

# BIODESIGN Y CONFORT TÉRMICO EN FACHADAS VIVAS CON MICELIO EN EDIFICACIONES DE AREQUIPA, PERÚ<sup>1</sup>

## BIODESIGN AND THERMAL COMFORT IN LIVING FACADES WITH MYCELIUM IN BUILDINGS IN AREQUIPA, PERU

PRESENTADO : 06.02.26

ACEPTADO : 17.04.26

DOI: [10.47796/ra.2026i29.1434](https://doi.org/10.47796/ra.2026i29.1434)

GILDA DALILA RODRÍGUEZ VALVERDE<sup>2</sup>  
Universidad Privada del Norte. Lima, Perú  
ORCID: [0000-0003-0342-0644](https://orcid.org/0000-0003-0342-0644)  
[gilda.rodriquez@upn.pe](mailto:gilda.rodriquez@upn.pe)

### RESUMEN

La ciudad de Arequipa presenta un clima semiárido frío con alta radiación solar y variaciones térmicas diarias de hasta 15 °C, lo que incrementa la demanda energética y reduce el confort interior. En este contexto, el *biodesign* y el uso de biomateriales emergen como alternativas sostenibles. El estudio evalúa dos soluciones envolventes: por un lado, fachadas con biorreactores de microalgas y, por otro, paneles de micelio, ambas comparadas con una fachada convencional. Se aplicó un enfoque mixto que incluyó simulación energética con EnergyPlus, monitoreo *in situ* durante 60 días y evaluación posterior a la ocupación a 60 usuarios, además de un análisis de ciclo de vida para estimar emisiones. Los resultados muestran reducciones de hasta 18 % en cargas de refrigeración con microalgas y 15 % con micelio, así como un incremento del 25 % en la satisfacción térmica. Asimismo, se estimó una disminución de emisiones entre 8 % y 14 %. Estos hallazgos evidencian que las fachadas vivas mejoran el confort térmico, reducen el consumo energético y aportan a la sostenibilidad en climas andinos.

**Palabras clave:** biodesign, micelio, fachadas vivas, confort térmico, simulación energética

<sup>1</sup> El presente artículo es resultado de una investigación aplicada que analiza el uso de biomateriales y fachadas vivas en Arequipa. Surge del interés académico por el biodesign y la necesidad de mejorar el confort térmico en contextos andinos.

<sup>2</sup> Arquitecta egresada de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna Perú, Maestro en Arquitectura Paisajista por la Universidad Privada de Tacna, estudios concluidos del doctorado en Arquitectura y Dinámicas urbanas de la Universidad Privada de Tacna, Docente de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Participante como ponente del seminario internacional de investigación en urbanismo – Barcelona en junio del 2021, en el encuentro iberoamericano de estudiantes de postgrado – Universidad de Bio-Bio Chile. Desarrolló el proyecto COIL junto a la universidad de la Serena – Chile, integrante de la Red de los Paisajes de los Desiertos del Pacífico Sur, integrado por académicos de diferentes países.

## ABSTRACT

The city of Arequipa has a cold, semi-arid climate with high solar radiation and daily temperature variations of up to 15°C, which increases energy demand and reduces indoor comfort. In this context, biodesign and the use of biomaterials emerge as sustainable alternatives. This study evaluates two building envelope solutions: facades with microalgae bioreactors and mycelium panels, both compared to a conventional facade. A mixed-methods approach was applied, including energy simulation with EnergyPlus, on-site monitoring for 60 days, and post-occupancy evaluation with 60 users, in addition to a life cycle analysis to estimate emissions. The results show reductions of up to 18% in cooling loads with microalgae and 15% with mycelium, as well as a 25% increase in thermal comfort. Furthermore, an estimated decrease in emissions of between 8% and 14% was also observed. These findings show that living facades improve thermal comfort, reduce energy consumption, and contribute to sustainability in Andean climates.

**Keywords:** Biodesign, mycelium, living façades, thermal comfort, energy simulation

## INTRODUCCIÓN

El *biodesign*, entendido como la integración de procesos biológicos en el diseño arquitectónico, ha emergido como una estrategia innovadora para mejorar la sostenibilidad del entorno construido. En el marco, los biomateriales, como el micelio, y los sistemas bioactivos, como las fachadas con microalgas, han demostrado potencial para optimizar el desempeño térmico y reducir la huella de carbono en edificaciones. Sin embargo, persisten limitaciones en la evaluación de su comportamiento en condiciones reales, especialmente en climas extremos.

