

# SISTEMAS DE ENVERDECIMIENTO VERTICAL EN CLIMA ÁRIDO. INCIDENCIA DE LAS FACHADAS VERDES EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LOS ESPACIOS CONEXOS

## VERTICAL GREENING SYSTEMS IN ARID CLIMATE. INCIDENCE OF GREEN FACADES ON THE THERMAL BEHAVIOR OF RELATED SPACES

Presentación: 4 y 5 de octubre 2022.

Doctorando:

**Pablo Suárez**

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE - CCT CONICET Mendoza), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional - Argentina.  
suarezpablo91@gmail.com

Directora tesis doctoral:

**Érica Correa**

Dir. Beca Doctoral:

**M. Alicia Cantón**

### Resumen

En el presente informe se describen procesos y resultados actuales de la investigación referidas al estudio de las Fachadas Verdes Tradicionales (FVT). Actualmente se evalúa un ensayo controlado, compuesto por tres muros de estudio de mampostería en orientación oeste, con cámara de aire. Dos de los muros presentan FVT de especies Madreselva y Bignonia, y uno testigo sin cobertura. Se monitorean variables microclimáticas exteriores mediatas; temperatura del aire y temperatura superficial exterior e interior. Se registran disminuciones de hasta 3.5 °C en el entorno inmediato, de hasta 6.2 °C en la temperatura ambiente interior en la cámara de aire, de hasta 17.8 °C en la temperatura superficial exterior, de 7.5 °C en la temperatura superficial interior y diferencias hasta 2.0 °C entre ambas FVT. Estos valores demuestran el potencial de reducción de las FVT de las temperaturas edilicias, y que las magnitudes de dichos impactos dependen de la especie vegetal.

Palabras clave: edificios sustentables, fachadas verdes tradicionales, zonas áridas.

### Abstract

This report describes current research processes and results related to the study of Traditional Green Facades (FVT). A controlled trial is currently being evaluated, consisting of three masonry study walls in west orientation, with an air chamber. Two of the walls have FVT of Honeysuckle and Bignonia species, and one witness without coverage. Mediate external microclimatic variables; air temperature and exterior and interior surface temperature are monitored. Decreases of up to 3.5 °C are recorded in the immediate environment, up to 6.2 °C in the indoor ambient temperature in the air chamber, up to 17.8 °C in the outer surface temperature, 7.5 °C in the interior surface temperature and differences up to 2.0 °C between the two VTTFs. These values demonstrate the potential for reducing the PVF of building temperatures, and that the magnitudes of these impacts depend on the plant species.

Keywords: Sustainable Buildings, Traditional Green Facades, Arid Zones.

## Introducción

Las interacciones entre clima, ecosistemas, incluyendo su biodiversidad, y la sociedad humana son la base de los riesgos que presenta el cambio climático. Ante este escenario, las ciudades de América Latina y el Caribe, donde un 81% de la población reside en áreas urbanas (OLADE, 2021), presentan una alta vulnerabilidad y riesgo (Castellanos et al., 2022). Para restablecer el equilibrio entre entorno natural y hábitat construido, se torna necesario adoptar herramientas que potencien una urbanización sostenible y restauren los ecosistemas degradados. Una estrategia con múltiples beneficios sociales, económicos y ecológicos es la incorporación de “infraestructura verde” a las tramas urbanas.

Los espacios verdes y abiertos son los ámbitos donde los procesos ecológicos se desarrollan en contextos urbanos (Gill et al., 2007). La incorporación de infraestructura verde a la ciudad mitiga el aumento de las temperaturas medias de aire urbanas, aumenta el confort en espacios públicos y reduce el consumo de energía en la edificación. En un clima seco árido se puede disminuir 3.8 °C la temperatura ambiente en un lugar arbolado (Goretti Salas Esparza, 2017). Además, los espacios verdes generan beneficios para la salud y bienestar de los ciudadanos. Actualmente, la densificación de las ciudades condiciona la incorporación de infraestructura verde del tipo tradicional: parques, plazas, arbolado de alineación, etc. En consecuencia, surge la necesidad de implementar nuevas tecnologías de enverdecimiento urbano, como son las cubiertas y muros verdes.

