



XV ENCAC Encuentro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encuentro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

2019

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

IMPACTO DE LAS FACHADAS VERDES TRADICIONALES EN EL COMPORTAMIENTO TERMO-ENERGÉTICO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN ZONAS ÁRIDAS. CASO CIUDAD DE MENDOZA.

Pablo Suárez (1); M. Alicia Cantón (2); Érica N. Correa (2)

(1) Becario Doctoral CONICET, e-mail: psuarez@mendoza-conicet.gob.ar

(2) Investigadora Independiente CONICET, e-mail: macanton@conicet-mendoza.gob.ar;
ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE - CCT CONICET Mendoza)

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Av. Ruiz Leal s/n. Parque Gral. San Martín. C.P. 5500 – Mendoza

RESUMEN

El fenómeno de consolidación de las ciudades ha limitado el potencial de incorporación de estructuras verdes tradicionales – parques, plazas, arbolado de alineación- surgiendo nuevas formas de vegetación asociadas a su incorporación a las envolventes edilicias: Techos y Muros Verdes. El presente trabajo evalúa el impacto de un tipo de Sistema de Enverdecimiento Vertical (SEV), las Fachadas Verdes Tradicionales (FVT), en la condición térmica de edificios de vivienda de la ciudad de Mendoza, Argentina; cuyo clima es seco desértico (BWk - Köppen-Geiger). Se han monitoreado durante los meses de enero y febrero de 2019, cuatro casos de estudio ubicados en el área metropolitana de Mendoza (AMM): dos viviendas con FVT en orientación este y norte y simultáneamente dos viviendas de igual tipología y materialidad sin FVT (viviendas testigo). Dichas construcciones están edificadas con el sistema constructivo local más utilizado en la provincia. Se registraron datos de temperatura ambiente exterior e interior; superficial exterior e interior y humedad relativa. Para los casos analizados se registraron 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. Dichas magnitudes varían de acuerdo con las condiciones microclimáticas cada zona de implantación, la especie de enredadera utilizada y el espesor de esta. Los resultados obtenidos avalan el potencial de la aplicación de las FVT para la mitigación del efecto de las altas temperaturas, típicas del clima árido seco, y su potencial para la rehabilitación termo-energética del parque edilicio de la ciudad de Mendoza.

Palabras clave: Sistemas de Enverdecimiento Vertical; eficiencia termo-energética; zonas áridas.

ABSTRACT

The phenomenon of city consolidation has limited the potential of green infrastructure incorporation -parks, squares, alination trees- arising new forms of vegetation associates to building envelopes: Green Roofs and Green Walls. Present research tests the impact of a single typology of Vertical Greenery System (VGS), the Traditional Green Facade (TGF), in the thermal condition of living place typology buildings of the city of Mendoza, Argentina; which climate is dry desert (BWk - Köppen-Geiger). Four study cases has been studied during January and February of 2019, located in Metropolitan Area of Mendoza (MAM): two houses with TGF in East and North orientation, and two more similar houses without TGF, used as witness houses. Those buildings has been built with the most common local constructive method. Variables of exterior and interior surface temperature, exterior and interior ambient temperature and relative humidity has been registred. Those cases showed up to 26,5 °C reduction of exterior wall surface temperature, 7 °C reduction of interior wall surface temperature and 3,2 °C reduction of interior air temperature, whose magnitudes varies according to the every microclimate condition, the species of climbing plant used and its thickness. This results endorse the potential of the application of this typology of VGS to mitigate the high exterior and interior temperatures typical from dry arid climates and its potential to thermo-energetic rehabilitation of Mendoza city building park.

Keywords: Vertical Greenery Systems, thermo-energetic efficiency, arid climates.

1. INTRODUCCIÓN

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. Crear “comunidades frescas” es un imperativo internacional y refrendado en el país por el Plan de Acción para el Cambio Climático. Una de las estrategias dirigidas a mitigar los efectos negativos de las urbanizaciones, lo constituye el enverdecimiento urbano.

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).

