

Tecnología de naturación vertical y su efecto en el confort térmico en edificaciones comerciales de Lima

Vertical naturation technology and its effect on comfort thermal in commercial buildings in Lima

Recibido: agosto 10 de 2024 | Revisado: octubre 16 de 2024 | Aceptado: noviembre 08 de 2024

FREDY PORFIRIO CONDORI HUAMÁN¹

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar los efectos de la naturación vertical en el confort térmico, dentro de la edificación comercial Centro Lima, ubicada en el distrito de Lima, utilizando la mini estación meteorológica Kestrel 5500 y registradores de temperatura y humedad, con la finalidad de proponer la naturación vertical (jardines verticales) en el interior de edificaciones comerciales de Lima Metropolitana. Para ello, se utilizó un diseño experimental piloto y se llegó a las siguientes conclusiones: las condiciones ambientales de confort térmico dentro de la edificación comercial investigada no cumplen con las disposiciones mínimas de seguridad y salud en lugares de trabajo ya que exceden los niveles de temperatura y existe una baja humedad, con escasa velocidad del viento. La naturación vertical instalada incide, favorablemente, en el confort térmico dentro de la edificación comercial, regulando los parámetros básicos y ubicándolos dentro de las disposiciones mínimas de seguridad y salud en lugares de trabajo.

Palabras clave: Naturación vertical, edificación comercial, confort térmico

ABSTRACT

The purpose of this research was to analyze the effects of vertical nature on thermal comfort, within the Centro Lima commercial building, located in the district of Lima, using the Kestrel 5500 mini weather station and temperature and humidity recorders, with the purpose of proposing vertical nature (vertical gardens) inside commercial buildings of Metropolitan Lima. For which a pilot design was used, reaching the following conclusions: the environmental conditions of thermal comfort within the commercial building under investigation do not comply with the minimum safety and health provisions in workplaces, since they exceed the temperature levels and there is low humidity with low wind speed. The installed vertical nature favorably affects thermal comfort within the commercial building, regulating the basic parameters and placing them within the minimum health and safety regulations in workplaces.

Keywords: Vertical nature, commercial building, thermal comfort

¹ Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú

Autor de correspondencia:
ing.fredycondori@gmail.com

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://doi.org/10.24265/campus.2024.v29n38.10>

Introducción

En la actualidad, ya no puede negarse la conexión entre el uso de un edificio como lugar de trabajo o vivienda y la aparición de enfermedades, siendo la contaminación de diversos tipos presente en el edificio o mala calidad del aire en interiores, la principal responsable. Los efectos adversos de esta deficiente calidad del aire en espacios cerrados afectan a muchas personas, ya que se ha demostrado que los habitantes de las ciudades pasan entre el 58 y el 78 % de su tiempo en un ambiente interior que se encuentra contaminado en mayor o menor grado (Guardino, 2003).

La calidad del aire que respiramos incide de manera significativa en nuestra calidad de vida, por lo que resulta la causante de muchas enfermedades respiratorias que afectan nuestra salud y confort. En la presentación de la Guía de Calidad del Aire Interior, se describe que, en algunas ocasiones, es dentro de las edificaciones donde la contaminación del aire es superior, llegando a ser hasta cinco veces más contaminado que en el exterior (Comunidad de Madrid, 2016).

Cabrera & Salazar, (2016), plantearon mejorar el confort termo higrométrico en ambientes cerrados, a través de la implementación de dos prototipos de jardines verticales, uno conformado por helechos y otro por una asociación de plantas, para lo cual realizaron el registro de las condiciones ambientales con el equipo Questem p° 34, por cinco días, para un volumen de la cabina de 15,35 m³ y una área de 4 m² de jardín, llegando a las siguientes conclusiones: la especie helechos (*Nephrolepis exaltada*) en el prototipo

de jardín vertical obtuvo una mejor adaptación, días después del trasplante en el prototipo de jardín vertical creciendo y existiendo nueva brotes de ramas en los 10, 25 y 40 días.

