

Efecto térmico de fachadas verdes tradicionales en envolventes de viviendas unifamiliares con orientación este. Análisis de casos en el Área Metropolitana de Mendoza

Thermal effect of traditional green façades in unifamiliar housing envelopes with east orientation. Analysis of cases in Metropolitan Area of Mendoza

Pablo Suárez¹, M. Alicia Cantón², Érica Correa²

^{1 2} Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE - CCT CONICET Mendoza)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

psuarez@mendoza-conicet.gob.ar; macanton@conicet-mendoza.gob.ar;
ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

El fenómeno de consolidación urbana ha limitado el potencial de incorporación de estructuras verdes tradicionales – parques, plazas, arbolado de alineación- surgiendo nuevas formas de vegetación aplicables a las envolventes edilicias: “techos y muros verdes”. El presente trabajo evalúa el impacto de las Fachadas Verdes Tradicionales (FVT), en la condición térmica de edificios de vivienda de la ciudad de Mendoza; cuyo clima es seco desértico (BWK - Köppen-Geiger). Se han monitoreado durante los meses de enero y febrero de 2019, cuatro casos de estudio: dos viviendas con FVT -orientación este- y dos viviendas de igual tipología y materialidad sin FVT (viviendas testigo). Dichas construcciones son del tipo másico, sistema constructivo local más utilizado en la provincia. Se registraron datos de temperatura ambiente exterior e interior; superficial exterior e interior y humedad relativa. Los resultados muestran disminuciones de hasta 3.2 °C en la temperatura ambiente interior de las viviendas con FVT, reducciones de hasta 26.5 °C en muros exteriores y 7 °C en muros interiores. Estas magnitudes avalan el potencial de la aplicación de las FVT para la mitigación del efecto de las altas temperaturas y su potencial para la rehabilitación termo-energética en edificios.

ABSTRACT

The phenomenon of urban consolidation has limited the potential for incorporating traditional green structures – parks, squares, alignment trees – emerging new forms of vegetation applicable to the enveloping buildings: "green ceilings and walls". This paper assesses the impact of the Traditional Green Facades (FVT), on the thermal condition of housing buildings in the city of Mendoza; whose climate is dry desert (BWK - Köppen-Geiger). Four case studies have been monitored during the months of January and February 2019: two houses with FVT -east orientation - and two homes of equal typology and materiality without FVT (witness housing). These constructions are of the mass type, local construction system most used in the province. Outdoor and indoor ambient temperature data were recorded, surface exterior and interior and relative humidity. The results show decreases of up to 3.2 °C in the indoor ambient temperature of the houses with FVT, reductions of up to 26.5 °C in exterior walls and 7 °C in interior walls. These magnitudes support the potential of the application of PVT for the mitigation of the effect of high temperatures and their potential for thermo-energy rehabilitation in buildings.

PALABRAS CLAVES: eficiencia termo-energética; sistema de enverdecimiento vertical; climas áridos.

KEY WORDS: thermo-energetic efficiency; vertical greenery system; arid climates.

FECHA DE RECEPCIÓN: 28/05/2020 | **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 30/05/2020

DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/arq.0154375>

INTRODUCCIÓN

Desde hace varias décadas las sociedades son conscientes de los impactos negativos que tiene el avance de la urbanidad sobre el medio ambiente; desde las emisiones de carbono y el considerable incremento de las temperaturas medias del aire, hasta la depredación de zonas productivas periféricas y la destrucción de los ecosistemas. En las ciudades, la antropización del medio modifica sus condiciones naturales, eleva las temperaturas urbanas y los consumos de energía en edificios, representando el 35% de la energía consumida a nivel mundial. En el plano internacional, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) indica que el 75% de la infraestructura que existirá en el 2030, aún no fue construida. Esto representa una gran oportunidad para crear “ciudades limpias y verdes”, con baja emisión de partículas, eficientes y resilientes. A nivel nacional, el Gabinete Nacional para el Cambio Climático ha puesto en marcha el Plan de Acción Nacional de Energía y Cambio Climático con uno de sus ejes fundamentales enfocados a la reducción de los consumos de energía en los edificios, promoviendo el mejoramiento en la eficiencia térmica de las envolventes. Dicho documento fija un objetivo de optimización de envolventes de 5.7 millones de viviendas para el año 2030 en Argentina. Una de las estrategias indicadas para esto lo constituye el enverdecimiento vertical. Las diferentes formas de infraestructura verde generan beneficios energético-ambientales, a escala urbana, asociados a la disminución de la isla de calor y el aumento del confort de los espacios públicos y, a escala edilicia, relacionados al menor consumo de energía para acondicionamiento térmico de los espacios interiores. Investigaciones recientes han permitido determinar que en un clima templado el aumento de la proporción de la infraestructura verde en un 10% podría reducir las temperaturas medias del aire urbano 2.5 °C (Gill et al, 2007) y ahorrar hasta un 20% del uso de energía convencional, debido a la menor demanda de aire acondicionado (Akbari et al, 2004).