El caso particular del Área Metropolitana de la ciudad de Mendoza, Argentina (AMM) se inserta en una zona signada por la aridez y la restricción de los recursos hídricos Su clima (árido desértico, BWk - Köppen-Geiger) se caracteriza por veranos secos, calientes y con altos índices de radiación solar. Desde el punto de vista de su concepción urbanística, presenta la particularidad de contar en su estructura con una importante cantidad de espacios abiertos, en su gran mayoría forestados, que ha dado lugar a un modelo urbano calificado como ciudad “oasis” (BÓRMIDA, 1984). Actualmente, los municipios del AMM han tomado conciencia respecto al rol que juegan los espacios verdes en la ciudad. Es por ello que han iniciado un proceso de valoración de los mismos que involucra la remodelación de plazas, enverdecimiento de vacíos urbanos y espacios residuales. Sin embargo, se trata de una ciudad consolidada, con baja disponibilidad de vacíos urbanos y en la que, revertir la relación territorial entre espacios vegetados y construidos (1: 30 y 1: 17) para alcanzar el óptimo a nivel mundial (1:4) (PANASITI, 2000) requiere de la implementación de nuevas tecnologías asociadas al uso de techos verdes y Sistemas de Enverdecimiento Vertical (SEV).

Respecto a los SEV, se agrupan en tres categorías: Pared -muro- Viva, Fachada Verde y Sistemas Mixtos que combinan características asociadas a las categorías anteriores (Fig. 1).

Las *Fachadas Verdes*, que serán abordadas en el presente trabajo, 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 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*, donde pueden alojarse macetas con plantas trepadoras y/o arbustos colgantes para generar una cortina verde.

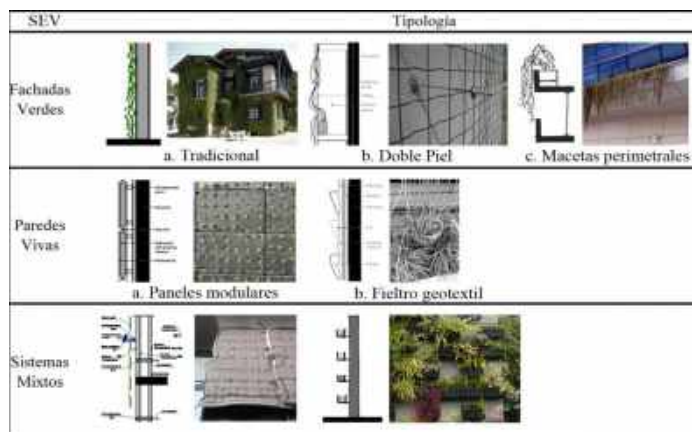


Figura 1 - Tipologías de SEV.

Para el caso de los sistemas de enverdecimiento vertical -SEV- la literatura reporta que permiten alcanzar disminuciones de temperatura exterior en un rango comprendido entre 1.5 °C y 3.3 °C, y de la temperatura interior entre 0,7 °C y 6,5 °C dependiendo del caso de estudio.

Las FVT son sistemas conformados por plantas trepadoras que se desarrollan adosados directamente a la pared del edificio sin ningún sistema de sujeción. Su aplicación es simple, de bajo costo y reducido

impacto en la construcción existente.

Los beneficios termo-energéticos de los FVT están asociados a los siguientes efectos: *sombra*, *enfriamiento evapotransporativo*, *aislación* (dado por los sustratos y el follaje) y *barrera contra el viento*.

El *efecto de sombra* es el que ubica a los FVT como interceptores de la radiación solar incidente, directa o indirecta. Es probablemente el efecto con mayor impacto en la reducción de las temperaturas superficiales y, como consecuencia, en la transmisión de calor a los espacios interiores.

El *efecto de enfriamiento* se debe al proceso de evaporación de agua del sustrato y las plantas. Esto incide en las variaciones de temperatura de aire interior, y temperatura y humedad del entorno inmediato. Está comprobado que el efecto de los FVT sobre la temperatura y humedad exterior se extiende hasta 60 cm de su superficie en condición aislada (WONG N. H., 2010). En el caso de Fachadas Verdes, sólo se produce enfriamiento como consecuencia de la transpiración de las plantas.

El *efecto de aislamiento* se produce como consecuencia de la interferencia de la transmisión de calor por los estratos que componen los sistemas constructivos de los SEV. Éstos pueden ser: sustratos, cámaras de aire (abiertas o herméticas), follaje, elementos estructurales y/o materiales intermedios -impermeabilizantes, etc.-. La tipología de FVT carece de capacidad aislante dado que el sustrato fértil no tiene contacto con el muro. Sin embargo, este trabajo se propone medir la magnitud de este efecto.

