



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE ARQUITECTURA Y URBANISMO**



**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL PROTOTIPO DE JARDÍN  
VERTICAL LWS EN EL CONFORT AMBIENTAL DE UNA  
VIVIENDA UNIFAMILIAR A 3800 M.S.N.M.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**LEIDY VANESSA MAYTA GUZMAN**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**ARQUITECTO**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL PROTO  
TIPO DE JARDÍN VERTICAL LWS EN EL C  
ONFORT AMBIENTAL DE UNA VIVIENDA  
UNIFAMILIAR A 3800 M.S.N.M.**

AUTOR

**LEIDY VANESSA MAYTA GUZMAN**

RECUENTO DE PALABRAS

**11530 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**63409 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**64 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.1MB**

FECHA DE ENTREGA

**Sep 23, 2024 11:16 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Sep 23, 2024 11:17 PM GMT-5**

● **10% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 9 palabras)

  
Dr. Gwyer Marín Mamaní  
E.P. ARQUITECTURA Y URBANISMO  
CAP. 14636

  
Mg. Arq. José A. Llanos Condori  
COORDINADOR DE SUB DIRECCION DE INVESTIGACION

Resumen



## DEDICATORIA

*A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante, su fe inquebrantable en mis capacidades y por haberme brindado la oportunidad de estar aquí, persiguiendo mis sueños y haciendo una diferencia en el mundo. Su guía y aliento han sido fundamentales en cada paso de este viaje, con todo mi amor y gratitud.*

**Leidy Vanessa Mayta Guzman**



## AGRADECIMIENTO

*Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido el pilar fundamental en mi vida. Su aliento y confianza en mí me han dado la fuerza para perseguir mis sueños y alcanzar mis metas. Sin su respaldo, este logro no habría sido posible.*

*A mí misma, por convertir mis pasiones en acciones concretas y por mantenerme firme en mi búsqueda de conocimiento y crecimiento personal. Este proyecto representa no solo un hito académico, sino también un testimonio de mi dedicación y determinación para hacer una diferencia en el mundo que me rodea, estoy orgullosa de lo que he logrado y de los desafíos que he superado.*

*También quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi asesor de proyecto, cuya guía experta y consejos invaluable fueron esenciales para dar forma a este trabajo. Su apoyo y paciencia durante todo el proceso han sido inestimables, y le estoy profundamente agradecida por su compromiso y dedicación.*

**Leidy Vanessa Mayta Guzman**



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLA**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**CARTA DE ACEPTACIÓN DE PUBLICACIÓN..... 9**

**CAPÍTULO I..... 10**

**INTRODUCCIÓN ..... 10**

**CAPÍTULO II ..... 15**

**ARTÍCULO ACEPTADO ..... 15**

**ANEXOS..... 34**

**ANEXOS 1: INFORMACIÓN DE LA REVISTA..... 34**

**ANEXOS 2: TRADUCCIÓN AL ESPAÑOL ..... 36**

**ANEXOS 3: ARTÍCULO PUBLICADO ..... 56**



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> (a)Diseño y dimensiones del módulo de jardín modular (b) Composicion del prototipo de jardín vertical LWS .....	20
<b>Figura 2.</b> Ubicación de los puntos de monitoreo (a)primer nivel (b)segundo nivel .....	21
<b>Figura 3.</b> Estado actual del prototipo (a)Sin iluminacion natural (b) Con iluminacion natural .....	27



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Comportamiento del prototipo de jardín vertical LWS. ....	23
<b>Tabla 2.</b> Comportamiento protitipo 1 y 2 .....	26



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

LWS	: Living Wall Systems.
CO <sub>2</sub>	: Dióxido De Carbono.
TVOC	: Compuestos Orgánicos Volátiles Totales.
HCHO	: Formaldehido.





## CARTA DE ACEPTACIÓN DE PUBLICACIÓN

En base al reglamento de titulación alternativa, se realizó la tesis en formato artículo científico para su revisión a la Revista Científica Multidisciplinaria (Brasil) esta indexada en SCOPUS – Q4, la cual acepto la investigación luego de una rigurosa evaluación, asimismo la revista solo acepta artículos en inglés, motivo por el cual se presentó en ese idioma. A continuación, se presenta la carta de aceptación por parte de la revista indexada.





## CAPÍTULO I.

### INTRODUCCIÓN

La carencia de áreas verdes en mi ciudad natal de Puno, Perú, es un asunto que me ha inquietado profundamente. Las condiciones climáticas extremas y la falta de cuidado de los espacios verdes públicos han provocado una reducción significativa de estas áreas. En un entorno donde las áreas verdes están siendo cada vez más afectadas, sentí la necesidad de buscar una solución innovadora que se adecuara a nuestras condiciones locales y contribuyera a incrementar la presencia de áreas verdes en nuestros hogares.

En un mundo en constante evolución, la vida humana enfrenta desafíos crecientes, incluidos riesgos amplificadas, calidad reducida, mayor estrés y proliferación de enfermedades. Estos problemas se han identificado como manifestaciones directas del aumento excesivo de la contaminación. La construcción de viviendas, sin considerar las particularidades climáticas de su ubicación, se convierte en un factor crucial que afecta el confort térmico y la habitabilidad interna, afectando negativamente la calidad de vida de los residentes.

El confort ambiental ha emergido como un indicador fundamental en cualquier entorno de trabajo, ganando progresivamente mayor relevancia. En este contexto, la calidad del aire se revela como un componente esencial para mejorar el bienestar de los ocupantes de edificios mediante la implementación de soluciones innovadoras, como los jardines verticales. Investigaciones recientes han identificado la morfología urbana y las propiedades térmicas de los materiales de construcción como determinantes primarios de la modificación del microclima.



Este estudio se enfoca en la relevancia crítica de la calidad del aire en las viviendas, especialmente a medida que las áreas urbanas crecen y enfrentan diversos desafíos ambientales. El análisis de la calidad ambiental interior (IEQ) de los edificios se centra en la satisfacción de los ocupantes, considerando aspectos clave como el confort térmico y la calidad del aire interior. Además, se ha demostrado que las interacciones con la vegetación impactan positivamente en el confort térmico, la calidad del aire y la salud de los residentes, proporcionando beneficios notables a los espacios interiores.

Los sistemas de jardinería vertical han surgido como una respuesta ecológicamente beneficiosa y ambientalmente efectiva en entornos urbanos. Estos sistemas no solo mejoran la calidad del aire, sino que también funcionan como agentes absorbentes de contaminantes atmosféricos. Los jardines verticales, como elementos contemporáneos del diseño arquitectónico, no solo cumplen una función estética, sino que también contribuyen al ahorro energético y agregan valor a las propiedades debido a su enfoque pasivo.