De modo particular, el desarrollo de conocimiento en torno a los SEV ha crecido en función de su relevancia a nivel mundial en la última década. Muestran probada eficiencia en la disminución de las temperaturas de los espacios habitables exteriores e interiores y sus consecuentes impactos en los consumos de energía. Los resultados varían en su magnitud según el tipo de clima donde se aplican los SEV, registrando máximas disminuciones de temperatura superficial exterior del orden de los 26.2 °C (Besir, 2018) en climas del tipo Cfa/Cfb (templado cálidos húmedos, verano caliente), de temperatura interior del orden de los 6.5 °C (Haggag, 2014) en climas del tipo BWk (árido desértico, verano caliente) y de temperatura ambiente exterior del orden de los 3.3 °C (Wong, 2010) en climas del tipo Af (Ecuatorial húmedo). Mayoritariamente los estudios se han realizado en países europeos, asiáticos y norteamericanos; en climas del tipo templado cálido, tanto húmedo como seco -Csa, Cfa/Cfb-. Sin embargo, los resultados han mostrado similares o mejores rendimientos para los SEV, en cuanto a las reducciones de temperatura, en climas desérticos respecto a climas húmedos. En este marco, el Área Metropolitana de Mendoza, Argentina (AMM), presenta un clima árido desértico (BWk - Köppen-Geiger). Desde el punto de vista de la presencia de espacios vegetados, cuenta en su estructura con una importante cantidad de espacios abiertos forestados, que ha dado lugar a un modelo urbano calificado como ciudad “oasis” (Bórmida, 1984). Sin embargo, el proceso de crecimiento y densificación urbana no ha sido acompañado de un proceso de densificación de las áreas verdes. Estas transformaciones urbanas han dado como resultado una disminución de la relación territorial entre espacios vegetados y construidos (1: 30 y 1: 17) que se alejan del óptimo recomendado a nivel mundial (1:4) (Panasiti, 2000). En consecuencia, incrementar las áreas verdes implica implementar nuevas tecnologías asociadas al uso de techos verdes y Sistemas de Enverdecimiento Vertical (SEV).

Los SEV se agrupan en tres categorías: Pared -muro- Viva (PV), Fachadas Verdes (FV) y Sistemas Mixtos (SM) que combinan características asociadas a las categorías anteriores.




SEV	TIPOLOGÍA		
Fachadas Verdes	 <p>Tradicional</p>	 <p>Doble piel</p>	 <p>Macetas perimetrales</p>

Figura 1: Tipologías de FV.

Las FV, (Fig. 1), son todos aquellos sistemas en los que hay plantas trepadoras y/o arbustos colgantes cubriendo un área determinada. Las plantas están sembradas en terreno natural (o base de la estructura) o en macetas ubicadas a distintos niveles de la fachada. Pueden dividirse en tres tipologías: Fachadas Verdes Tradicionales (FVT), donde la estructura de la planta es el mismo muro del edificio; Fachadas Verdes tipo Doble Piel (FVDP) o cortina verde, donde existe una estructura suplementaria que se separa una distancia variable de la pared del edificio; y Fachadas Verdes con Macetas Perimetrales (FVMP), donde pueden alojarse macetas con plantas trepadoras y/o arbustos colgantes para generar una cortina verde.

Las FVT son sistemas de aplicación simple, bajo costo y reducido impacto en la construcción existente. En el caso de Mendoza, esta estrategia es de aplicación espontánea y se encuentra ampliamente difundida en las áreas residenciales de baja densidad. Los beneficios que brinda este sistema se agrupan en dos categorías: termo-energéticos y ambientales.

Respecto a los beneficios termo-energéticos de las FVT, se registraron máximas reducciones de temperatura ambiente interior de del orden de los 1.04 °C (Kontoleon, 2010), reducción de la velocidad de viento adyacente del orden de los 0.43 m/s a 10 cm de la pared cubierta (siendo cero la velocidad de viento dentro de la planta) (Perini, 2011) y máximas reducciones de temperatura superficial exterior del orden de los 13.6 °C (Hoelscher, 2016). Estos valores responden a los efectos de sombra del follaje, enfriamiento por evapotranspiración de las plantas, aislamiento de los estratos que componen el vegetal y barrera contra el viento por la rugosidad de las hojas.