El *efecto barrera contra el viento* se debe a que el follaje, de características rugosas y porosas, obstaculiza la circulación de aire, razón por la cual la pérdida de calor o frío por convección se ve disminuida.

El desempeño de los SEV, como recurso pasivo de mejora en el rendimiento termo-energético de los edificios, depende en gran medida de la temperatura ambiente y la exposición solar a los que están sometidos. Dichas variables son interdependientes en los procesos de fotosíntesis y respiración de las plantas. La fotosíntesis es un proceso químico a través del cual el vegetal produce azúcar y almidón, los cuales durante el proceso de respiración se descomponen para generar el desarrollo y mantenimiento de los tejidos vegetales. Así, el primero de estos procesos mejora la calidad del aire suministrando oxígeno y el segundo, humidifica y reduce la temperatura del aire por medio de la evaporación de agua (WANG et al., 2016; BUSTAMI et. al. 2018)

El desarrollo científico internacional ha abordado el estudio de esta categoría en particular, con el objeto de determinar el impacto de la estrategia en la reducción de las temperaturas superficiales exteriores en distintas localizaciones climas y orientaciones. La labor desarrollada ha determinado rangos de reducción de la temperatura superficial exterior comprendidos entre 3°C y 16 °C en verano (AHMET B. BESIR, 2018).

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. En el caso de Mendoza se trata de una estrategia de aplicación espontánea y ampliamente difundida en las áreas residenciales. Esta condición plantea la necesidad de abordar la cuantificación de sus beneficios tendientes a determinar en primera instancia, sus impactos térmicos a escala urbana y edilicia.

2. OBJETIVO

El presente trabajo tiene por objetivo evaluar el impacto de un tipo de SEV, las FVT, sobre las temperaturas superficiales, interiores y exteriores, y la condición térmica de los espacios interiores en tipologías de vivienda unifamiliar de la ciudad de Mendoza, Argentina.

3. METODOLOGÍA

3.1. 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 Caso I y Caso II en Fig. 2-.



Figura 2 - Localización de los casos de estudio.

3.2. Caso I

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 *Parthenocissus Quinquifolia*- de un espesor promedio de 40 cm que cubre el 100% de las fachadas. Ver Fig. 3.