En el campo del desarrollo científico, los Sistemas de Enverdecimiento Vertical (SEV) muestran una tendencia creciente en su relevancia a nivel mundial (Bustami, Belusko, Ward, & Beecham, 2018) (P. Suárez, M. Alicia Cantón, 2018). Además, tienen probada eficiencia en la disminución de las temperaturas exteriores, adyacentes a la cubierta vegetal, e interiores de los espacios habitables 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 y de su orientación, registrando reducciones de temperatura exterior adyacente a la fachada vegetada de entre 0.8 °C y 2.1 °C (Susorova, Azimi, & Stephens, 2014), máximas disminuciones de temperatura superficial exterior del orden de los 34 °C (Suklje, Saso, & Arkar, 2016) en climas del tipo Cfa/Cfb (templado cálidos húmedos, verano caliente), de temperatura ambiente interior del orden de los 5 °C (Haggag, Hassan, & Elmasry, 2014) en climas del tipo BWh (árido desértico, verano caliente), de temperatura ambiente exterior del orden de los 3.3 °C (Wong, Kwang Tan, Tan, Chiang, & Wong, 2010) en climas del tipo Af (Ecuatorial húmedo) y ahorros de energía de hasta 59% (Coma et al., 2017) en climas del tipo Cfa (Subtropical húmedo). En relación al comportamiento de los SEV en climas áridos, los resultados alcanzados son de menor cuantía, dado que las investigaciones son aún incipientes.

El caso de estudio -Ciudad de Mendoza, Argentina-, cuyo clima es del tipo árido desértico (BWk - Köppen-Geiger), muestra una tasa de crecimiento de la superficie urbana del 39.2% en el período 2005-2017, en donde la relación entre espacio construido y espacio verde varía entre 0.55% y 2.31%. Además, la relación entre población urbana y espacios verdes en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) es de 5.2 m<sup>2</sup>/hab. Estos valores reflejan un significativo crecimiento urbano, baja relación entre ambiente natural y construido -respecto a la proporción óptima 1:4 (Panasiti, 1994)-, y que la relación espacio verde por habitante es inferior a lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (10 m<sup>2</sup>/hab). De lo descripto se desprende que es necesario incorporar áreas vegetadas al ambiente construido. Sin embargo, la baja disponibilidad de vacíos urbanos en áreas consolidadas demanda pensar en nuevos conceptos de vegetación tales como techos y paredes verdes.

En este marco, el presente trabajo evalúa la respuesta térmica de una categoría de SEV, las Fachadas Verdes Tradicionales (FVT) dado que se trata de una alternativa de enverdecimiento de bajo costo y simple implementación. En este sentido constituye una estrategia factible para incrementar las áreas verdes en el AMM y potenciar una urbanización sostenible.

## Desarrollo

### Análisis térmico mediante ensayo en condiciones controladas

Se diseñó y construyó un experimento en el área experimental del CCT CONICET, Mendoza, Argentina. El mismo está compuesto por tres muros de ensayo orientados al Oeste (orientación más desfavorable en verano): un muro testigo sin vegetar y dos muros destinados a evaluar el impacto de distintas FVT compuestas por las siguientes especies: Madreselva (Lonicera Japónica) y Bignonia Blanca (Pandorea Jasminoides). Las especies fueron seleccionadas en función de su adaptabilidad al clima local y desarrolladas en estructuras independientes para su posterior adosamiento a los muros. Los mismos responden a la tecnología tradicionalmente utilizada en la región -marco de vigas y columnas de hormigón armado y paredes portantes de ladrillo cocido- con unas dimensiones de 1.3 m de ancho por 2.3 m de alto y 0.17 m de espesor. Los muros han sido aislados, con 0.05 m de poliestireno expandido de alta densidad, en sus caras N, S y E, albergando en esta última orientación una cámara de aire de 0.10 m de espesor.