En cuanto a los beneficios ambientales, se registraron valores máximos de absorción de emisiones de carbono que oscilan entre 0.14 y 0.99 Kg/m² (Marchi, 2015). Además, es considerable el grado de absorción acústica y aporte a la preservación de la biodiversidad.

Sin embargo, el desarrollo de conocimiento vinculado al estudio de la incidencia de las FVT en el comportamiento térmico de los espacios interiores es limitado, principalmente, en relación con los resultados de su implementación en climas del tipo seco desértico y al análisis del impacto diferencial del uso de la estrategia de acuerdo con la orientación de la fachada. En consecuencia, el presente trabajo tiene por objetivo evaluar el impacto de las FVT con orientación este, sobre las temperaturas superficiales, interiores y exteriores, y la condición térmica de los espacios interiores en tipologías de vivienda unifamiliar del AMM, Argentina.

METODOLOGÍA

Búsqueda, selección y monitoreo de los casos de estudio

La primera etapa de la investigación consistió en la búsqueda y selección de los casos de estudio. Los criterios que orientaron a la misma fueron los siguientes: tipologías de vivienda unifamiliar y tecnología constructiva de uso frecuente en el medio local; localizadas en zonas residenciales consolidadas de baja densidad; que presenten SEV del tipo Fachada Verde Tradicional (FVT); y tipologías de vivienda de similares características morfológicas, de orientación e implantación, sin SEV para su evaluación como caso testigo. En base a estos criterios se seleccionaron dos casos ubicados en las localidades de Godoy Cruz y Guaymallén. Ver casos en Fig. 2.

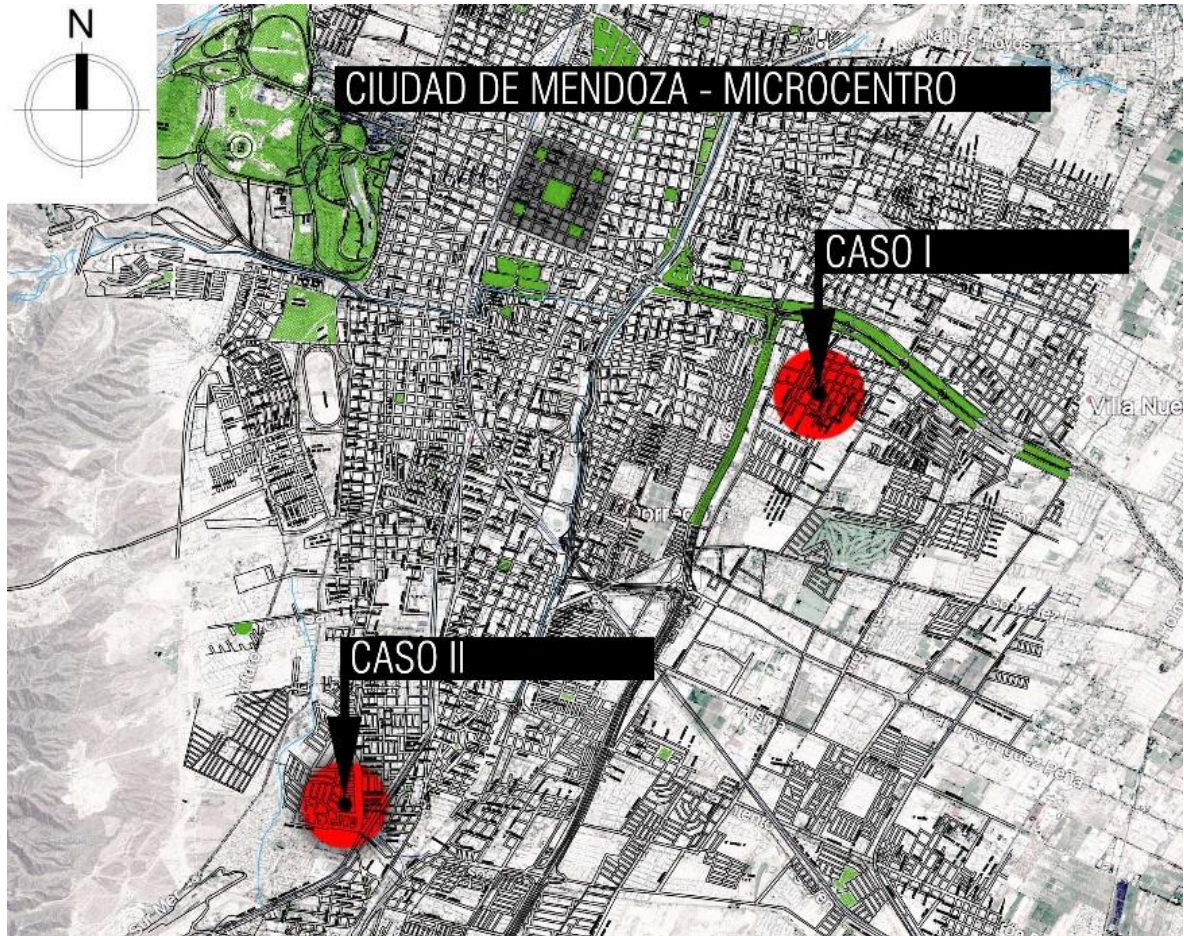
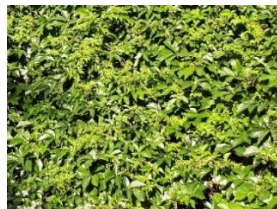
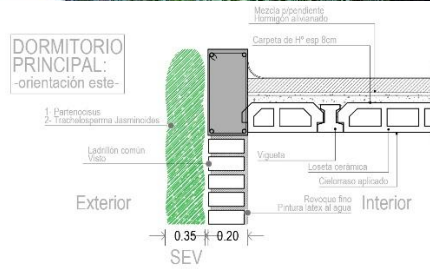