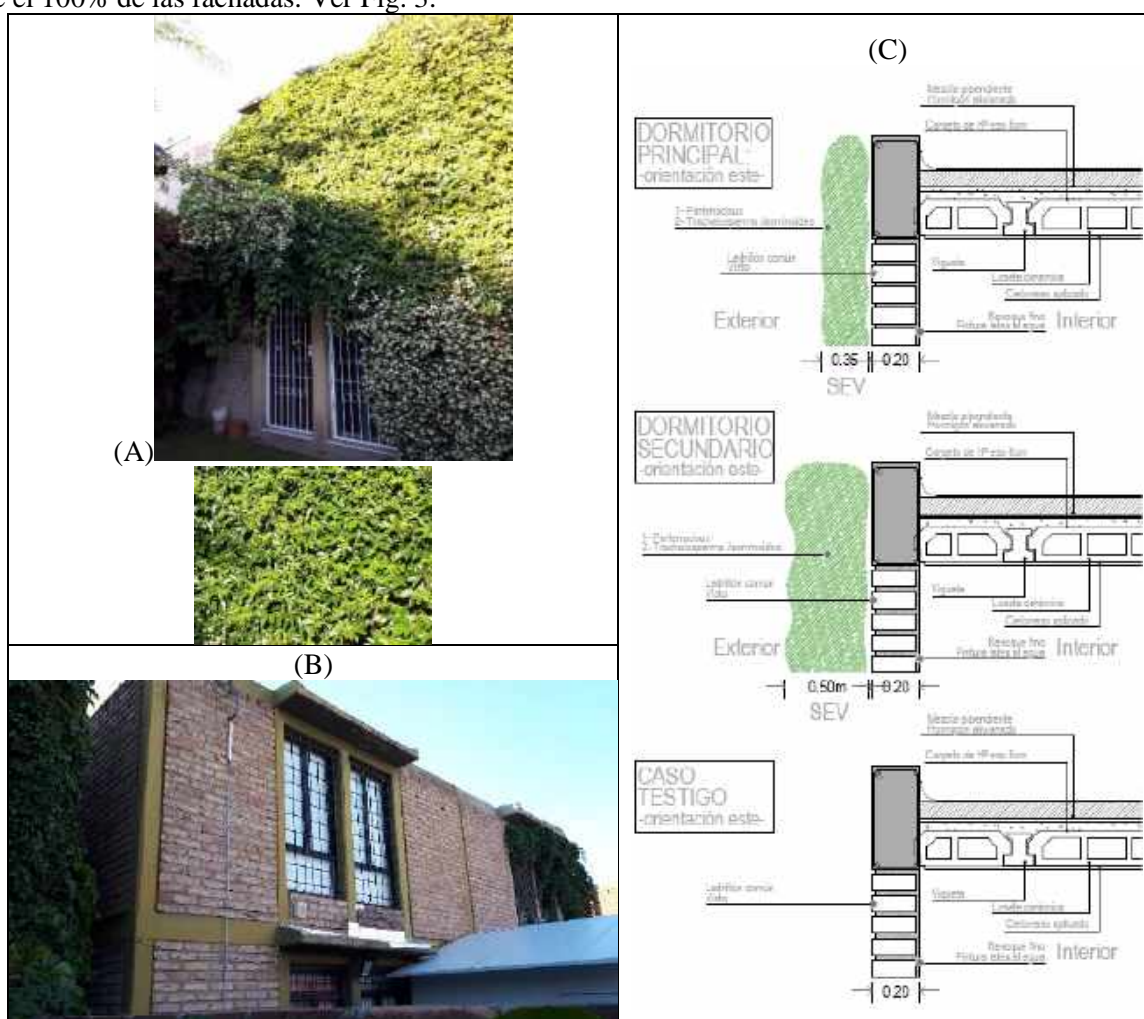


Figura 3 – Caso I: (A) Vivienda con FVT; (B) Vivienda testigo; (C) Paquetes tecnológicos.

3.3. Caso II

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 Japonica*- de un espesor promedio de 20 cm que cubre el 100% de las fachadas. Ver Fig. 4.



Figura 4 – Caso II: (A) Vivienda con FVT; (B) Vivienda testigo; (C) Paquetes tecnológicos.

3.4. Monitoreo de los casos de estudio

Para la evaluación de la incidencia de la fachada verde tradicional en el comportamiento térmico de la vivienda 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.