Se concluye que es una planta excelente en eliminar ciertas sustancias contaminantes de Formaldehído en interiores determinado por la NASA (National Aeronautic and Space Administration).

Según Rivera, (2018), en su investigación titulada “Efecto de la aplicación de un jardín vertical, en la mejora de las condiciones ambientales en la I.E Francisco Tejada Rojas, Moyobamba – 2017” tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de un jardín vertical en la mejora de las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa en la institución educativa, basada en un diseño experimental posttest con grupo de control. El 22° grupo experimental es el que recibe la influencia de las variables de las condiciones ambientales como: Temperatura y humedad relativa, y el grupo control sirve de como referencia para apreciar las variaciones que se produzcan en el grupo anterior, llegando a las siguientes conclusiones, la aplicación de un jardín vertical ha permitido generar la mejora de las condiciones ambientales en la I.E “Francisco Tejada Rojas”, Moyobamba – 2017, puesto que en los resultados obtenidos se observa una diferencia significativa entre el grupo de control y experimental.

La aplicación de un jardín vertical, produce un 29% de la variación en la humedad; esto se establece puesto que la variación de las medias para el grupo control: 70.8±6.53 mientras que el grupo

experimental: 67 ± 5.88 , por lo tanto, se concluye que la aplicación del jardín vertical es favorable para la reducción de la humedad. La aplicación de un jardín vertical, produce un 17% de la variación pues las diferencias de las medias son mostradas: grupo de control: 23.07 ± 1.54 ; experimental: 21.28 ± 1.27 , por lo tanto, la aplicación del jardín vertical es favorable para el mejoramiento de las condiciones ambientales puesto que reduce la temperatura en el grupo control.

Según Shafiee *et al.* (2020), en su investigación titulada “Evaluación del efecto de los sistemas de muros vivos en la mejora del fenómeno de las islas de calor urbanas”, el cual tuvo como objetivo de esta investigación es estudiar el efecto de una pared viva de panel sobre la temperatura del aire ambiente y su efecto en la reducción de las fluctuaciones de temperatura diurnas y nocturnas. Se ha introducido un muro habitable como forma adecuada de reducir lo urbano isla calor fenómeno. Para lograr el propósito, se aplicó una pared viva al cuerpo de una cámara controlable y se utilizaron dos registradores de datos de temperatura y humedad. En el primer experimento se comparan tres tipos de muros, incluido un muro sin plantas, un muro con paneles y un muro vivo, durante tres días consecutivos.

En el segundo experimento, se coloca un dispositivo adyacente a la pared viva y otro en las mismas condiciones frente a una parte de la pared que no tiene plantas. Estos datos se registraron durante 24 h al día durante 10 días y se compararon. Para validar los resultados se utilizó una simulación por computadora con el programa ENVI-met. Los resultados muestran que el sistema de pared viva del

panel puede reducir la temperatura del aire ambiente hasta en $8,7$ °C. Además, la pared viva reduce las fluctuaciones de temperatura al disminuir las temperaturas máximas y aumentar las mínimas del aire ambiente. Durante las horas de radiación solar, la temperatura bajó una media de $2,59$ °C. Se concluye que los muros habitables pueden mejorar efectivamente lo urbano isla calor fenómeno por reducir su entorno’ temperaturas

Susca, *et al.* (2022), en su investigación titulada “Efecto de la instalación de muros verdes en la isla de calor urbana y el uso de energía en los edificios: una revisión sistemática de la literatura basada en el clima”, a través de análisis realizados demostraron que las paredes verdes, pueden reducir la demanda de energía de calefacción y refrigeración de los edificios hasta un 16,5% y 51%, respectivamente, y mitigar el fenómeno de isla de calor urbano (UHI) hasta 5 °C en todas las zonas climáticas investigadas; puede disminuir en mayor medida las necesidades energéticas del edificio cuando se aplica en contextos urbanos de baja densidad donde se pueden instalar en todo el edificio. Además, cuando se aplica a un sencillo fachada, se debe preferir la orientación sur en la mayoría de las zonas climáticas para maximizar ahorro energético en edificios; tiene el mejor potencial de mitigación de UHI—hasta 8 °C— en áreas altamente urbanizadas con calles estrechas rodeadas de edificios de gran altura.