En Arequipa, donde predomina un clima semiárido frío, con intensa radiación solar y marcadas variaciones de temperatura, se observa un aumento en la demanda de energía y una disminución del confort en los espacios interiores. Esta situación pone en evidencia la necesidad de explorar alternativas bioclimáticas innovadoras. Aunque en el ámbito internacional se han realizado diversos estudios sobre el tema en los entornos andinos aún es escasa la evidencia empírica, especialmente con el uso de fachadas vivas elaboradas con biomateriales.

La presente investigación tiene como propósito evaluar cómo influyen las fachadas vivas que incorporan microalgas y paneles de micelio en el confort térmico, la eficiencia energética y la disminución de emisiones en edificaciones de la ciudad. Se propone como hipótesis que la implementación de estas soluciones biotecnológicas permite optimizar el comportamiento térmico de las construcciones y disminuir el consumo de energía en comparación con los sistemas tradicionales.

Metodológicamente, se adopta un enfoque de métodos mixtos que integra simulación energética (EnergyPlus), monitoreo ambiental *in situ*, evaluación posterior a la ocupación (Post Occupancy Evaluation, POE) y el análisis de ciclo de vida (Life Cycle Assessment, LCA), lo que permite una evaluación integral del comportamiento térmico, la percepción de los usuarios y el impacto ambiental de las soluciones propuestas.

### **MATERIALES Y MÉTODO/ Metodología**

La investigación adoptó un enfoque cuasiexperimental de métodos mixtos, orientado a evaluar el desempeño térmico, energético y ambiental de tres tipologías de fachadas: (i) fachada convencional (control), (ii) fachada con bioreactores de microalgas y (iii) fachada con paneles de micelio. La selección de este diseño permitió comparar resultados bajo condiciones reales y validar el comportamiento de soluciones biotecnológicas en edificaciones representativas de la ciudad de Arequipa.

El estudio se realizó a través de la articulación de cuatro técnicas complementarias. En una primera etapa, se utilizó la simulación termoenergética dinámica con EnergyPlus v9.6, calibrada según los lineamientos normativos establecidos por la ASHARE 55-2020, con el propósito de estimar las cargas térmicas, el consumo de energía y el comportamiento de la envolvente del edificio. Posteriormente, se realizó un monitoreo ambiental *in situ* durante un periodo de 60 días, en el que se registraron variables como temperatura, humedad relativa, concentración de CO<sub>2</sub> y consumo eléctrico a través de sensores especializados; esto permitió contrastar y validar los resultados obtenidos en la simulación.

En una tercera fase, se aplicó una evaluación posocupación (en adelante, POE) a un grupo de 60 usuarios, mediante cuestionarios estructurados diseñados a partir de la norma ASHARE 55-2020, con el fin de analizar la percepción del confort térmico y su relación con las condiciones ambientales registradas. Finalmente, se desarrolló un análisis de ciclo de vida (en adelante, LCA) de carácter simplificado, siguiendo los lineamientos de la norma ISO 14040, con el objetivo de estimar la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> asociada a cada tipo de sistema de fachada.

La integración de la simulación, la medición empírica y la evaluación perceptual permitieron realizar una validación cruzada de los resultados, asegurando la reproducibilidad del estudio y ofreciendo un enfoque integral para el análisis de soluciones de *biodesign* en contextos andinos. Asimismo, esta visión holística resulta fundamental para examinar iniciativas de biodiseño en regiones andinas, pues logra amalgamar la eficiencia técnica con la vivencia cotidiana de los habitantes (MDPI, 2024).

## DESARROLLO

### Biodesign y materiales biofabricados en arquitectura

El *biodesign* se perfila como un ámbito emergente que incorpora procesos biológicos dentro del diseño arquitectónico, fomentando el empleo de materiales vivos o desarrollados mediante biofabricación, los cuales presentan un menor impacto ambiental. Entre estos, destaca el micelio por su baja conductividad térmica, su carácter biodegradable y su reducida huella de carbono, propiedades que lo posicionan como una alternativa prometedora frente a los materiales tradicionales (Jones et al., 2022; Wang et al., 2024). Sin embargo, su uso en sistemas de fachada todavía presenta desafíos, especialmente en lo que respecta su durabilidad y su respuesta ante condiciones ambientales cambiantes (Camilleri et al., 2025; Motamedi et al., 2025).