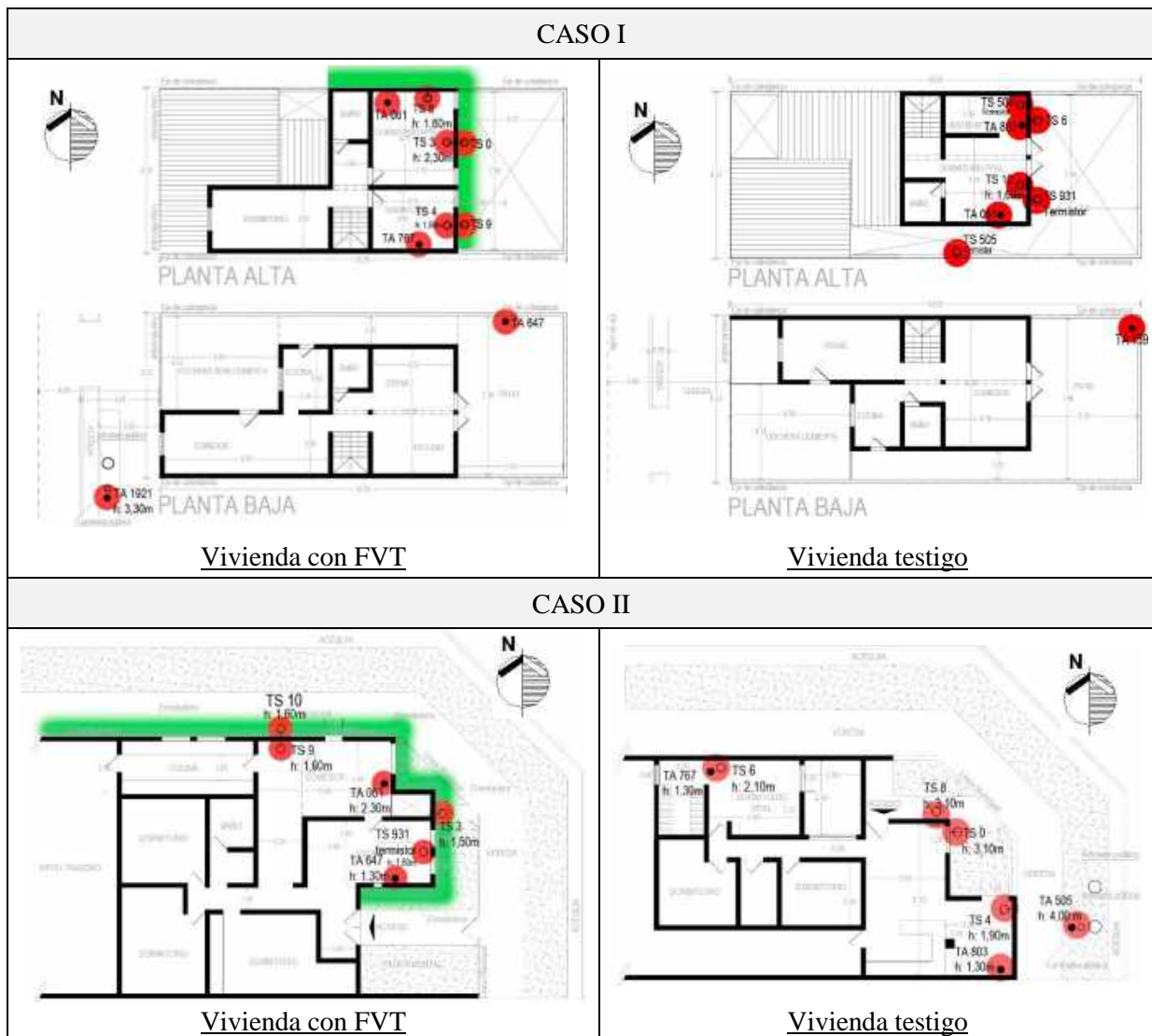


Figura 5 – Plantas de las viviendas evaluadas, ubicación de sensores (color rojo), y ubicación de las FVT (color verde).

4. 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 casos I y II. 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 II 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 II presenta mejores posibilidades de enfriamiento nocturno respecto al caso I 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.

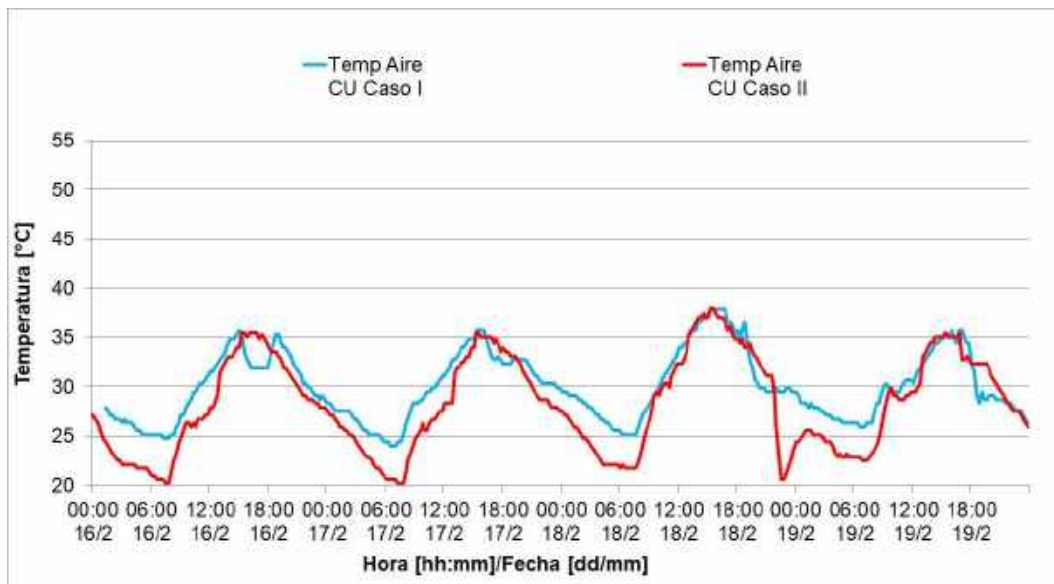


Figura 6 – Temperaturas de aire exterior en el Cañón Urbano (CU).