El presente proyecto se llevó a cabo en una vivienda unifamiliar en la ciudad de Puno, ubicada en la Sierra (Andes) del sur del Perú, en la frontera con Bolivia, en las coordenadas UTM WGS84 19 L 389926.62 E y 8248418.36 S. El deterioro de la calidad del aire en la región es resultado de actividades industriales, emisiones de humo de vehículos, quema de vegetación, disposición de basura y tráfico marítimo y aéreo. En las últimas décadas, la ciudad de Puno ha enfrentado crecientes problemas de contaminación debido al crecimiento desordenado de su población urbana, lo que ha afectado negativamente la biodiversidad, el medio ambiente y la salud de las personas. La orientación de una vivienda debe estar dirigida a proporcionar el máximo confort al usuario, permitiendo una mejor calidad de vida, especialmente en una era en la que los



niveles de contaminación ambiental son altos. La vivienda representa una necesidad social en todo el mundo contemporáneo. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el impacto del prototipo de jardín vertical LWS en el confort ambiental de una vivienda unifamiliar ubicada a más de 3800 metros sobre el nivel del mar, para mitigar los efectos del cambio climático en una población vulnerable a la transformación de su entorno natural.

La importancia de esta investigación radica en su capacidad para proporcionar una solución práctica y adaptable a los desafíos ambientales específicos de Puno. Al demostrar cómo los jardines verticales pueden mejorar las condiciones de vida en áreas con escasez de vegetación y climas extremos, esta investigación contribuye no solo a mejorar la calidad de vida en Puno, sino también a promover prácticas sostenibles y resilientes en la planificación urbana y la arquitectura en otras regiones con condiciones similares.

El estudio sistemático de la implementación del jardín vertical y su impacto en el confort ambiental de una vivienda en Puno proporciona datos valiosos sobre cómo la incorporación de áreas verdes en entornos urbanos puede mitigar los efectos negativos del clima extremo. A través de un proceso meticuloso de toma de datos y análisis, hemos demostrado que la presencia de un jardín vertical puede influir positivamente en la temperatura interior, aumentar la humedad relativa y mejorar la calidad del aire, creando un ambiente más saludable y habitable.

Además, al agregar una fila de jardineras adicionales para ver si la cantidad de áreas verdes influye en la temperatura, humedad y calidad del aire, hemos podido comprobar que la cantidad de áreas verdes tiene un efecto proporcional en la mejora de las condiciones ambientales. Estos hallazgos son particularmente importantes para Puno,



donde cada intervención que mejore las condiciones ambientales puede tener un impacto significativo en la calidad de vida de sus habitantes.

Opte titularme por la publicación en una revista científica en lugar de una tesis tradicional para garantizar que los resultados de esta investigación lleguen a una audiencia más amplia y enriquezcan significativamente el acervo de conocimientos en el ámbito de la arquitectura sostenible y el diseño urbano. Este enfoque permite que otros investigadores y profesionales en el campo se beneficien de nuestros hallazgos y consideren la aplicación de soluciones similares en sus propias comunidades. La elaboración de artículos científicos no solo difunde el conocimiento, sino que también fortalece la reputación académica de la Universidad Nacional del Altiplano, posicionándola como una institución que fomenta y apoya la investigación de vanguardia en temas cruciales para el desarrollo sostenible y el bienestar urbano.

El proceso de redacción de mi artículo científico fue una experiencia meticulosa y enriquecedora, que requirió una combinación de planificación, investigación y redacción cuidadosa.

Después de definir claramente el objetivo del estudio y recopilar todos los datos necesarios a través de una serie de experimentos y observaciones, me embarqué en la tarea de documentar y comunicar mis hallazgos de manera efectiva. Inicialmente, dediqué tiempo a organizar toda la información recopilada durante los experimentos. Esto incluyó los datos obtenidos antes y después de la implementación del jardín vertical, así como los resultados de las mediciones adicionales realizadas tras la adición de una fila de jardineras. La organización de estos datos fue crucial para poder analizarlos correctamente y extraer conclusiones significativas.



Con los datos bien organizados, procedí a estructurar el artículo. Seguí una estructura estándar de artículos científicos, que incluía una introducción, una sección de metodología, resultados, discusión y conclusiones. En la introducción, presenté el contexto y la relevancia del estudio, destacando la escasez de áreas verdes en Puno y la importancia de encontrar soluciones adaptadas a nuestras condiciones climáticas locales.

La sección de metodología describió detalladamente cómo se llevó a cabo el experimento, desde la selección de la ubicación para el jardín vertical hasta las técnicas de medición utilizadas para evaluar los cambios en la temperatura, humedad y calidad del aire. Esta parte del artículo fue crucial para asegurar que otros investigadores pudieran reproducir el estudio si así lo deseaban.

En la sección de resultados, presenté los datos obtenidos de manera clara y concisa, utilizando tablas y gráficos para facilitar su comprensión. Aquí, los lectores pudieron ver de primera mano el impacto positivo que tuvo el jardín vertical en las condiciones ambientales de la vivienda. Luego, en la sección de discusión, interpreté estos resultados, relacionándolos con estudios previos y explicando su significado en el contexto de la mejora de la calidad de vida en áreas urbanas con condiciones climáticas adversas. Finalmente, en la conclusión, resumí los hallazgos principales. Esta parte del artículo fue una oportunidad para enfatizar la importancia de la implementación de jardines verticales no solo en Puno, sino en otras áreas urbanas con problemas similares.

Elegir la revista adecuada requirió investigación para encontrar una que acepte temas de sostenibilidad urbana y mejoras ambientales. Tras una evaluación cuidadosa, opte por una revista científica multidisciplinaria con audiencia internacional y revisión por pares. Luego de la revisión y edición, el artículo fue aceptado



## CAPÍTULO II

### ARTÍCULO ACEPTADO

# Evaluation of the impact of the LWS vertical garden prototype on the environmental comfort of a single-family house at 3800 m.a.s.l.