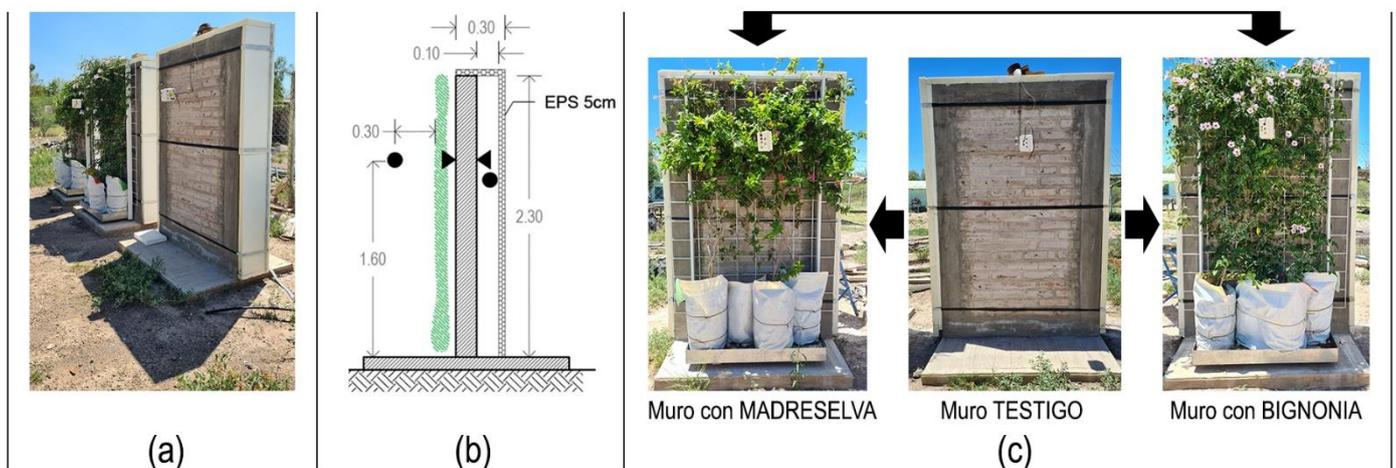


Figura 1: (a) Ensayo en condiciones controladas (b) Ubicación de sensores (c) Muro testigo vs. Muros vegetados y comparación entre especies.

Para la evaluación de la incidencia de la FVT en el comportamiento térmico de las fachadas de orientación oeste, las variables medidas en el ensayo descrito fueron: temperatura, humedad, radiación solar y velocidad de viento en el espacio exterior; temperatura y humedad en el interior de la cámara de aire y temperatura superficial interior y exterior en muros. Los sensores utilizados para medir la temperatura y humedad relativa ambiente fueron del tipo termistor y termocupla. La toma de datos se registró durante 30 días del verano 2021, con un muestreo cada 15 minutos. Para determinar el período de análisis se eligieron cuatro días consecutivos -4/2/21 al 7/2/21- caracterizados por condiciones estables, soleados y de máximas temperaturas del aire. La Fig. 1 muestra el ensayo y la ubicación de los sensores.

Además, la estructura vegetal fue caracterizada mediante el análisis de dos variables: espesor y cobertura. El espesor fue medido en cinco puntos equidistantes, tomando como centro la localización del sensor de temperatura superficial del muro. La cobertura fue estimada a partir de la toma de imágenes fotográficas y procesadas mediante el software MultiSpec a los efectos de determinar la proporción entre vacíos y llenos que representa el grado de cobertura de la especie. Ambas variables fueron evaluadas en el período que se desarrolló el monitoreo del ensayo.

## Resultados

### Caracterización de las especies que conforman las FVT

Los resultados obtenidos de la toma de datos muestran espesor semejante, del orden de 0.26 m para Madreselva y 0.24 m para Bignonia, y cobertura diferente, del orden de 48.7% para Madreselva y 65.2% para Bignonia.

## Impactos térmicos de las FVT

El análisis de resultados se ha realizado a partir de la selección de un día representativo de las condiciones típicas de un día cálido de verano en términos de temperaturas máximas y amplitud térmica. Ver tabla 1.

	Temperatura máxima [°C]	Temperatura mínima [°C]
Día de análisis: 6/2/21	36.5	17.2
Datos históricos más elevados para febrero	38.2	24.5

Tabla 1: Temperatura máxima y mínima: día de análisis e históricos más elevados (1961-2021).

A partir de la comparación de las temperaturas ambiente exteriores entre muro testigo y muros con FVT, monitoreadas a 0.30 m de follaje y pared respectivamente, se observa que la máxima reducción de esta variable corresponde a FVT con MadreSelva, con una magnitud de 3,5 °C a las 18:30 hs. Ver Fig. 2. Las magnitudes encontradas son superiores a las reportadas en la bibliografía internacional para ensayos de características semejantes y en diferentes tipos de climas (Zhang et al., 2019).

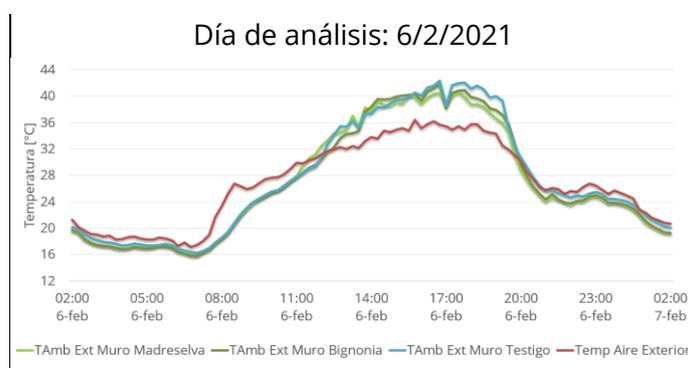


Figura 2: Temperatura ambiente exterior: caso testigo, caso con FVT MadreSelva y caso con FVT Bignonia.