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

Dentro de las 4 viviendas analizadas, correspondiente al caso I y II, 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 y diferencias entre 4,5 °C y 11 °C en orientación norte. Las máximas diferencias se registraron a las 10:30 am en el caso I, para la orientación este, y a las 14:30 en el caso II para la orientación norte. 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 los casos I y II.

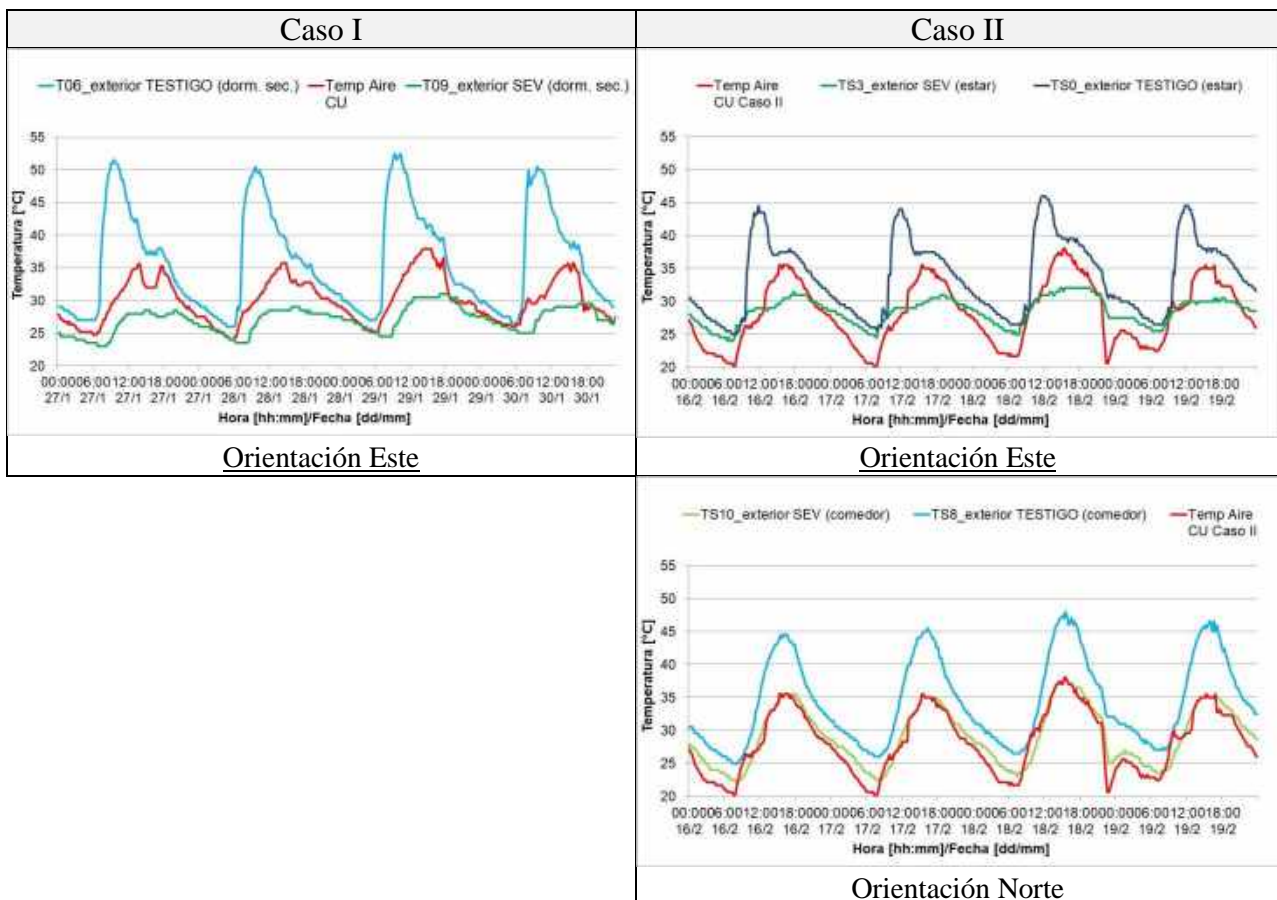


Figura 7 - Diferencia de temperatura superficial exterior entre caso testigo y caso con SEV, según orientación.