Leidy Vanessa Mayta Guzman<sup>a</sup>   | Grover Marin Mamani<sup>a</sup> 

<sup>a</sup> *Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú Academic Department of Architecture and Urbanism. Faculty of Civil Engineering and Architecture.*

**Abstract** In this study, the impact of the implementation of a vertical garden LWS on indoor air quality and thermal comfort in an urban house in Puno City, located in the Collao plateau in the Peruvian Andes, characterized by extreme environmental conditions and low temperatures. The purpose was to evaluate the impact of the LWS vertical garden prototype on the environmental comfort of a single-family house located at 3800 m.a.s.l. A vertical garden prototype was built with five 1.5 m long modular planters, oriented to the northeast and implementing a drip irrigation system. The air quality and thermal behavior of the vertical garden inside the house were compared, demonstrating its positive effect on thermal comfort and air quality. CO<sub>2</sub> concentration decreased significantly from 489.37 ppm to 445.10 ppm in the garden. Also, the levels of total volatile organic compounds (TVOC) and formaldehyde (HCHO) were significantly reduced, showing the effectiveness of the garden in absorbing atmospheric pollutants. Likewise, an increase in average temperature from 16.49°C to 18.07°C and an increase in relative humidity from 41.83% to 48.81% was observed, suggesting that the garden contributes to mitigating low temperatures. In addition, the modular augmentation of a planter was found to contribute to improved indoor air quality. These results highlight the



viability of this technology as a sustainable solution to optimize the indoor environment. It was also observed how the LWS vertical garden adds an aesthetic and spatial dimension to indoor spaces, enhancing spatial perception through the introduction of vertical vegetation and dynamic interaction with natural light.

**Keywords:** thermal comfort, vertical garden, air quality.

## 1. Introduction

In an ever-evolving world, human life is facing increasing challenges, including amplified risks, reduced quality, increased stress, and disease proliferation. These problems have been identified as direct manifestations of the excessive increase in pollution (Lartiga, 2016). The construction of housing, without considering the climatic particularities of its location, becomes a crucial factor affecting thermal comfort and internal habitability, negatively affecting the quality of life of residents (Luna, 2016).

Environmental comfort has emerged as a fundamental indicator in any work environment, gaining progressively greater relevance. In this context, air quality is revealed to be an essential component for improving the well-being of building occupants through the implementation of innovative solutions, such as vertical gardens (Molina and Veas, 2012; Perini et al, 2017). Recent research has identified urban morphology and the thermal properties of building materials as primary determinants of microclimate modification (Ordonez & Ximena, 2014).

This study focuses on the critical relevance of air quality in dwellings, especially as urban areas grow and face various environmental challenges (Gil et al, 1997). Indoor environmental quality (IEQ) analysis of buildings focuses on occupant satisfaction, considering key aspects such as thermal comfort and indoor air quality (Lai et al, 2009). In addition, interactions with vegetation have been shown to positively impact thermal





comfort, air quality, and resident health, providing noticeable benefits to indoor spaces (Shanahan et al, 2016).

Vertical greening systems have emerged as an ecologically beneficial and environmentally effective response in urban environments. These systems not only improve air quality but also function as absorbent agents of atmospheric pollutants (Wong et al, 2010; Carbajal et al, 2023). Vertical gardens, as contemporary architectural design elements, not only fulfill an aesthetic function but also contribute to energy savings and added value to properties due to their passive approach (George,2020).

The present project was carried out in a single-family house in the city of Puno, located in Sierra (Andes) of southern Peru, on the border with Bolivia, at the UTM coordinates WGS84 19 L 389926.62 E and 8248418.36 S (Vicuña, 2022). The deterioration of air quality in the region is a result of industrial activities, vehicle smoke emissions, vegetation burning, garbage disposal, and maritime and air traffic (Rodriguez et al, 2013). In recent decades, the city of Puno has faced increasing pollution problems due to the disorderly growth of its urban population, which has negatively affected biodiversity, the environment, and people's health (Quispe et al., 2021; Mamani et al., 2023). The orientation of a dwelling should be aimed at providing maximum comfort to the user, allowing a better quality of life, especially in an era when pollution levels in the environment are high (Ledespema & Carlos, 2020). Housing represents a social need throughout the contemporary world (Garcia, 2005). In this context, the objective of the present study was to evaluate the impact of the LWS vertical garden prototype on the environmental comfort of a single-family house located more than 3800 meters above sea level to mitigate the effects of climate change on a population vulnerable to the transformation of its natural environment.

## **2. LWS vertical garden design**

The Living Wall Systems (LWS) vertical garden prototype is composed of five modular planters made of 4-inch diameter, 5-foot-long PVC pipes. These pipes weigh 1.21 kg and are sealed at the ends with 4-inch pipe plugs that weigh 0.107 kg. This makes them corrosion resistant and lightweight. Each modular planter features eight 3-in. diameter top holes, which are located at 17 cm intervals, as illustrated in Fig. 1(a). Lemon balm (*Melissa officinalis*) seedlings weighing approximately 0.25 kg each were placed in these holes. These plants were selected for their dense vegetation and ease of care. For adequate growth, a special lightweight substrate, composed of sawdust, soil, rice husks, worm castings, and compost at proportions of 2:1:2:2:2:4 was used. Each planter contains approximately 6 kg of this substrate.

The irrigation system adopted was drip irrigation through a gravity system with a flow regulator and a 4-liter water tank (weight without water: 0.2 kg) assigned to each planter. These tanks were attached to the wall using 10 mm × 3 mm stainless steel hooks and 2 mm galvanized wire. In addition, 4m long irrigation hoses, divided into 1.5 m, 1 m, 0.8 m, 0.50 m, and 0.2 m segments, were used for vertical irrigation. A four-meter long 7 mm hose, divided into 1.4 m segments, was also used for horizontal irrigation, and was located inside each planter, as shown in Fig. 1(b).

The prototype was installed on a northeast-facing wall using 20 mm × 3 mm stainless steel hooks anchored to the wall to support the planters. These were placed consecutively at 20 cm intervals, as illustrated in Fig. 2(b). After plant maturity, each planter weighed approximately 9.5 kg.