Cardinali *et al.* (2023), en su investigación titulada “Muros verdes y salud: una revisión general”, encontraron pruebas sólidas y consistentes de que los muros verdes pueden mitigar los efectos de la isla de calor urbana (temperatura

de la superficie diurna: $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-31,9^{\circ}$, temperatura del aire diurno: $-0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-8,7\text{ }^{\circ}\text{C}$), la contaminación atmosférica (PM_{2,5}: -25% a -99% , PM₁₀: -23% a -60%) y la contaminación acústica (nivel de presión acústica: -1dBA a -5dBA). Se encontraron algunas pruebas de efectos de reducción del riesgo de catástrofes y de restauración.

De acuerdo con Suárez *et al.* (2024), en su investigación titulada “Evaluación de estrategias de enverdecimiento vertical en clima árido: el caso de las fachadas verdes”, el cual tuvo como objetivo evaluar el desempeño térmico de fachadas verdes tradicionales (FVT) sembradas con especies trepadoras perennes, en la estación de verano, en el Área Metropolitana de Mendoza, Argentina, localizada en un clima árido. Para ello, se monitorearon, durante un periodo de 30 días, temperaturas del aire exterior en el microclima mediato e interior en una cámara de aire, y superficiales exteriores e interiores, en un ensayo experimental. Dicho ensayo está compuesto por tres muros de mampostería, dos con FVT y el restante testigo sin cobertura vegetal, orientados al oeste y aislados en sus caras N, S y E; en esta última orientación alberga un recinto de aire. Se hallaron reducciones de temperatura de $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ del aire del entorno exterior a 30 cm del muro, de $6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la cámara de aire interior, de $17,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la superficie de la cara exterior, de $7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la superficie de la cara interior y hasta $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ de variación entre las FVT con distintas especies vegetales. Estos valores demuestran el potencial de la aplicación de la estrategia sobre las temperaturas en su entorno mediato y los espacios interiores.

En nuestra ciudad (Lima), la deficiencia de áreas verdes, ha ocasionado entre otros problemas ambientales y sociales, una significativa reducción en la capacidad del medio natural para limpiar el ambiente de los agentes contaminantes producidos por el medio urbano, sus medios de transporte y su industria. Paralelo a esta situación, al disminuir la cantidad de áreas verdes se ha reducido la cantidad de absorción de rayos solares por la vegetación deviniendo en un incremento en la temperatura debido a la liberación nocturna de la energía calórica absorbida durante el día por las construcciones y superficies impermeables, generando cambios en el clima y microclima de la ciudad (Condori, 2019).

La presente investigación tiene como objetivo analizar los efectos de la tecnología de naturación vertical para el confort térmico en edificaciones comerciales del distrito de Lima.

Método

Esta investigación se basa en la aplicación del método científico. Considera un diseño experimental, de tipo cuantitativo y de nivel aplicativo, el mismo que se realizó utilizando el método no probabilístico a juicio del investigador. Se seleccionó la edificación comercial “Centro Lima”, ubicada en la Av. Bolivia 148 Urb. Cercado de Lima, con un área de $9\ 540\text{ m}^2$ y un aforo para 3250 personas en sus cuatro niveles. Entre las actividades más importantes están: Talleres de gigantografías, imprentas, viniles, fotocopias y ploteos.

La primera fase, consistió en evaluar las condiciones ambientales del confort térmico basado en las

disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo¹, para edificaciones comerciales del distrito de Lima; la segunda fue desarrollar un sistema piloto de jardín vertical (panel naturado), para interiores de edificaciones comerciales, considerando el diseño en AutoCAD, utilizando materiales de PCV y del sistema de riego tecnificado, para su implementación; así mismo, en la tercera fase se analizó la incidencia de la naturación vertical piloto, en el confort térmico de edificaciones comerciales, para lo cual se instaló el panel naturado (jardín vertical) dentro de la edificación (área de estudio seleccionado) y posteriormente se realizaron las mediciones de los parámetros de confort térmico en el área

con panel naturado y el área sin panel naturado, utilizando un registrador de temperatura y humedad y una mini estación meteorológica.