Figura 2: Ubicación geográfica de los casos de estudio.

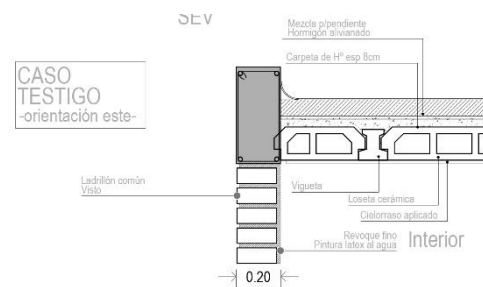
DESARROLLO

Caso I: Viviendas en dos plantas

Se trata de dos viviendas localizadas en un barrio de tipología seriada en el departamento de Guaymallén, Mendoza. En las mismas domina el tipo morfológico de casa compacta, ampliada, estructuradas en dos niveles. Tecnológicamente muestran el tipo constructivo característico de áreas sísmicas: estructura de hormigón armado y mampostería de ladrillo visto. Las cubiertas son planas, conformadas por losas de hormigón alivianadas, aisladas térmica e hidráulicamente. Una de ellas presenta el sistema de FVT en la fachada interna de la vivienda orientada al Este y en la fachada lateral orientada al norte. La FVT está conformada por una enredadera -especie *Parthenocisus Quinquifolia*- de un espesor promedio de 40cm que cubre el 100% de las fachadas. Ver Fig. 3.



Vivienda con FVT

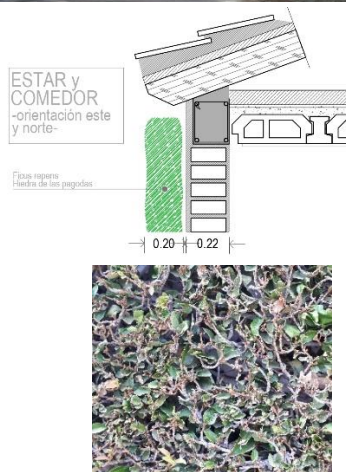


Vivienda testigo

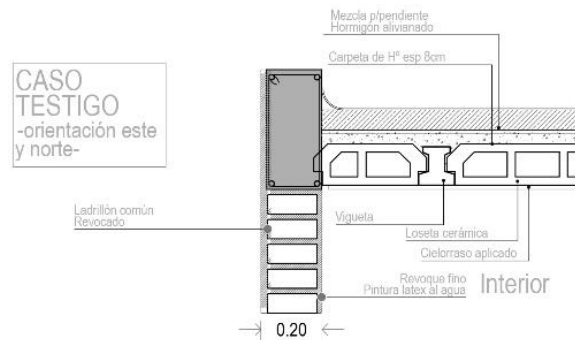
Figura 3: Caso I vivienda en dos plantas: Vivienda con FVT y Vivienda testigo; Paquetes tecnológicos.