The air quality and thermal comfort of the LWS vertical garden prototype were calculated. To measure the variables, a JD brand instrument with serial number 3002 was used, which had a measurement range of CO<sub>2</sub> from 350 ppm to 2000 ppm, TVOC from 0.000 MG/M to 2000 ppm, and HCHO from 0.000 mg/m to 1.000 mg/m (Diemer, sf). In

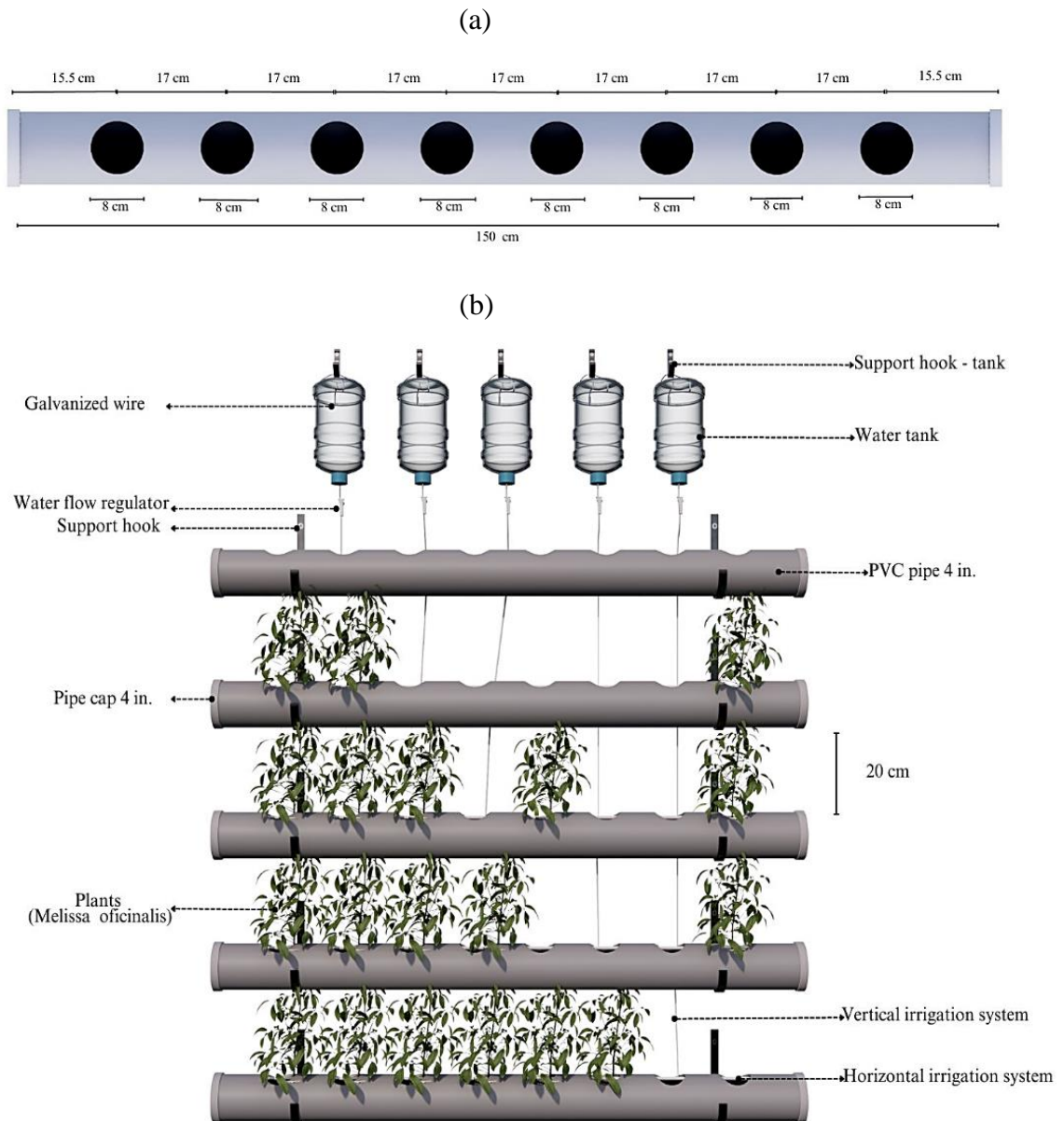


addition, a Uni-T brand thermohygrometer, model UT333, with a temperature range of -10°C to 60°C, an accuracy of  $\pm 1^\circ\text{C}$ , and a humidity range of 0% to 100% with an accuracy of  $\pm 5\%$  RH was used (Tecnologia Uni-Trend Limited, sf).

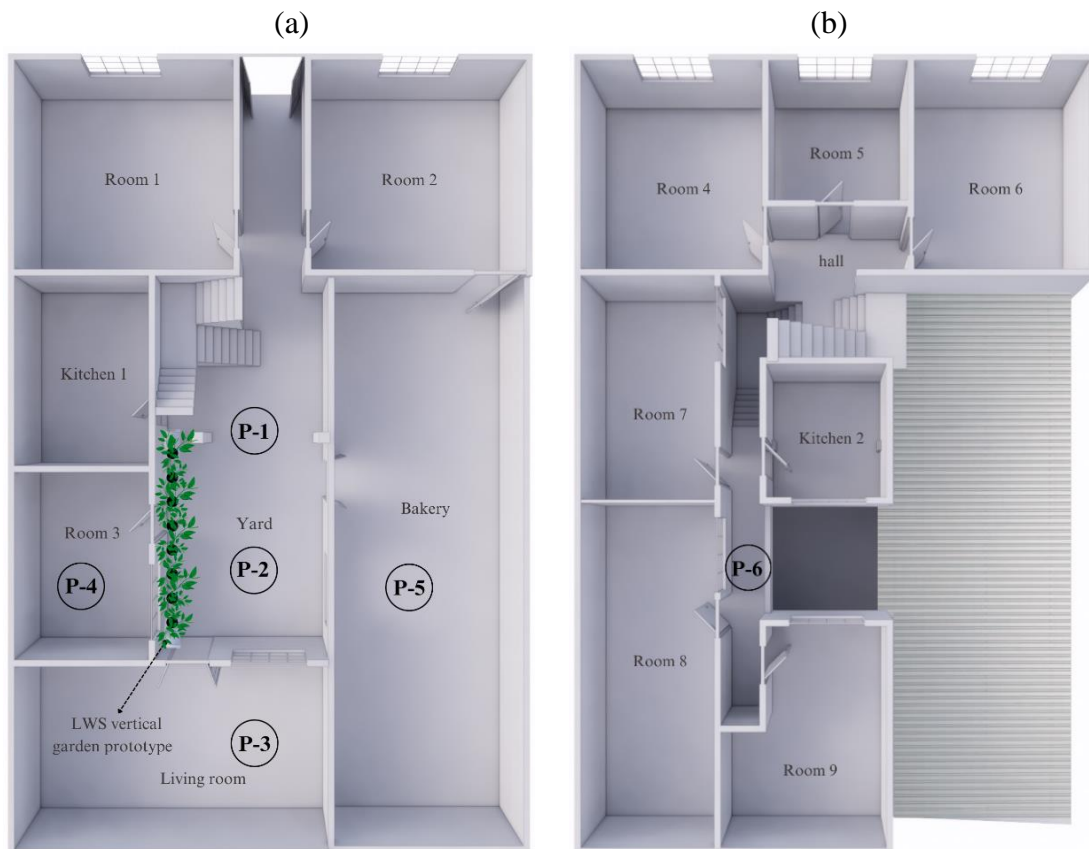
The data were collected in two stages: the first took place in summer without the presence of the vertical garden, and the second took place with the LWS vertical garden prototype in the summer and winter seasons. The recordings were made at three-hour intervals, at 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 and 00:00 hours. Measurements were taken at six points at a height of 1.2 m and five points on the first level, plus one point on the second level, as shown in Fig. 2. The data were tabulated on log sheets for subsequent digitization in TXT format.