Resultados

Condiciones ambientales del confort térmico en la edificación comercial

La evaluación de las condiciones ambientales del confort térmico se realizó utilizando una miniestación meteorológica (Kestrel 5500) y un sensor de temperatura y humedad relativa (RHT-10 Versión 5.6) en las áreas seleccionadas dentro de la edificación comercial.

Tabla 1

Resultados de las condiciones ambientales 26 /01/2019

Horas	Temperatura °C	Humedad %	Velocidad m/s
12:00	29.2	55.7	0
13:00	28.7	58.3	0
14:00	28.6	56.9	0
15:00	28.8	60.1	0
16:00	28.6	62.7	0
17:00	28.6	62.2	0
18:00	28.4	58.5	0,02

1 **Real Decreto 486/1997, Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, España.**

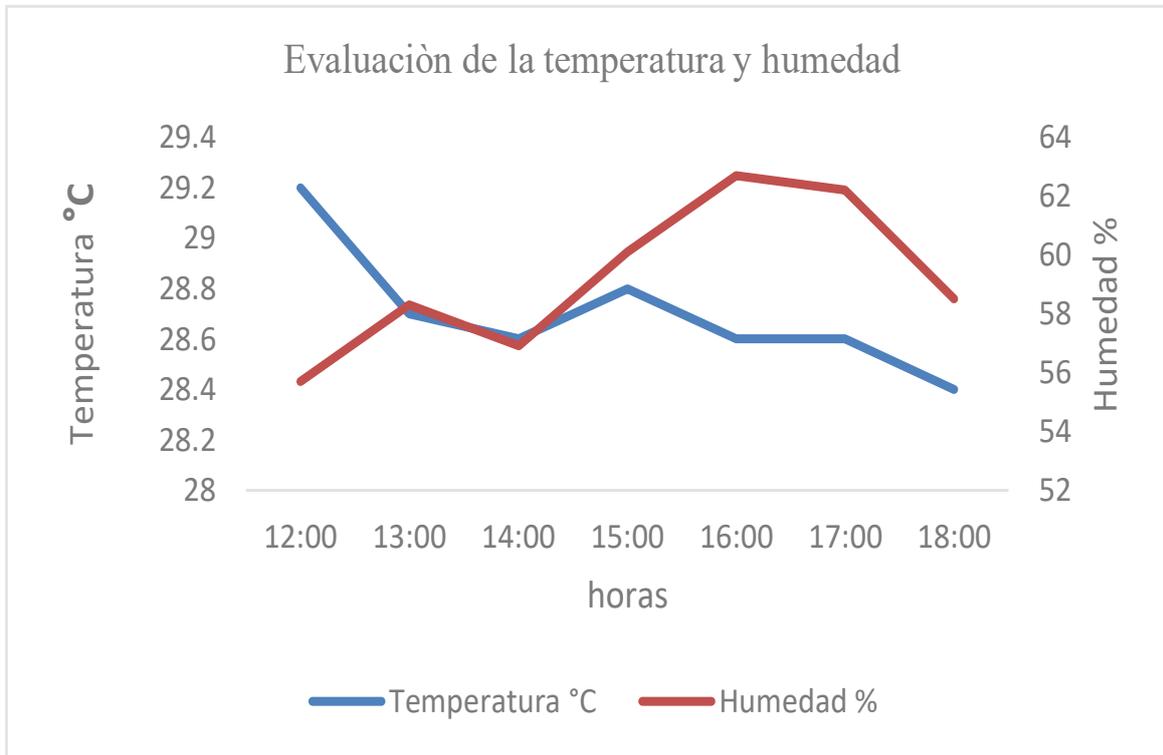
(...)