Caso II: Viviendas en una planta

Se trata de dos viviendas localizadas en un barrio de tipologías seriadas, fuertemente intervenidas y modificadas respecto a su estructura original, ubicado en el departamento de Godoy Cruz, Mendoza. En las mismas domina el tipo morfológico de casa compacta estructuradas en un nivel. Tecnológicamente muestran el tipo constructivo característico de áreas sísmicas: estructura de hormigón armado y mampostería de ladrillo revocado. Una de ellas presenta cubiertas planas hormigón alivianado y la otra, sobre dicha cubierta, muestra un sobre techo liviano de madera y teja cerámica colonial. La vivienda con cubierta intervenida posee un sistema de FVT en sus fachadas exteriores orientadas al este y al norte. La FVT está conformada por una enredadera -especie Lonicera Japónica- de un espesor promedio de 20cm que cubre el 100% de las fachadas. Ver Fig. 4.



Vivienda con FVT



Vivienda testigo

Figura 4: Caso II vivienda en una planta: Vivienda con FVT y Vivienda testigo; Paquetes tecnológicos.

Monitoreo de los casos de estudio

Para la evaluación de la incidencia de la fachada verde tradicional en el comportamiento térmico de las fachadas de orientación este de las viviendas, las variables medidas fueron: temperatura y humedad del aire exterior en los espacios abiertos públicos y privados colindantes con la vivienda, temperatura y humedad del aire interior y temperatura superficial interior y exterior en muros. Los sensores utilizados para medir la temperatura y humedad relativa ambiente fueron 6 equipos del tipo HOBO Onset UX100-003 y 2 equipos HOBO Onset H08-003-02. La temperatura superficial fue medida mediante 2 HOBO Onset H08-003-02 en modo Termistor y 8 Termocuplas EL-USB-TC Tipo "K". La Fig. 5 muestra el esquema de distribución de los sensores en cada una de las plantas de las viviendas. La toma de datos se registró cada 15 minutos, durante el verano 2019, en un período de 15 días comprendido entre el 21 de enero y el 2 de febrero para el caso I y entre el 8 y el 22 de febrero para el caso II. Para asegurar la confiabilidad de los datos obtenidos, todos los sensores fueron calibrados previamente al monitoreo. La Fig. 5 muestra la ubicación de los sensores en las plantas de las viviendas evaluadas.