4.2. 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. Se registran diferencias entre 1,5 °C y 3,5 °C para orientación norte. Las máximas diferencias se registraron a las 15:30 para la orientación este (caso I) y a las 17:45 para la orientación norte, cuando las temperaturas ambientes alcanzaban 31,1 °C y 34,4 °C respectivamente. 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 los casos I y II.

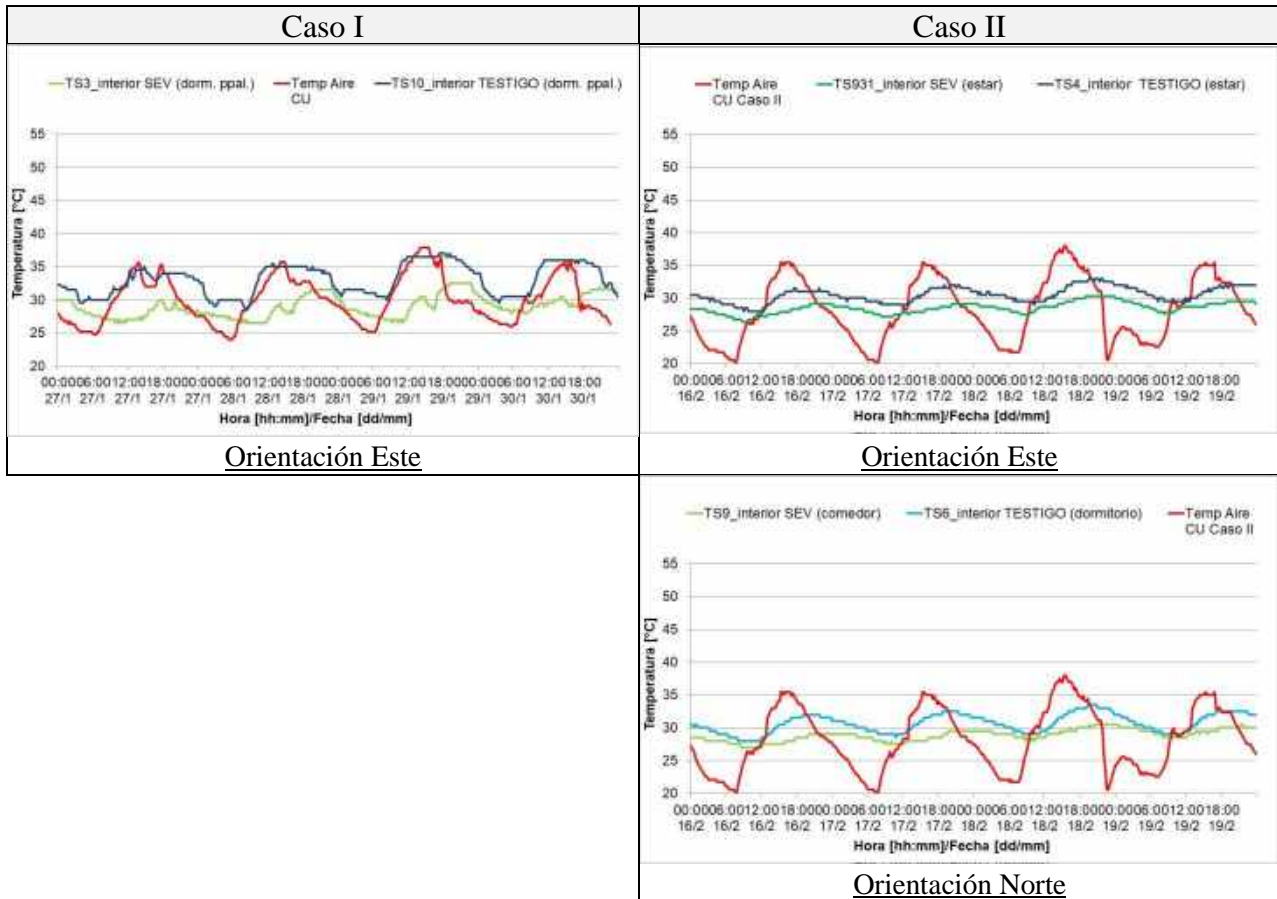


Figura 8 - Diferencia de temperatura superficial interior entre caso testigo y caso con SEV, según orientación.

4.3. 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 la *caso I* y *II* 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 casos I y II.