- La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27 °C. La temperatura de los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25 °C.
- La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por 100, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50 por 100.
- Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites: 1.º Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s. 2.º Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,5 m/s. 3.º Trabajos no sedentarios en ambientes calurosos: 0,75 m/s.

(...)

Figura 1

Evaluación de la temperatura y humedad - día 26 /01/2019



En la Figura 1, la temperatura promedio obtenida (28,7° C), dentro de la edificación comercial, sobrepasa las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Para actividades ligeras, la temperatura máxima admitida es de 25°C. Esto se presenta debido a los diferentes equipos y maquinarias que funcionan dentro de la edificación (impresas, plotters, troqueladoras, selladoras, cortadoras, computadoras, impresoras, fotocopiadoras, televisores, etc.) y los sistemas de iluminación, con los que trabajan los propietarios dentro de las galerías.

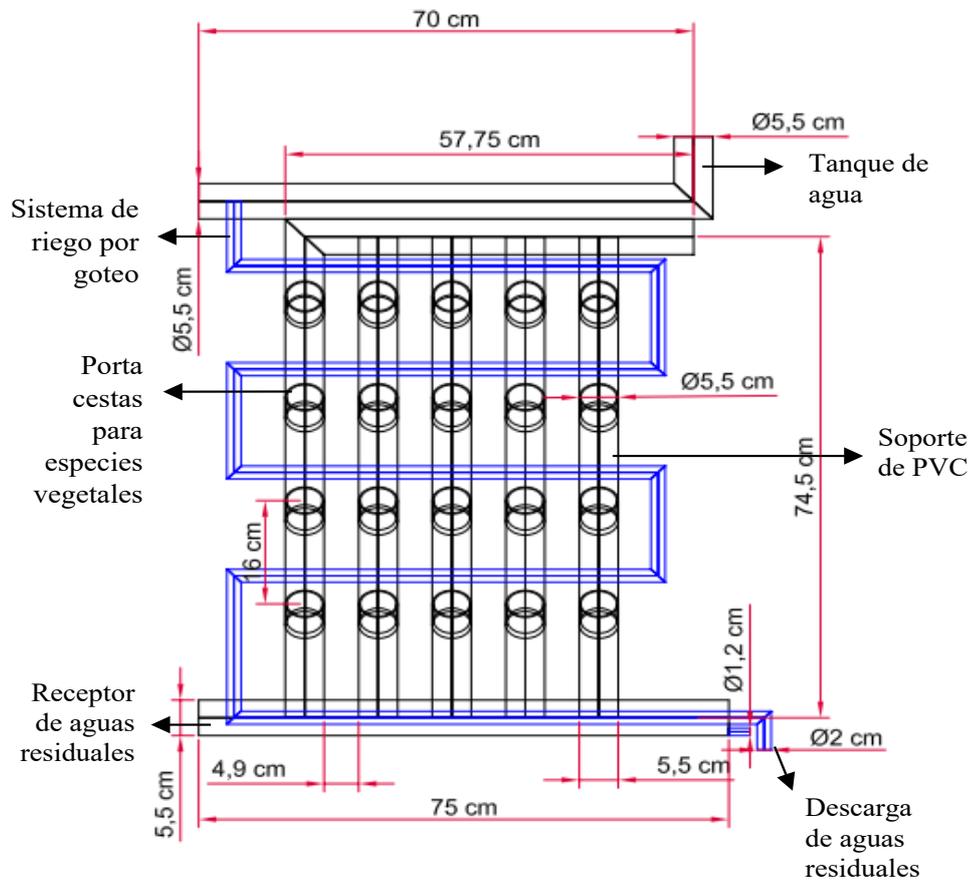
Así mismo, los sistemas de ventilación son deficientes y no están operativos en la mayoría de los casos ya

que la velocidad del viento obtenida es 0 m/s, cuando por normativa internacional (Real Decreto 486/1997), en ambientes calurosos no sedentarios es de 0,75 m/s, lo cual está generando un discomfort térmico en los operadores, usuarios y público visitante de la edificación comercial, alterando las condiciones ambientales internas lo que desencadena diversos problemas en la salud.