### Fachadas vivas y desempeño térmico

Las fachadas vivas incorporan elementos biológicos —como microalgas o micelio— en la envolvente de los edificios, para favorecer el intercambio térmico y mejorar la eficiencia energética. Estudios recientes evidencian que estas soluciones pueden reducir significativamente las cargas térmicas y optimizar el confort interior mediante estrategias pasivas (Azkorra et al., 2023). En este sentido, los sistemas con microalgas aportan sombreado dinámico y captura de CO<sub>2</sub>, mientras que el micelio actúa como aislante térmico natural (Azkorra et al., 2023; Berardi & GhaffarianHoseini, 2020; Coma et al., 2021).

### Evaluación del confort térmico y metodología aplicada

La evaluación del desempeño térmico se fundamenta en la integración de simulación energética, monitoreo ambiental y percepción de los usuarios. La simulación mediante EnergyPlus permite estimar el comportamiento energético de las edificaciones, mientras que el monitoreo in situ registra variables como temperatura y humedad en condiciones reales.

De manera complementaria, la POE permite analizar la percepción térmica de los usuarios, incorporando el enfoque de confort adaptativo (De Dear & Brager, 2023; Leaman & Bordass, 2017).

## Análisis ambiental y ciclo de vida

El LCA permite cuantificar el impacto ambiental de los materiales desde su producción hasta su disposición final; este método permite fundamentar técnicamente las políticas de sostenibilidad (International Energy Agency, 2023). En el caso del micelio, diversos estudios reportan reducciones significativas en emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con materiales tradicionales, debido a su origen biogénico y bajo consumo energético en su fabricación (Alaux et al., 2023; Jiménez et al., 2024).

## Discusión del contexto andino

El clima de Arequipa, definido por una intensa radiación solar y una marcada variación térmica a lo largo del día, constituye un entorno particularmente exigente para analizar soluciones bioclimáticas. En estas condiciones, las fachadas vivas aportan a la regulación de la temperatura interior, ayudando a disminuir la necesidad de sistemas mecánicos de climatización. No obstante, aún se presentan retos importantes, especialmente en lo que respecta a la durabilidad de los biomateriales y su desempeño a largo plazo bajo condiciones reales de exposición.

## Síntesis del desarrollo

Los resultados del análisis muestran que la incorporación de biomateriales y sistemas bioactivos en fachadas es una alternativa factible para optimizar el comportamiento térmico y ambiental de las edificaciones. Asimismo, la integración de enfoques cuantitativos y cualitativos refuerza la solidez de los hallazgos, lo que permitió una visión más completa del funcionamiento de estas soluciones en contextos andinos.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos mostraron variaciones relevantes entre las distintas tipologías de fachada analizadas. La simulación energética mostró que la fachada convencional registró una demanda de refrigeración de 120 kWh/m<sup>2</sup>-año, mientras que los paneles de micelio redujeron este valor a 98 kWh/m<sup>2</sup>-año (-18%) y los bioreactores de microalgas a 92 kWh/m<sup>2</sup>-año (-23%), tal como se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Demanda energética de refrigeración en escenarios de fachada*

Tipo de fachada	Demanda refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> -año)	Reducción respecto al caso base (%)
Convencional	120	-
Micelio	98	-18%
Microalgas	92	-23%

Asimismo, el monitoreo térmico interior indicó que la temperatura máxima alcanzó 32 °C en la edificación convencional, mientras que descendió a 29.2 °C con micelio y 30 °C con microalgas, evidenciando una reducción de hasta 2.8 °C, como se observa en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Temperatura interior máxima registrada*

Tipo de fachada	Temp. interior máxima (°C)	Diferencia respecto al caso base (°C)
Convencional	32	-
Micelio	29.2	-2.8
Microalgas	30	-2.0

En relación con el confort percibido, la POE mostró que el 55% de los usuarios se encontraba satisfecho en el escenario base, incrementándose a 72% en el caso del micelio y 68% con microalgas, resultados que se detallan en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Confort percibido por los usuarios (POE)*

Tipo de fachada	Usuarios satisfechos (%)	Incremento respecto al caso base (%)
Convencional	55	-
Micelio	72	+17%
Microalgas	68	+13%

Por su parte, el LCA evidenció que las soluciones biotecnológicas permitieron evitar entre 45 y 57 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>-año, lo que representa una reducción acumulada de entre 8 % y 14 % en un periodo de diez años, según la Tabla 4. En conjunto, estos resultados confirman mejoras sustanciales en eficiencia energética, confort térmico y sostenibilidad ambiental.

