barrios en áreas de piedemonte.

El beneficio de modificar el albedo de las vías vehiculares brindaría un aporte en la mitigación del impacto térmico que generan las urbanizaciones sobre el área de piedemonte, aunque su implementación requiere de un costo muy elevado. En consecuencia, se podrían plantear otras estrategias más económicas y que además brinden protección solar sobre los pavimentos a través de la sombra. Como posibilidades se podría plantear propuestas de esquemas urbanos más compactos, ya que la edificación serviría de protección solar sobre los canales y sigue con lineamientos de urbanización sustentable internacionales (Palusci et al, 2022; Sosa et al, 2017). Otra opción sería modificar el diseño del arbolado público, ya que, si bien los barrios analizados cuentan con el arbolado de alienación en cada canal vial, estos sólo sombrean el espacio peatonal. Ante esta situación se podría plantear una posible incorporación de una línea adicional de árboles sobre el eje de las vías de circulación a modo de boulevard. Este diseño generaría una mayor condición de sombra sobre el pavimento de las calles como también mejoraría el comportamiento microclimático (Morabito et al. 2016; Santamouris et al, 2017; Rafiee et al, 2016) de las urbanizaciones intervenidas. En futuras investigaciones se propondrá la modificación del diseño de forestación de alineación en los mismos conjuntos urbanos para evaluar y cuantificar la mitigación térmica provocada por la aplicación de estas estrategias. Esta investigación pone en relevancia un conjunto de acciones que podrían ser de utilidad para que los diseñadores urbanos dispongan de estrategias que mejoren las condiciones de confort y habitabilidad de urbanizaciones ubicadas sobre áreas de piedemonte.

## REFERENCIAS

Abraham, M. E., Roig, F. A. y Salomon, M. (2005.). Planificación y gestión del piedemonte al oeste de la Ciudad de Mendoza. Un asunto pendiente. En *Conflictos socio-ambientales y políticas públicas en la provincia de Mendoza*, 267-295. OIKOS-Red Ambiental. [http://www.asicprimerazona.com.ar/asic/publicaciones/planif\\_oeste\\_mza.pdf](http://www.asicprimerazona.com.ar/asic/publicaciones/planif_oeste_mza.pdf)

Abulibdeh, A. (2021). Analysis of urban heat island characteristics and mitigation strategies for eight arid and semi-arid gulf cities. *Environmental Earth Sciences*. 80:259. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09540-7>

Acharya, T., Riehl, B., & Fuchs, A. (2021). Effects of Albedo and Thermal Inertia on Pavement Surface Temperatures with Convective Boundary Conditions—A CFD Study. *Processes*, 9(11), 2078. <https://doi.org/10.3390/pr9112078>

Alchapar, N. y Correa, E. (2016). Pautas de diseño para disminuir las temperaturas urbanas en regiones con alta productividad solar. Parámetros morfológicos y materiales. *Revista Hábitat Sustentable*, 6 (1), 84-95

Bruse, M. (1999). The influences of local environmental design on microclimate. University of Bochum.

Correa, E. (2006). Isla de Calor Urbana. El caso del aérea metro-

politana de Mendoza. Universidad Nacional de Salta.

Cruz-Muñoz, F. (2021). Patrones de expansión urbana de las megaurbes latinoamericanas en el nuevo milenio. *EURE* (Santiago), 47(140), 29-49. <https://dx.doi.org/10.7764/eure.47.140.02>

EPA (2020) Heat island community actions database (available at: [www.epa.gov/heatislands/heat-islandcommunity-actions-database](http://www.epa.gov/heatislands/heat-islandcommunity-actions-database))

Fahed, J., Kinab, E., Ginestet, S. y Adolphe, L. (2020). Impact of urban heat island mitigation measures on microclimate and pedestrian comfort in a dense urban district of Lebanon. *Sustainable Cities and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102375>

Garcetti E 2019 Los Angeles mayor Garcetti kicks off “cool streets LA” (available at: <http://libproxy.usc.edu/login?url=http://www.proquest.com/wire-feeds/los-angelesmayor-garcetti-kicks-off-cool-streets/docview/2307707015/se-2?accountid=14749>)

Ley n.º 4.886/83 de 1983. Disposición del suelo de zona oeste del gran Mendoza. Provincia de Mendoza. Argentina. Fecha de promulgación: 28 de octubre de 1983. <http://www.sajj.gob.ar/4886-local-mendoza-disposicion-suelo-zona-oeste-gran-mendoza-lpm0004886-1983-10-28/123456789-0abc-defg-688-4000>

López Rodríguez, M. (2008). Riesgo en el piedemonte del gran Mendoza por avance urbano. Argentina. *Tiempo Y Espacio*, (21), 47–57. Recuperado a partir de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/TYE/article/view/1739>

Mesa, A. y Giusso, C. (2014). La urbanización del piedemonte andino del Área Metropolitana de Mendoza. *Revista Iberoamericana de Urbanismo RIURB*. (11), 63-77. [http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/85227/11\\_04\\_Mesa\\_Giusso.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/85227/11_04_Mesa_Giusso.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mohammad, P., Goswami, A. y Bonafoni, S. (2019). The impact of the land cover dynamics on Surface urban heat island variations in semi-arid cities: A case study in *Ahmedabad City, India, using multi-sensor/source data*. *Sensors*. 19, 3701; [doi:10.3390/s19173701](https://doi.org/10.3390/s19173701)

Morabito, M, Crisci A, Messeri, A., Orlandini, S., Raschi, A., Maracchi, G. y Munafò, M. (2016). The impact of built-up surfaces on land surface temperatures in *Italian urban areas*. *Sci Total Environ* 551–552:317–326.

Oke, T. (2004). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Geneva: IOM Report No. 81, World Meteorological Organization.

Oliva, L. y Castro, I. (2015). La década loteada. Unidiversidad, Datos interactivos, Ordenamiento territorial. Universidad Nacional de Cuyo. <https://www.unidiversidad.com.ar/ladecadaloteada>

Paluschi, O., Monti, P., Cacere, C., Montazeri, H. y Blocken, B. (2022). Impact of morphological parameters on urban ventilation in compact cities: The case of the Tuscolano-Don Bosco district in Rome. *Science of The Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150490>

Rafiee, A., Dias E, Koomen E (2016) Local impact of tree volume on nocturnal urban heat island: a case study in *Amsterdam*. *Urban For Urban Green* 16:50–61.

Sosa, M. B., Correa, E. N., & Cantón, M. Al. (2018). Neighborhood designs for low-density social housing energy efficiency: Case study of an arid city in Argentina. *Energy & Buildings*, 168, 137-146. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.006>

Sosa, M. B., Correa, E. y Cantón, M. A. (2017). Influencia de la morfología urbana sobre la habitabilidad térmica exterior en una ciudad de clima árido. *Hábitat Sustentable*. <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.01.05>

Ubilla Bravo, G. (2020). Rururbanización, suburbanización y reconcentración de la tierra: efectos espaciales de instrumentos rurales en las áreas periurbanas de Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/179843>