Diseño del jardín vertical piloto

El diseño de la estructura para la naturación vertical se realizó en el software AutoCAD, considerando un sistema de riego y los sistemas de drenajes para los residuos de aguas como se muestra en la Figura 2.

Figura 2
Diseño de la estructura para la naturación vertical

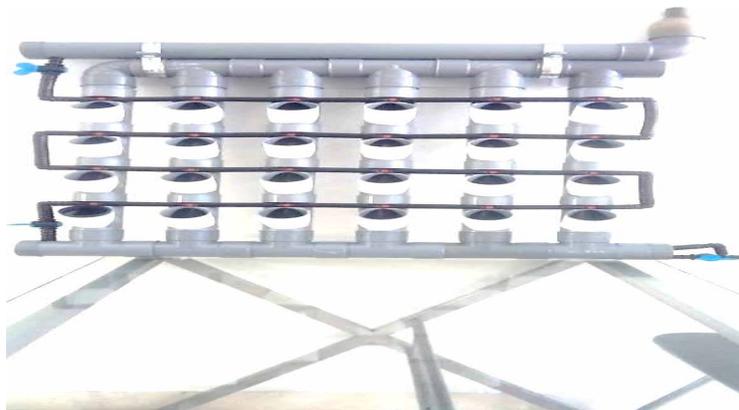


Ensamblado estructural del jardín vertical

Se realizó el ensamblado estructural con tubos de PVC (codos, yes y tes de dos pulgadas), y se ejecutaron cortes en

la parte superior de la porta cestas para la instalación de mangueras de riego de 16 mm con sus respectivas válvulas y goteros autocompensables. Así mismo, se instalaron las especies vegetales (*Aptenia cordifolia*) (Figuras 3 y 4).

Figura 3
Estructura y sistema de riego



Incidencia de la naturación vertical piloto en el confort térmico

Para analizar la incidencia de

la naturación vertical sobre el confort térmico se instaló el jardín vertical piloto dentro de la edificación comercial y realizaron las mediciones.

Figura 4

*Panel con *Aptenia cordifolia**



Figura 5

Naturación vertical piloto proyectada dentro de la edificación comercial



Resultados de las mediciones con y sin naturación vertical

Las mediciones se realizaron con una mini estación meteorológica y registradores de temperatura y humedad

relativa en ambientes con naturación vertical y sin naturación vertical dentro de la edificación comercial, los mismos que fueron tomados, sincronizados en horario laboral, como se muestra en la siguiente figura.