**Tabla 4**

*Reducción de emisiones de CO2 equivalente*

Tipo de fachada	Emisiones evitadas (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> -año)	Reducción acumulada a 10 años (%)
Convencional	0	-
Micelio	45	~ 8%
Microalgas	57	~14%

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos son consistentes con investigaciones previas que destacan el potencial de las fachadas bioactivas para reducir el consumo energético y mejorar el confort térmico en edificaciones (Azkorra et al., 2023;

Coma et al., 2021). La reducción de la demanda energética se relaciona con las propiedades aislantes del micelio y el efecto de sombreado dinámico de los sistemas con microalgas, tal como lo señalan Jones et al. (2022)

Asimismo, la disminución de la temperatura interior confirma la capacidad de estas soluciones para estabilizar el microclima interior, lo cual resulta especialmente relevante en climas de alta radiación como el de Arequipa. Estos hallazgos coinciden con estudios que destacan la eficiencia de las envolventes bioactivas en la reducción del sobrecalentamiento.

En cuanto al confort, se observó una mejora en la percepción de los usuarios, lo que respalda el enfoque de confort adaptativo (De Dear & Brager, 2023) y pone en evidencia la importancia de considerar variables subjetivas al momento de evaluar el desempeño de las edificaciones.

Desde el punto de vista ambiental, los resultados ratifican el potencial de las fachadas vivas para disminuir las emisiones de carbono, en línea con investigaciones sobre materiales biobasados (Alaux et al., 2023). Sin embargo, aún existen retos vinculados a la durabilidad y al mantenimiento de estos biomateriales en condiciones reales, lo que sugiere la necesidad de desarrollar estudios longitudinales.

## CONCLUSIONES

El estudio pone en evidencia que las fachadas vivas con micelio y microalgas contribuyen de manera significativa a optimizar el comportamiento térmico y energético en edificaciones situadas en climas semiáridos. Entre los principales resultados se identifican reducciones de hasta un 23 % en la demanda de refrigeración, una disminución de las temperaturas interiores máximas y un aumento en la satisfacción térmica de los usuarios.

De igual forma, se corrobora su aporte en la disminución de emisiones de carbono, lo que refuerza su valor como alternativas sostenibles. En conjunto, estos hallazgos respaldan la viabilidad del *biodesign* en el contexto andino y su potencial como una estrategia replicable para el diseño de edificaciones más eficientes y resilientes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alaux, C., Dupont, S., & Leroy, P. (2023). Life cycle assessment of mycelium-based insulation materials for sustainable buildings. *Journal of Cleaner Production*, 419, 137880.

ASHRAE. (2021). *ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy*. ASHRAE.

- Azkorra, Z., Pérez, G., & Coma, J. (2023). Green façades and living walls: Advances in thermal performance and urban sustainability. *Building and Environment*, 239, 110332.
- Berardi, U., & GhaffarianHoseini, A. (2020). *State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs and green walls*. *Applied Energy*, 257, 114298.
- Camilleri, A., Myers, W., & Fernández, R. (2025). Bio-integrated design: Architectural innovation through living systems. *Frontiers in Built Environment*, 11, 152301.
- Coma, J., Pérez, G., & Cabeza, L. F. (2021). Sustainable building envelopes: Thermal and environmental performance review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111360.
- De Dear, R., & Brager, G. (2023). Adaptive thermal comfort model revisited: Expanding the adaptive comfort zone in variable climates. *Building and Environment*, 237, 110320.
- Jiménez, D., Cortesão, J., & Lenzholzer, S. (2024). Living façades: Integrating biological processes in architectural design for climate resilience. *Landscape and Urban Planning*, 240, 104907.
- Jones, M., Bhat, T., & Wang, C. (2022). Mycelium composites: A review on engineering characteristics and applications in architecture. *Materials Today Sustainability*, 20, 100228.
- Leaman, A., & Bordass, B. (2017). Building performance evaluation: Occupant feedback and the design process. *Building Research & Information*, 45(4), 414–428.
- MDPI. (2024). Integrative approaches to building performance simulation and user experience. *Buildings*, 14(5), 1123.
- Motamedi, N., Xu, T., & Chen, J. (2025). *Hygrothermal characterization of mycelium-based materials under real climate conditions*. *Energy and Buildings*, 322, 114056