Column headings were assigned to the following variables: day (D), point (P), experiment (E), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) (O), formaldehyde (HCHO) (HC), volatile organic compound (TVOC) (TV), temperature (T) and humidity (H). The points were assigned a coding (P-1, P-2, P-3, P-4, P-5, P-6), and the experiments were assigned (1 and 2), where 1 represents the absence of the LWS vertical garden prototype and 2 represents the presence of the LWS vertical garden.

Student's t test was used to analyze the differences between two sets of small, independent samples that had a normal distribution and equal variabilities (Sanchez, 2015). The process involved several steps: first, data collection; second, coding; third, classification; fourth, data processing or tabulation; and fifth, data presentation. The data were processed using R v4.3.1 software from the R Foundation.



**Figure 1** (a) Design and dimensions of the modular garden module. (b) Composition of the LWS vertical garden prototype.



**Figure 2** Location of monitoring points at the (a) first level and (b) second level.

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Indoor air quality in buildings

A total of 1986 data points were collected, thoroughly tabulated, and categorized for analysis. The development process of the vertical garden prototype was carried out in the interior courtyard space of a single-family house. The implementation of the LWS vertical garden prototype took a period of three weeks, during which precise methodological stages were followed. During the first week, the necessary materials were obtained and meticulously selected according to their specific characteristics.

During the second week, a meticulous assembly process was carried out in which the planters were strategically integrated, considering the principles of spatial distribution and ensuring aesthetic harmonization with the environment. The installation of the



irrigation system is vital for the optimal functioning of the prototype, guaranteeing its correct performance and its capacity to provide the right amount of water to the plants.

Finally, in the third week of the process, lemon balm (*Melissa officinalis*) seedlings, which were selected for their adaptability to the study environment, were acquired. A highly specialized substrate was prepared by combining specific components such as sawdust, soil, rice husks, worm humus, and compost in calculated proportions of 2:1:2:2:2:4. The plants were transplanted into the planters, ensuring that the proper environment was provided for their healthy growth and the development of their characteristic dense vegetation. The implementation phase of this vertical garden prototype involved not only a painstaking process but also an effort to obtain reliable and valuable data for subsequent analysis.

The comparison data correspond to (CG) the control group (without the prototype) and (EG) the experimental group (with the prototype). It has been shown that between both groups, there is a significant difference in both groups, with a p value = 0.001 for temperature, CO<sub>2</sub> humidity, TVOC, and HCHO. These results provide valuable insight into the behavior of the LWS vertical garden prototype in a very particular context, the Southern Andes of Peru, a high Andean region where environmental conditions are notoriously harsh due to its altitude and the climatic variability that prevails in the area. It is important to understand that this geographical location, which is characterized by cold and extreme conditions, adds a significant layer of challenge to the adaptation and operation of any system of this type.

In the control group, an average temperature of 16.49°C was observed. This temperature is notably low, suggesting the influence of the cold climate of the high Andean zone. In addition, the average relative humidity under these conditions was 41.83%, indicating a relatively dry environment associated with the climatic

characteristics of high altitudes. However, in the experimental group with the LWS vertical garden prototype, an average temperature of 18.07°C was recorded. Although this is still a relatively low temperature, the presence of the prototype contributes to a slight increase in the ambient temperature. This suggests that the vertical garden system can mitigate the effects of the cold weather characteristics of the region. The relative humidity under these conditions reached an average of 48.81%, indicating that the prototype influenced the ambient humidity, contributing to a greater retention of moisture in the air, as shown in Table 1.

In terms of air quality, the average carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentration was significantly lower in the experimental group (445.10 ppm) than in the control group (489.37 ppm). This reduction is related to the ability of the prototype to absorb CO<sub>2</sub> and improve the indoor air quality. The concentrations of total volatile organic compounds (TVOCs) and formaldehyde (HCHO) were also lower in the experimental group than in the control group, suggesting that the prototype could contribute to a decrease in these substances that can affect air quality, as shown in Table 1.

**Table 1** Comportamiento del prototipo de jardín vertical LWS.

Condition	T	H	CO <sub>2</sub>	TVOC	HCHO
CG <sup>1</sup>	16.49 ± 0.12	41.83 ± 0.41	489.37 ± 6.14	0.12 ± 0.00	0.02 ± 0.00
EG <sup>2</sup>	18.07 ± 0.15	48.81 ± 0.33	445.10 ± 3.94	0.06 ± 0.00	0.01 ± 0.00

(1) Control group without the prototype, (2) Experimental group with the prototype.

It is essential to note that these results, obtained in a high Andean area characterized by extreme environmental conditions, provide valuable insights into the potential of vertical garden systems in indoor environments. The prototype's ability to attenuate temperature and humidity variations, as well as to improve air quality, is promising, especially considering the unique climatic adversities of the region. These



results underscore the relevance of addressing the adaptation of ecological and sustainable solutions in extreme environmental contexts and highlight the need for future research to deepen the understanding of these effects and their implications in similar regions.

### *3.2. Increasing indoor air quality in buildings*

A second prototype (2P) has been developed, which has been improved by increasing one planter unit, for a total of 5 planters. In comparison, the original prototype (1P) consists of 4 planters. The comparison data between 1P and 2P are as follows. Regarding temperature, the data indicate that no significant difference was observed between the original prototype (1P) and the second prototype (2P). The calculated statistical significance is 0.65. This conclusively suggested that the temperature remained at similar levels in both groups, even after the addition of an extra planter unit in the second prototype.

On the other hand, the results show that there are significant differences in humidity, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentration, total volatile organic compound (TVOC) content, and formaldehyde (HCHO) content between the two prototypes. The statistical significance values associated with these indicators are all less than 0.05, indicating that the addition of a planter unit has had a measurable and relevant impact on these parameters.