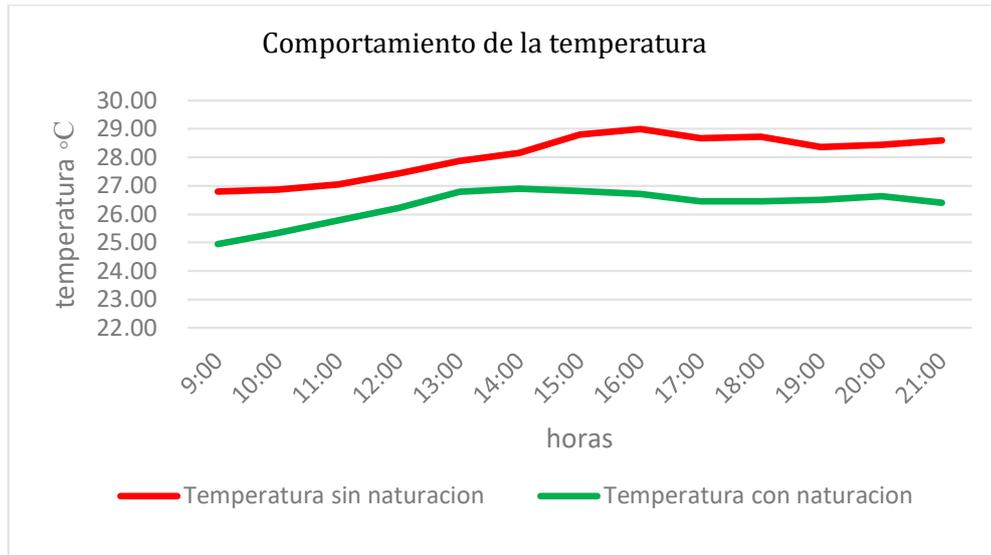
Temperatura

El comportamiento promedio de la Temperatura (T°) corresponde a

ocho días de mediciones, desde las 9:00 a 21:00 horas, horario de actividades de la edificación comercial.

Figura 6

Comportamiento promedio de la temperatura en los ocho días de medición



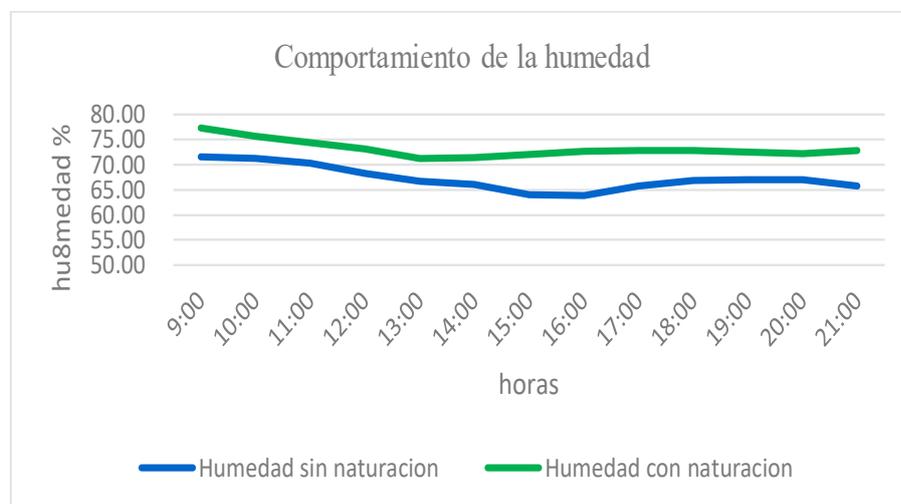
En la Figura 6, se observa que la instalación de la naturación vertical dentro de la edificación comercial, logró reducir en 2.3°C en promedio la temperatura, respecto al área sin naturación vertical (de $28,06^{\circ}\text{C}$ a $23,03^{\circ}\text{C}$ en promedio).

Humedad relativa

El comportamiento promedio de la humedad relativa (HR) corresponde a ocho días de mediciones, desde las 09:00 a 21:00 horas, horario de atención y actividades de la edificación comercial.

Figura 7

Comportamiento promedio de la humedad en los ocho días de medición



En la Figura 7, se observa el comportamiento de la humedad relativa en el área con la instalación de naturación vertical, logró incrementar en 5.91 % en promedio, respecto al área sin naturación vertical (de 67, 26 % a 73, 17 % en promedio).

Discusión

A diferencia de la investigación “Diseño de jardines verticales en el interior de viviendas y la calidad de vida de los habitantes de la parroquia La Merced, Ambato - Ecuador” (Salazar, 2017), que tuvo como objetivo plantear un diseño de jardines verticales en el interior de la vivienda como alternativa para mejorar la calidad de vida de los habitantes, mediante los múltiples beneficios que ofrece un espacio con vegetación, además de incorporar nuevos conceptos de construcción, acoplados con las necesidades actuales de conservación del medio ambiente. El tipo de investigación que se llevó a cabo fue descriptivo-exploratorio pues indaga en las características de un grupo y contexto particular, y estudia un tema poco explorado en nuestro entorno, el método de investigación empleado fue Inductivo-Deductivo por el análisis estadístico.