Las temperaturas superficiales exteriores muestran una máxima reducción de 17.8 °C a las 18:30 hs para ambas especies evaluadas respecto al muro testigo. Ver Fig. 3. Estos valores son mayores a los encontrados por Hoelscher et al. (2016) en condiciones de ensayos similares.

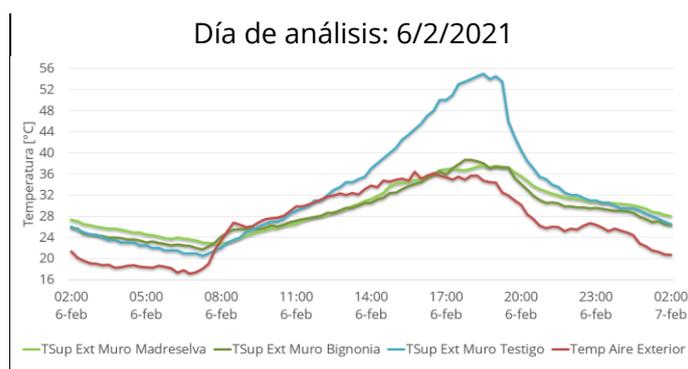


Figura 3: Temperatura superficial exterior: caso testigo, caso con FVT MadreSelva y caso con FVT Bignonia.

Los resultados de la comparación de las temperaturas superficiales interiores muestran una máxima reducción de 7.5 °C a las 21:30 hs para el caso de FVT con Bignonia respecto del caso testigo. Ver Fig. 4. Dichos valores son de mayor magnitud a los reportados, en ensayos de características semejantes y en diferentes tipos de climas, por Hoelscher et al. (2016).

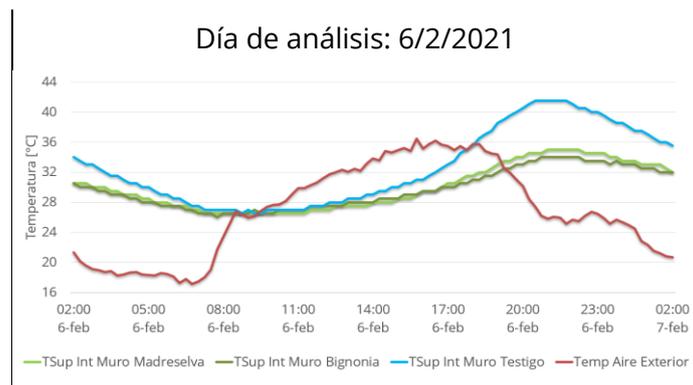


Figura 4: Temperatura superficial interior: caso testigo, caso con FVT MadreSelva y caso con FVT Bignonia.

Las magnitudes de reducción de temperatura ambiente interior -por efecto del uso de FVT-, entre muro con FVT y muro testigo, alcanzan una diferencia máxima de 6,2 °C a las 21:30 hs para el muro cubierto con Bignonia. Ver Fig. 5. Las magnitudes halladas son superiores a las encontradas por Kontoleon & Eumorfopoulou (2010).

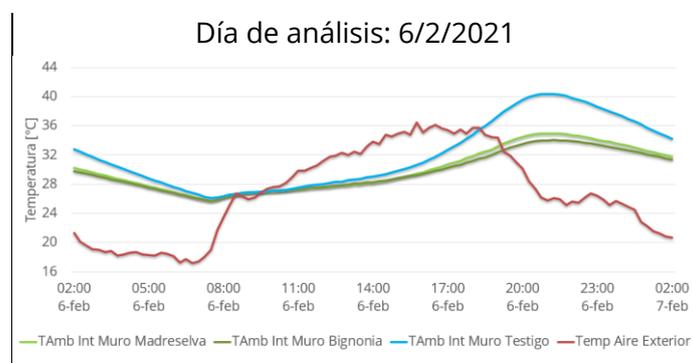


Figura 5: Temperatura ambiente interior: caso testigo, caso con FVT MadreSelva y caso con FVT Bignonia.

## Impactos térmicos por el uso de distintas especies en la conformación de la FVT

El tipo de especie empleada tiene diferente efecto sobre la magnitud de reducción de temperaturas producidas por el uso de FVT en verano. Estas diferencias entre estructuras vegetales alcanzan un valor de 3.5 °C en la temperatura ambiente exterior a 30 cm de la FVT, de 2.0 °C en la temperatura superficial exterior, de 1.5 °C en la temperatura superficial interior y de 1.2 °C en la temperatura ambiente interior. Estas máximas diferencias de temperatura del aire y superficial exterior están asociadas al espesor de la especie, en donde la FVT vegetada con MadreSelva es un 8% superior. En relación a las temperaturas superficial y del aire interior, las mayores diferencias se relacionan con la cobertura de la especie, en donde la FVT vegetada con Bignonia es un 33% mayor.