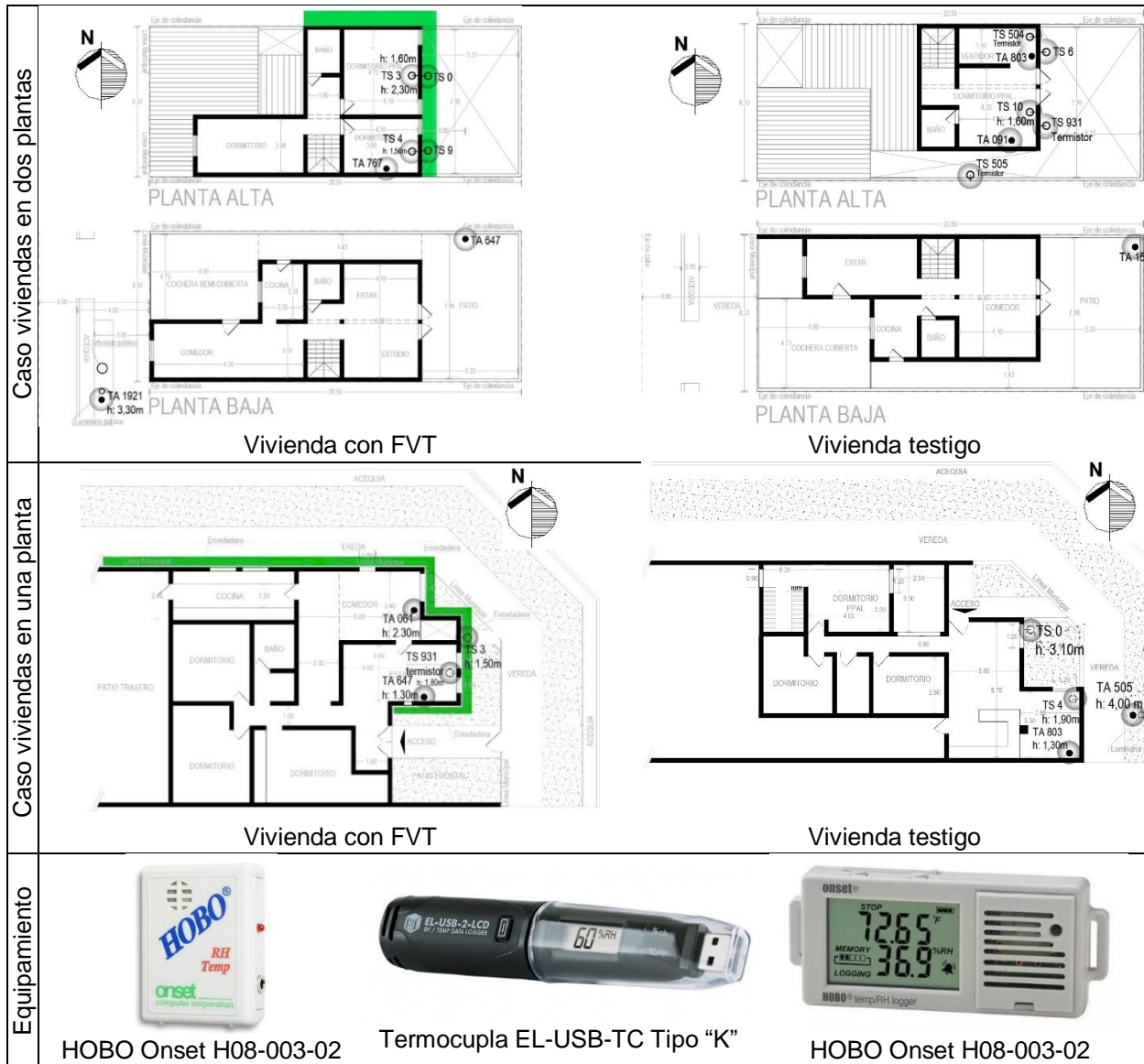


Figura 5: Plantas de las viviendas evaluadas con ubicación de sensores (color gris), y las FVT (color verde).

RESULTADOS

La Fig. 6 muestra el comportamiento de la temperatura del aire exterior en el Cañón Urbano (CU) para los períodos de monitoreo considerados para los dos casos. De la contrastación del comportamiento de las curvas se observa que, aunque hay un desfase de 15 días entre ambos períodos de medición, las temperaturas máximas del período fueron coincidentes, encontrándose diferencias en los valores de las temperaturas mínimas, que pueden ser atribuidos a la localización de ambos casos. Como se muestra en la Fig. 2, el caso de las viviendas en una planta se encuentra más al sur del AMM y a 120 msnm más de altitud. Dado que durante la noche los vientos penetran a la ciudad con dirección predominante suroeste-noreste, la localización del caso de las viviendas en una planta presenta mejores posibilidades de enfriamiento nocturno respecto al caso de las viviendas de dos plantas tal y como se observa en la Fig. 6. Se evidencia el efecto de isla de calor y la distribución de su influencia en los distintos sectores de la ciudad.

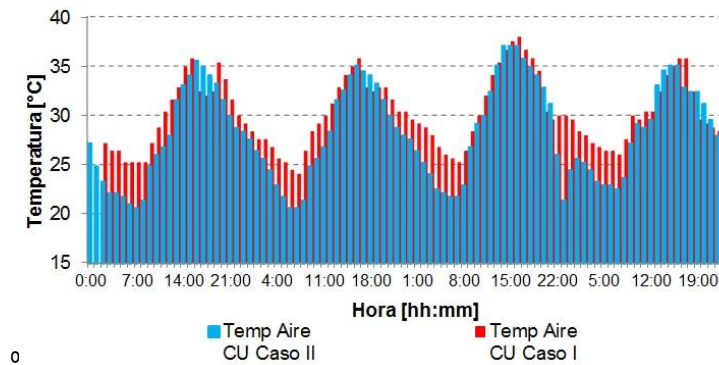


Figura 6: Temperaturas de aire exterior en el Cañón Urbano (CU) para ambos casos de estudio.

Diferencia de temperatura superficial exterior entre caso testigo y caso con SEV

Dentro de las cuatro viviendas analizadas, correspondiente a los dos casos, las FVT muestran un efecto de disminución de la temperatura superficial exterior que oscila entre 4.5 °C y 26.5 °C. Alcanzan diferencias entre 6.2 °C y 26.5 °C para orientación este. Las máximas diferencias se registraron a las 10:30 am en el caso de las viviendas de dos plantas. En la Fig. 7 se muestra el comportamiento de la temperatura superficial exterior del muro en dos espacios homólogos entre el caso con FVT y el testigo para ambos casos estudiados.