Esta variable no ha sido analizada para el caso de los FVT en orientaciones norte debido a que los comportamientos observados muestran diferencias térmicas resultantes de aportes de calor interno diferentes en los casos de estudio que distorsionan los resultados asociados al objetivo del trabajo.

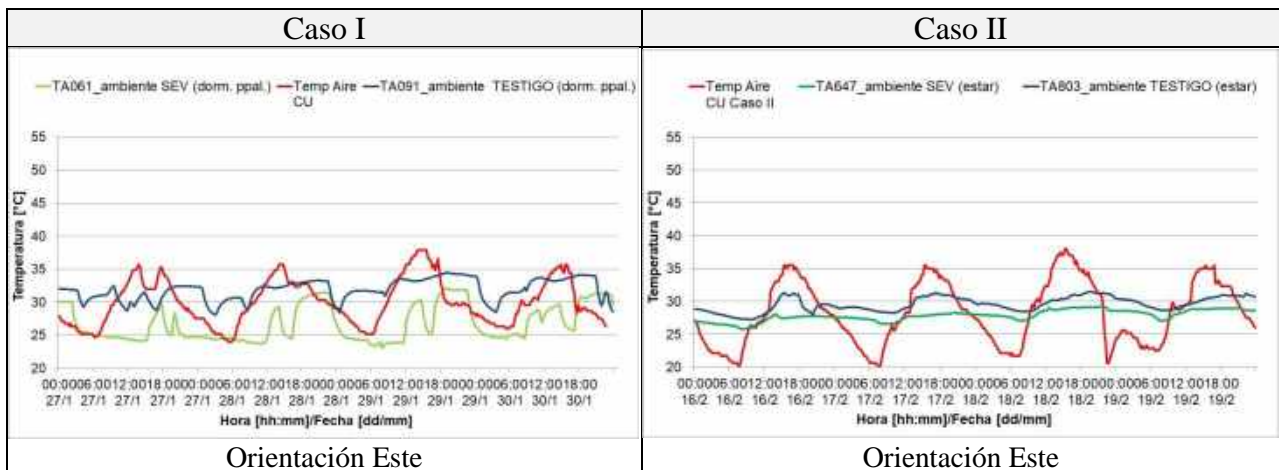


Figura 9 - Diferencia de temperatura ambiente interior entre caso testigo y caso con SEV.

5. 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 la orientación de la fachada en la que se aplica el sistema, como así también respecto a las características de las especies empleadas en los SEV y sus espesores y los contextos de inserción de estos.

Respecto al impacto del SEV de acuerdo con su orientación se observan mayores diferencias térmicas entre envolventes con y sin SEV orientadas al este respecto a aquellas que presentan una orientación norte. Esto probablemente se explica por la menor sollicitación de los muros este al efecto de la radiación solar.

En relación con las especies empleadas y sus espesores, el caso analizado que presenta un SEV conformado por *Parthenocisus Quinquefolia* -caso I- 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. Es necesario destacar que los contextos consolidados y de alta inercia térmica que coinciden con los espacios de la ciudad donde la isla de calor nocturna es de mayor magnitud, son altamente demandantes de nuevas tecnologías de espacios verdes debido a su baja disponibilidad de vacíos urbanos para localizar estructuras verdes tradicionales.

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 desértico 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 (K. J. KONTOLEON, 2010) -3,2 °C vs. 1,04 °C-.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AHMET B. BESIR, ERDEM CUCE, Green roofs and facades: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 82 (2018) 915–939, 2018.
- ALEXANDRI E., JONES P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. **Build Environ.** 43 (3): 480-93, 2008.
- AKBARI, H. et al. Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. **Energy Build** 25, 117–126, 1997.
- BÓRMIDA, E. Mendoza: modelo de ciudad-oasis. **Revista de la Universidad de Mendoza.** 68–71, 1984.
- BUSTAMI, R. Vertical greenery systems: A systematic review of research trends. **Building and Environment** 146. 226–237, 2018
- GILL, et. al. Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. **Built Environment** 33(1):115-133, 2007
- K.J. KONTOLEON, E.A. EUMORFOPOULOU, 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, 2010
- PANASITI, A. **Mendoza en el 2000.** 20, pp. 171, 2000.
- WANG, C. y et. al. Indoor vertical greenery system in urban tropics, **Indoor and Built Environment.** Vol. 25(2) 340–356, 2016
- WONG, N. y et al. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. **Building and Environment** 45, 663-672, 2010.