These results confirm that the incorporation of an additional planter unit in the second prototype (2P) has noticeable effects on the ambient humidity, as well as the CO<sub>2</sub>, TVOC, and HCHO concentrations. The environmental conditions in which the green walls are located can vary their impact to a greater or lesser extent. These results confirm that the incorporation of an additional planter in the second prototype (2P) has noticeable effects on the environmental humidity, as well as on the concentrations of CO<sub>2</sub>, TVOC,





and HCHO due to the environmental conditions in which the green walls are located, which can vary their impact to a greater or lesser extent, as proposed by Charoenkit et al. (2020) and Oquendo-Di et al. (2022). This variation in prototype design has been shown to have a significant influence on the regulation of these environmental factors.

These findings have relevant implications for the optimization of vertical garden prototypes, particularly in situations where humidity control and air quality are relevant aspects, the system also protects indoor thermal conditions as it sustains them Martínez et al. (2023). The results strongly support the notion that the inclusion of more planter units can positively influence the ability of the prototype to modify environmental conditions, improve air quality and contribute to CO<sub>2</sub> reduction. Furthermore, in Table 2, when examining temperature, the data reveal that both prototypes, 1P and 2P, maintain very similar values which, together with the overlapping confidence intervals, indicate that the incorporation of an additional planter unit in prototype 2P has not had a significant effect on the temperature of the indoor environment. The humidity of prototype 2P is greater than that of prototype 1P. This difference suggests that the inclusion of an additional planter unit in prototype 2P influences the humidity regulation of the indoor environment, resulting in higher relative humidity levels. The CO<sub>2</sub> concentration in prototype 2P was slightly lower than that in prototype 1P. This variation in results could be indicative of the potential effectiveness of the 2P prototype in improving indoor air quality. The similarity to the green wall concept proposed by Mazzali et al. (2013) and Sánchez-Reséndiz et al. (2018) suggests that the 2P design could offer comparable benefits in reducing the concentration of harmful compounds indoors. However, further studies are required to fully evaluate the impact and effectiveness of this design in different environmental settings and for different applications.

**Table 2** Prototype 1 and 2 behaviors.

<b>Prototype</b>	<b>T</b>	<b>H</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>TVOC</b>	<b>HCHO</b>
1P	16.4± 0.15	30.5± 0.29	444.9± 3.92	0.068 ± 0.0	0.019 ± 0.0
2P	16.5± 0.14	41.6± 0.41	432.4± 3.63	0.055 ± 0.0	0.016 ± 0.0

The results indicate that the design of the prototype, specifically in terms of the number of planters, can have measurable effects on the regulation of the indoor environment, benefiting both humidity and air quality. In addition to the tangible impacts on parameters such as temperature, humidity, and air quality, it is essential to highlight the aesthetic and spatial effects that the LWS vertical garden introduces into the indoor environment, as shown in Figure 3. This technology not only is limited to improving environmental conditions but also significantly influences the visual and spatial quality of the environment, as in an urban landscape Omrany et al. (2016).

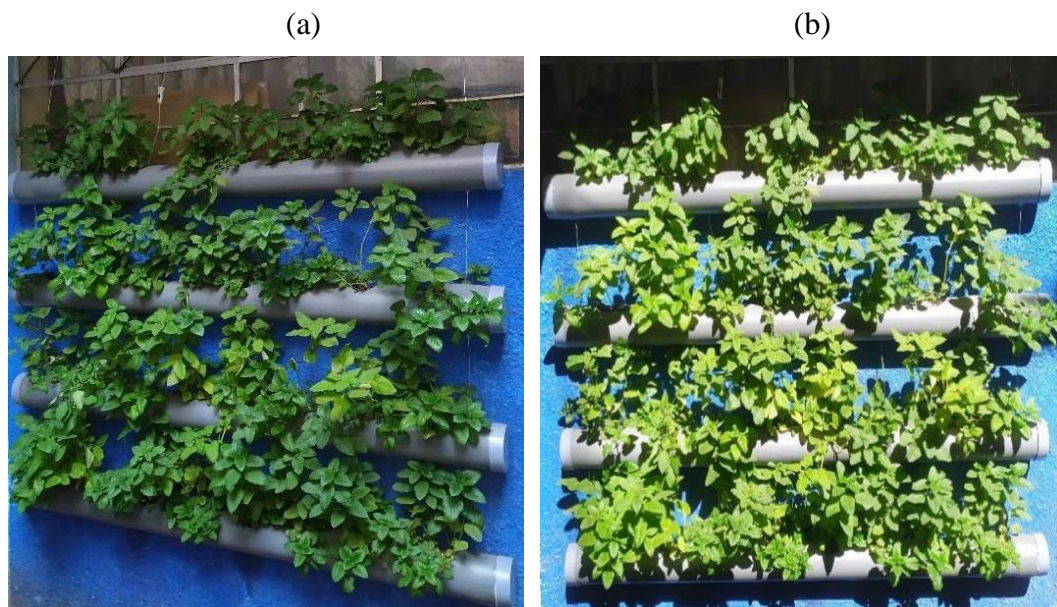
The impact of the LWS vertical garden prototype not only encompasses functional and environmental aspects but also considers its effects on the visual and spatial quality of the indoor environment. Through a visual comparison between the previous state without the prototype and the resulting transformation with the inclusion of the LWS vertical garden, its function as a focal point in the environment can be highlighted. The vertical vegetation structure adds a unique dimension that captures attention and creates a visual contrast to traditional surfaces. This green addition not only adds aesthetic value but also connects occupants to nature in an indoor environment.

Notably, even when the LWS prototype is in shadow, it still generates aesthetic visual richness, as shown in Figure 3(a). The vertical vegetation structure creates a play of light and shadow that adds depth and dimension to the environment. The effects of light and shadow on leaf and plant textures generate a dynamic visual palette, enriching

the sensory perception of the space. This interplay between vegetation and light contributes to a visually interesting and pleasing environment, even under lower light conditions.

When the prototype is in daylight, this experience is further intensified. The natural light flooding the space interacts with the leaves and plant shapes, creating changing patterns of shadows and highlights. The combination of the verticality of the planters with the daylight reinforces the sense of height and spaciousness in the interior space. This play of natural light adds a poetic and dynamic dimension that transforms the perception of the environment, creating a constantly changing visual environment, as shown in Figure 3(b).

The spatial quality also undergoes a remarkable metamorphosis. The introduction of the verticality of the planters generates a sense of height that enriches the perception of space. The combination of textures and colors of the vegetation contrasts with that of conventional materials, revitalizing and beautifying the place.