## Conclusiones

Los resultados encontrados muestran el potencial de esta tecnología de enverdecimiento para disminuir temperaturas exteriores e interiores, con sus consecuentes beneficios a escala urbana y edilicia. Además, validan los alcanzados en etapas previas de esta investigación (Suárez et al., 2020), y la mayor eficiencia de la aplicación de la estrategia en climas áridos que resultan de la comparación de los valores alcanzados en este trabajo en relación a la literatura científica internacional.

Por último, las diferencias halladas entre las FVT conformadas por distintas especies -Bignonia y MadreSelva- indicarían la importancia que adquiere la selección de las mismas para potenciar los beneficios de la estrategia tanto a escala urbana como edilicia. En etapas futuras, dichos resultados serán corroborados mediante el análisis de un conjunto mayor de especies para validar su impacto en el comportamiento térmico de la envolvente edilicia, y espacios conexos, en la estación cálida.

## Referencias

- Bustami, R. A., Belusko, M., Ward, J., & Beecham, S. (2018). Vertical greenery systems : A systematic review of research trends. *Building and Environment*, 146(August), 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.045>
- Castellanos, E. J., Lemos, M. F., Astigarraga, L., Chacón, N., Cuvi, N., Huggel, C., Miranda, L., Vale, M. M., Ometto, J. P., Peri, P. L., Postigo, J. C., Ramajo, L., Roco, L., Rusticucci, M., Menezes, J. A., Borges, P., Bueno, J., Cuesta, F., Drenkhan, F., ... Valladares, M. (2022). IPCC WGII Sixth Assessment Report. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1–181. [https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_FinalDraft\\_Chapter12.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_Chapter12.pdf)
- Coma, J., Pérez, G., de Gracia, A., Burés, S., Urrestarazu, M., & Cabeza, L. F. (2017). Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. *Building and Environment*, 111, 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.014>
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Goretti Salas Esparza, M. (2017). LA VEGETACIÓN COMO SISTEMA DE CONTROL PARA LAS ISLAS DE CALOR URBANO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA. *Revista Hábitat Sustentable*, 7, Págs. 14-23. <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.01.02>
- Haggag, M., Hassan, A., & Elmasry, S. (2014). Experimental study on reduced heat gain through green façades in a high heat load climate. *Energy and Buildings*, 82, 668–674. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.087>
- Hoelscher, M. T., Nehls, T., Jänicke, B., & Wessolek, G. (2016). Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. *Energy and Buildings*, 114, 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.047>
- Kontoleon, K. J., & Eumorfopoulou, E. A. (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(5), 1287–1303. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.11.013>
- P. Suárez, M. Alicia Cantón, É. N. C. (2018). IMPACTO DE SISTEMAS DE ENVERDECIMIENTO VERTICAL EN EL COMPORTAMIENTO TERMO-ENERGÉTICO DE ESPACIOS URBANO EDIFICIOS. ANÁLISIS CRÍTICO DEL ESTADO DEL ARTE. Acta de La XLI Reunión de Trabajo de La Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, 6(1), 83–94.
- Suárez, P., Correa, É., & Cantón, M. A. (2020). TECNOLOGIAS VERDES DE APLICACIÓN EN ENVOLVENTES VERTICALES EN ZONAS ÁRIDAS. EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y AMBIENTAL. AJEA - Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN, 5. <https://doi.org/https://doi.org/10.33414/ajea.5.786.2020>
- Suklje, T., Saso, M., & Arkar, C. (2016). On detailed thermal response modeling of vertical greenery systems as cooling measure for buildings and cities in summer conditions. 115, 1055–1068. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.095>
- Susorova, I., Azimi, P., & Stephens, B. (2014). The effects of climbing vegetation on the local microclimate, thermal performance, and air infiltration of four building facade orientations. *Building and Environment*, 76, 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.011>
- Wong, N. H., Kwang Tan, A. Y., Tan, P. Y., Chiang, K., & Wong, N. C. (2010). Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45(2), 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.017>
- Zhang, L., Deng, Z., Liang, L., Zhang, Y., Meng, Q., & Wang, J. (2019). Energy & Buildings Thermal behavior of a vertical green facade and its impact on the indoor and outdoor thermal environment. 204. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109502>