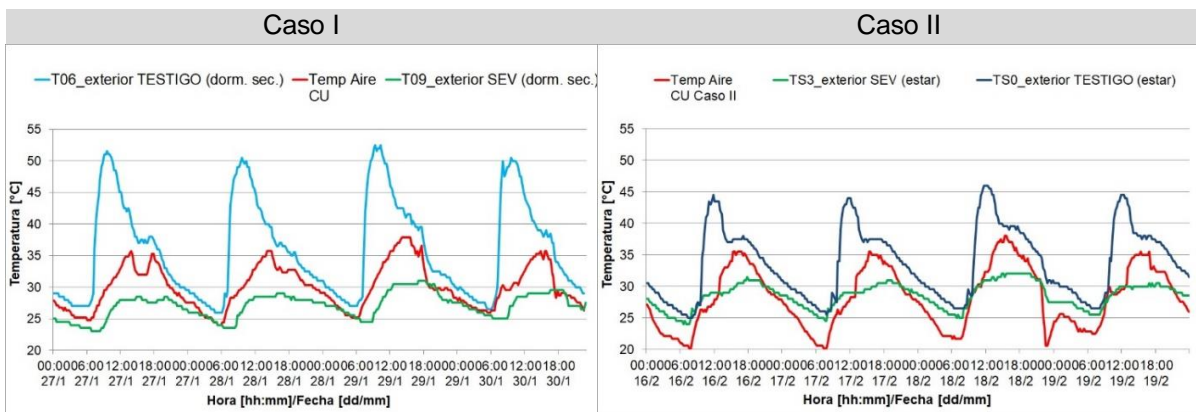


Figura 7: Diferencia de temperatura superficial exterior entre caso testigo y caso con SEV, orientación este.

Diferencia de temperatura superficial interior entre caso testigo y caso con SEV

Dentro de las 4 viviendas analizadas, las FVT muestran un efecto de disminución de la temperatura superficial interior que oscila entre 0.9 °C y 6.9 °C. Las máximas diferencias se registraron a las 15:30 en el caso de viviendas de dos plantas, cuando la temperatura ambiente alcanzaba 31.1 °C. En la Fig. 8 se muestra el comportamiento de la temperatura superficial interior del muro en dos espacios homólogos entre el caso con FVT y el testigo para ambos casos de estudio.

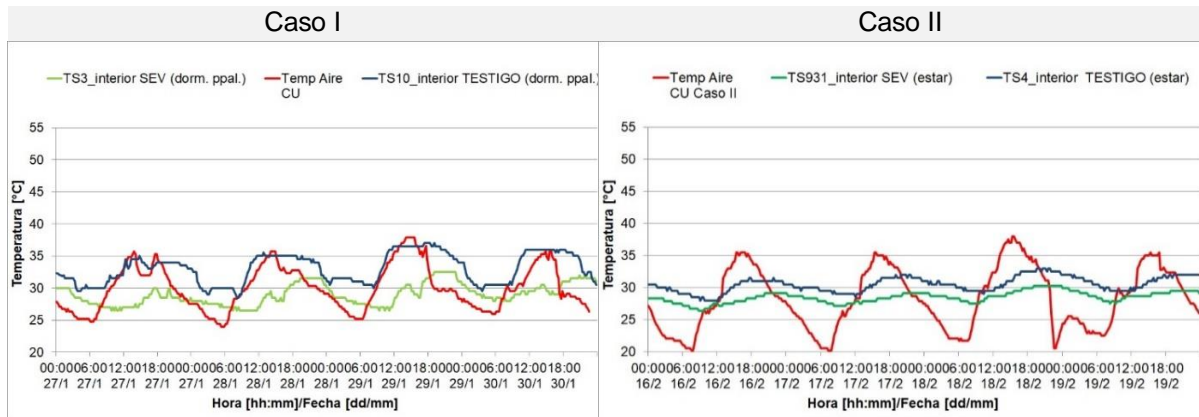


Figura 8: Diferencia de temperatura superficial interior entre caso testigo y caso con SEV, en orientación este.

Diferencia de temperatura ambiente interior entre caso testigo y caso con SEV

Dentro de las 4 viviendas analizadas, las que poseen FVT presentan una disminución de la temperatura ambiente interior que oscila entre 0.5 °C y 3.2 °C en orientaciones este. La máxima magnitud se registró a las 17:45 en ambos casos de estudio, cuando las temperaturas ambientes exteriores alcanzaban 36.1 °C y 34.4 °C para el caso de dos plantas y una planta respectivamente. En la Fig. 9 se muestra el comportamiento de la temperatura ambiente interior del muro en dos espacios homólogos entre el caso con FVT y el testigo para los dos casos.