**Figure 3** Current status of the LWS prototype (a) without natural illumination and (b) with natural illumination.



## 4. Conclusions

The implementation of the LWS in a vertical garden significantly increased thermal comfort levels and improved indoor air quality. The results conclusively support that this innovative solution has a positive impact on temperature regulation and indoor air purification. Additionally, with the increase in one landscaping unit, the temperature increase is not significant. However, humidity, CO<sub>2</sub>, TVOC, and HCHO significantly improved. This beneficial effect suggests that the progressive increase in the number of units could lead to a gradual and sustainable optimization of environmental conditions. The incorporation of the LWS vertical garden adds an architectural dimension that goes beyond functionality, becoming an element that revitalizes, beautifies, and gives character to interior spaces. This approach not only responds to the practical needs of air quality and thermal comfort but also introduces a sensory and aesthetic dimension that enriches the user's experience in these environments. The interaction of vegetation with natural light and architectural forms creates a dynamic and constantly changing visual experience.

### **Ethical considerations**

Not applicable

### **Conflict of interest**

The authors declare no conflicts of interest.

### **Funding**

This research did not receive any financial support.



## References

- Carbajal, R., Álvarez, A., López, J., Saturno, M., Murray., V. (2023). Detection of Deforested Areas in the Peruvian Amazon Using Satellite Images. In: Proceedings of the 7th Brazilian Technology Symposium (BTSym'21). Smart Innovation, Sys-tems and Technologies, 207, 479-486. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04435-9\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04435-9_49)
- Charoenkit, S., Yiemwattana, S., & Rachapradit, N. (2020). Plant characteristics and the potential for living walls to reduce temperatures and sequester carbon. *Energy and Buildings*, 225(110286), 110286. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110286>
- Diemer Materialmedico24.es. (sf). Medidor de CO2 JD 3002.
- García, A. (2005). Vivienda, familia, identidad: la casa como prolongación de las relaciones humanas. *Trayectorias rev. científico. soc. Univ. Autón. Nuevo León*, 17, 43–56. <https://www.redalyc.org/pdf/607/60722197006.pdf>
- George, A. (2020). Roof gardens to vertical farming. in *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 4, 199-204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10706-4>
- Gil, L., Cáceres, D., Quiñones, L., Adonis, M. (1997). Contaminación del aire en espacios exteriores e interiores en la ciudad de Temuco. *Ambiente y Desarrollo*, 18(4), 70-78. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/129035>
- Lai, A., Mui, K., Wong, L., Law, L. (2009). An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings. *Energy Build*, 41(9), 930–936. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.03.016>



- Lartiga, A., & Santiago, E. (2016). Dos frecuencias de riego en *Salvia farinacea*, *Osteospermum ecklonis* y *Asparagus setaceus* en cuatro diferentes sustratos para jardines verticales. Universidad Nacional Agraria La Molina.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/1980>
- Ledesma, C., & Carlos, J. (2020). Implementación de jardines verticales para vivienda multifamiliares en el distrito de Ate-Provincia de Lima – Región Lima – año 2020. Universidad Privada Telesup.  
<https://repositorio.utelesup.edu.pe/handle/UTELESUP/1326>
- Luna, X. (2016). Confort térmico y habitabilidad de la vivienda en el AA. S.S. Edén del Manantial, en las lomas costeras El Paraíso. *Investiga Territorios*, 4, 107–123.  
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/investigaterritorios/article/view/21455>
- Mamani, G.M., Paucara, E.M., Condori, J.A.L., Mamani, V.E., Espinoza, N.B. (2023). Construction of a Low-Cost Solar Air Collector Prototype for Heating Andean Houses. In: Iano, Y., Saotome, O., Kemper Vásquez, G.L., de Moraes Gomes Rosa, M.T., Arthur, R., Gomes de Oliveira, G. (eds) *Proceedings of the 8th Brazilian Technology Symposium (BTSym'22)*. BTSym 2022. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 353. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-31007-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-31007-2_18)
- Martínez García, A. J., Estrada Cahuapaza, Y. R., Marín Mamani, G., Enríquez Mamani, V., Cotacallapa Ochoa, K. L., & Curro Pérez, F. (2023). Thermal evaluation of a rustic building prototype at 1/5 scale with vegetal envelope during the winter in southern Peru. *Data & Metadata*, 2, 34–34. <https://doi.org/10.56294/dm202334>



- Mazzali, U., Peron, F., Romagnoni, P., Pulselli, R. M., & Bastianoni, S. (2013). Experimental investigation on the energy performance of Living Walls in a temperate climate. *Building and Environment*, 64, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.005>
- Molina, C., & Veas, L. (2012). Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno. *Revista de La Construcción*, 11(2), 27–38. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2012000200004>
- Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Raahemifar, K., & Tookey, J. (2016). Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1252–1269. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.010>
- Oquendo-Di Cosola, V., Olivieri, F., & Ruiz-García, L. (2022). A systematic review of the impact of green walls on urban comfort: temperature reduction and noise attenuation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162(112463), 112463. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112463>
- Ordóñez, C., & Ximena, A. (2014). Microclima y confort térmico urbano: análisis sobre la influencia de la morfología del cañón urbano caso de estudio en los barrios el Raval y Gracia, Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23637>
- Perini, K., Barzocchi, F., Croci, F., Mangliocco, A., Cattaneo, E. (2017). The use of vertical greening systems to reduce the energy demand for air conditioning. Field monitoring in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 143, 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.036>



- Quispe, J., Dueñas, M., Arapa, C., Mena, A., Figueroa, N. (2021). Conocimientos de la población de Puno-Perú sobre saneamiento y factores de contaminación del Lago Titicaca y su impacto en la salud humana y el ambiente. *Espacio Abierto: Cuaderno Venezolano de Sociología*, 30(3), 100-121.  
<https://www.redalyc.org/journal/122/12268654016/html/>
- Rodríguez, M., León, E., Arque, M., Flores, C. (2013). Gerencia regional de recursos naturales y gestión del medio ambiente.  
<https://www.region.Puno.gob.pe/descargas/planes/2014-PLAN-REGIONAL-DE-ACCION-AMBIENTAL-PUNO-2014-AL-2021.pdf>
- Sánchez, R. (2015). t-Student: Usos y abusos. *Revista Mexicana de Cardiología*, 26 (1), 59-61. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-21982015000100009](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-21982015000100009)
- Sánchez-Reséndiz, J. A., Ruiz-García, L., Olivieri, F., & Ventura-Ramos, E., Jr. (2018). Experimental assessment of the thermal behavior of a living wall system in semi-arid environments of central Mexico. *Energy and Buildings*, 174, 31–43.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.060>
- Shanahan, D., Brush, R., Gaston, K., Lin, B., Decano, J., Barbero, E., Fuller, R. (2016). Benefits from nature experiences depend on dose. *Scientific reports*, 6(1): 1–10.  
<https://www.nature.com/articles/srep28551>
- Tecnología Uni-Trend (China) Limited. (sf). UT333BT mini medidor de temperatura y humedad (Tecnología Bluetooth) manual de instrucciones. [https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/D100/UT333BT\\_BDA\\_ES](https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/D100/UT333BT_BDA_ES)





Vicuña, E. (2022). Modelo de vivienda auto sostenible para mejorar la habitabilidad y confort de las viviendas de Puno. RAUT, 1(2), 13-27.