Los resultados obtenidos convergen en la tendencia de los habitantes de “La Merced”, a poseer plantas en sus hogares en un 65.6%, además de aseverar que existen condiciones de entorno hostiles, para el desarrollo del bienestar integral, siendo el factor dominante el ruido en un 42%, concluyendo, se definió el jardín vertical hidropónico, ya que es un tipo, que funciona en un espacio interior, su instalación debe estar sujeta a criterios

como: ubicación, cercano a una fuente de iluminación, análisis de las corrientes de aire, análisis de riego, análisis de las plantas a emplearse, el mantenimiento, la estructura, y el tamaño del jardín, con la finalidad de obtener todos los beneficios, tanto para los individuos que habitan el espacio, como para el entorno.

En la presente investigación se comparó de manera experimental dos ambientes con similares características dentro de la edificación comercial “Centro Lima”, ubicada en la Av. Bolivia 148 Urb. Cercado de Lima; instalando en una de ellas la naturación vertical (jardín vertical) y evaluando parámetros de confort térmico, considerado las condiciones ambientales señaladas en la normativa internacional “Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo” del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España (Real Decreto 486/1997), a fin de mejorar las condiciones ambientales dentro de las actividades laborales de los usuarios y trabajadores.

Conclusiones

El jardín vertical desarrollado, para interiores de edificaciones comerciales, se adaptó a los ambientes experimentales por su diseño de hidrosustrato, fácil manejo y mantenimiento con un sistema de riego por goteo, que puede ser replicado para lugares con similares características.

Las condiciones ambientales del confort térmico dentro de la edificación comercial investigada, no cumplen con las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, establecidas en la normativa internacional (Real Decreto 486/1997) ya que exceden los límites de temperatura y humedad relativa

y cuentan con escasos flujos del viento, por lo cual es importante contar con normas técnicas nacionales que regulen las disposiciones mínimas señaladas.

La naturación vertical piloto instalada dentro de la edificación

comercial incide, favorablemente, en el confort térmico, logrando reducir entre 2 a 3 °C de temperatura e incrementar entre 5 a 6 % la humedad relativa en promedio.

Referencias

- Cabrera, M. y Salazar, W. (2016). Construcción experimental de jardines verticales y su relación con el confort termo higrométrico en ambientes cerrados. *Industrial Data*, 19(2), 78-90. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81649428010>
- Cardinali, M., Balderram, A., Arztmann, D. & Pottgiesser, U. (2023). Green walls and health: An umbrella review. *Nature-Based Solutions*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2023.100070>
- Comunidad de Madrid. (2016). *Guía de calidad del aire interior*. <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2016/11/Guia-de-Calidad-del-Aire-Interior-fenercom-2016.pdf>
- Condori, F. (2019). *Tecnología de naturación vertical y su efecto en el confort térmico en edificaciones comerciales de Lima Cercado*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Federico Villarreal. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/3888>
- Guardino, X. (2003). *Calidad del aire interior. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo*. Ministerio de Trabajo y Asuntos sociales, 44. 1-33.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril de 1997, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. *Boletín Oficial del Estado*, 97, de 23 de abril de 1997. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8669>
- Rivera J. (2018). *Efecto de la aplicación de un jardín vertical, en la mejora de las condiciones ambientales en la I.E Francisco Tejada Rojas, Moyobamba – 2017* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio digital institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/19165>
- Salazar, D. (2017). *Diseño de jardines verticales en el interior de viviendas y la calidad de vida de los habitantes de la parroquia La Merced* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional de la Universidad Técnica de

- Ambato. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/26160>
- Shafiee, E., Faizi, M., Yazdanfar, S. & Khanmohammadi, M. (2020). Assessment of the effect of living wall systems on the improvement of the urban heat island phenomenon. *Building and Environment*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106923>
- Suárez, P., Cantón, M. y Correa, É. (2024). Evaluación de estrategias de enverdecimiento vertical en clima árido: el caso de las fachadas verdes. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 26(2), 75-90. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2024.26.5014>
- Susca, T., Zanghirella, F., Colasuonno, L. & Del Fatto, V. (2022). Effect of green wall installation on urban heat island and building energy use: A climate-informed systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112100>