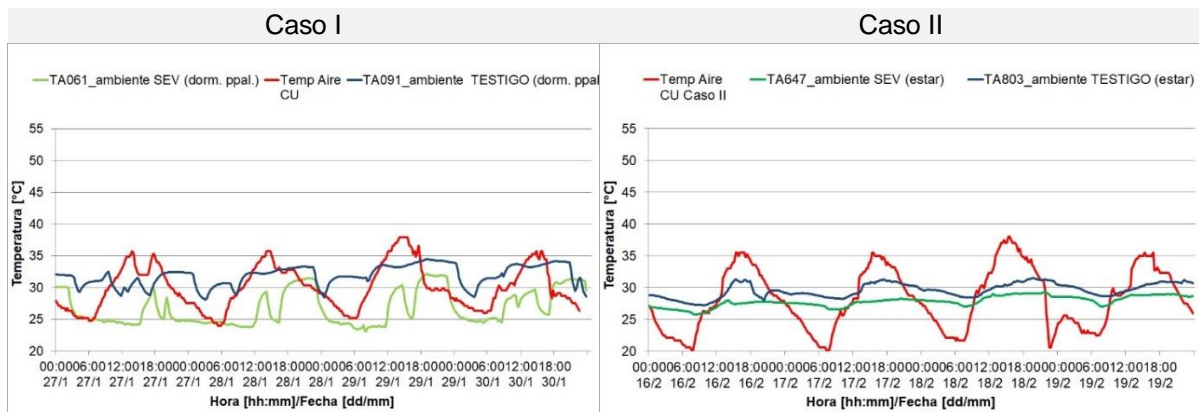


Figura 9: Diferencia de temperatura ambiente interior entre caso testigo y caso con SEV, para orientación este.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran claramente el impacto de las fachadas verdes tradicionales en el comportamiento térmico de viviendas unifamiliares emplazadas en ciudades de zonas áridas. Los efectos de los SEV muestran diferencias asociadas a las características de las especies empleadas en los SEV, sus espesores y los contextos de inserción de estos.

En relación con las especies empleadas y sus espesores el caso analizado que presenta un SEV conformado por *Parthenocisus Quinquifolia* -caso vivienda en dos plantas- caracterizada por una hoja marcescente de tipo malacófilas, de baja permeabilidad solar, alta densidad foliar, y mayor espesor, ha mostrado menor amplitud térmica respecto al caso sin SEV. Esto se traduce en una mayor eficiencia durante el día debido a las mayores disminuciones de la temperatura superficial exterior e interior del muro y de las temperaturas del aire interior. Y menor eficiencia durante la noche resultante de su mayor efecto aislante que disminuye las posibilidades de enfriamiento.

El efecto de los SEV muestra mayor eficiencia en contextos de inserción consolidados que poseen una curva de temperatura del aire exterior con menor amplitud térmica y, en consecuencia, mayor efecto de isla de calor

nocturno. Esto se debe a que el gradiente de enfriamiento de las envolventes con SEV es menor y su efecto conservativo se anula, no perjudicando la posibilidad de enfriamiento de la masa térmica.

Por último, en términos cuantitativos, y para el clima en estudio los SEV muestran un potencial importante de disminución de las temperaturas superficiales y de los espacios interiores de las viviendas, cuyas magnitudes alcanzan valores del orden de los 4.5 °C a 26.5 °C para temperaturas superficiales exteriores, y de 0.5 °C a 3.2 °C para temperaturas ambiente interiores con sus consecuentes impactos en la reducción del consumo de energía para alcanzar condiciones de confort. Las máximas disminuciones de temperatura de aire interior detectadas para el clima árido seco son del orden de tres veces superior las reportadas en la bibliografía internacional para una misma tipología de SEV -FVT- en un clima subtropical húmedo (Kontoleon, 2010) -3.2 °C vs. 1.04 °C-.

BIBLIOGRAFÍA

- Akbari, H. et al. (1997). Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. *Energy Build* 25, 117–126.
- Besir, A. Y Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 915–939, 2018.
- Bórmida, E. (1984). Mendoza: modelo de ciudad-oasis. *Revista de la Universidad de Mendoza*. 68–71.
- Gill, et. al. (2007). Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment* 33(1):115-133.
- Haggag M. et al (2014). Experimental study on reduced heat gain through green façades in a high heat load climate. *Energy and Buildings* 82, 668-674.
- Hoelscher M. T. (2016). Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. Berlin, Germany. *Energy and Buildings* 114 283–290.
- Kontoleon, K. (2010). The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Building and Environment*. 45 1287-1303.
- Marchi M., Pulselli RM, Marchettini N, Pulselli FM y Bastianoni S (2015). Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. *Ecol Model*. 306:46–56.
- Panasiti, A. (2000). Mendoza en el 2000, 20, pp. 171.
- Perini, K. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment* 46, 2287- 2294.
- Wong, N. et al. (2010). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment* 45, 663-672.