Wong, N., Tan, A., Chen, Y., Sekar, K., Puay, C., Chan, T., Chiang, K. (2010). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. Build. Environ, 45(3), 663–672.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013230900198X>



## ANEXOS

### ANEXOS 1: INFORMACIÓN DE LA REVISTA

Multidisciplinary Science Journal (ISSN 2675-1240) es una revista internacional de acceso abierto revisada por pares y publicada trimestralmente en línea por Malque Publishing . En esta revista se publican artículos de investigación, comunicaciones breves, notas técnicas, informes de casos y casos clínicos de todas las áreas del conocimiento bajo licencia Creative Commons . Esta revista NO publica Artículos de Revisión en sus Números Regulares, pero excepcionalmente, sólo en Números Especiales.

Indexación Internacional: SCOPUS (Elsevier) , Google Scholar, Dimensions, Latindex, CiteFactor, Scilit, Diadorim, Directorio de Indexación de Revistas de Investigación, CrossRef, Research Bible, entre otras. Seremos evaluados para indexación en Web of Science (Clarivate Analytics) y CAB International.

<https://www.scopus.com/sourceid/21101133576>



Scopus Preview

## Source details

### Multidisciplinary Science Journal

Scopus coverage years: from 2019 to Present

Publisher: Malque Publishing

E-ISSN: 2675-1240

Subject area: Multidisciplinary

Source type: Journal

[View all documents >](#)

[Set document alert](#)

[Save to source list](#)

CiteScore 2022

0.1

SNIP 2022

0.210

[CiteScore](#) [CiteScore rank & trend](#) [Scopus content coverage](#)

#### i Improved CiteScore methodology

CiteScore 2022 counts the citations received in 2019-2022 to articles, reviews, conference papers, book chapters and data papers published in 2019-2022, and divides this by the number of publications published in 2019-2022. [Learn more >](#)

#### CiteScore 2022

$$0.1 = \frac{3 \text{ Citations 2019 - 2022}}{53 \text{ Documents 2019 - 2022}}$$

Calculated on 05 May, 2023

#### CiteScoreTracker 2023

$$0.1 = \frac{27 \text{ Citations to date}}{233 \text{ Documents to date}}$$

Last updated on 05 April, 2024 • Updated monthly

#### CiteScore rank 2022

Category	Rank	Percentile
Multidisciplinary		
└ Multidisciplinary	#131/134	2nd



## ANEXOS 2: TRADUCCIÓN AL ESPAÑOL

# Evaluación del impacto del prototipo de jardín vertical LWS en el confort Ambiental de una vivienda unifamiliar a 3800 m.s.n.m.

Leidy Vanessa Mayta Guzman<sup>a</sup>   | Grover Marin Mamani<sup>a</sup> 

<sup>a</sup> *Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú Departamento Académico de Arquitectura y Urbanismo. Facultad de ingeniería Civil y Arquitectura.*

**Resumen** En este estudio se evaluó el impacto de la implementación de un jardín vertical LWS en la calidad del aire interior y el confort térmico en una casa urbana en la ciudad de Puno, ubicada en la meseta del Collao en los Andes peruanos, caracterizada por condiciones ambientales extremas y bajas temperaturas. El propósito fue evaluar el impacto del prototipo de jardín vertical LWS en el confort ambiental de una vivienda unifamiliar ubicada a 3800 m.s.n.m. Se construyó un prototipo de jardín vertical con cinco jardineras modulares de 1.5 m de largo, orientados hacia el noreste e implementando un sistema de riego por goteo. Se comparó la calidad del aire y el comportamiento térmico del jardín vertical dentro de la casa, demostrando su efecto positivo en el confort térmico y la calidad del aire. La concentración de CO<sub>2</sub> disminuyó significativamente de 489.37 ppm a 445.10 ppm en el jardín. Además, se redujeron significativamente los niveles de compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC) y formaldehído (HCHO), demostrando la efectividad del jardín en la absorción de contaminantes atmosféricos. Asimismo, se observó un aumento en la temperatura promedio de 16.49°C a 18.07°C y un aumento en la humedad relativa de 41.83% a 48.81%, lo que sugiere que el jardín contribuye a mitigar las bajas temperaturas. Además, se encontró que la ampliación modular de un macetero contribuyó a mejorar la calidad del aire interior. Estos resultados resaltan la viabilidad de esta tecnología como una solución sostenible para optimizar el ambiente interior. También



se observó cómo el jardín vertical LWS agrega una dimensión estética y espacial a los espacios interiores, mejorando la percepción espacial mediante la introducción de vegetación vertical y la interacción dinámica con la luz natural.

**Palabras clave:** confort térmico, jardín vertical, calidad del aire.

## 1. Introducción

En un mundo en constante evolución, la vida humana enfrenta desafíos crecientes, incluidos riesgos amplificados, calidad reducida, mayor estrés y proliferación de enfermedades. Estos problemas se han identificado como manifestaciones directas del aumento excesivo de la contaminación (Lartiga, 2016). La construcción de viviendas, sin considerar las particularidades climáticas de su ubicación, se convierte en un factor crucial que afecta el confort térmico y la habitabilidad interna, afectando negativamente la calidad de vida de los residentes (Luna, 2016).

El confort ambiental ha emergido como un indicador fundamental en cualquier entorno de trabajo, ganando progresivamente mayor relevancia. En este contexto, la calidad del aire se revela como un componente esencial para mejorar el bienestar de los ocupantes de edificios mediante la implementación de soluciones innovadoras, como los jardines verticales (Molina y Veas, 2012; Perini et al, 2017). Investigaciones recientes han identificado la morfología urbana y las propiedades térmicas de los materiales de construcción como determinantes primarios de la modificación del microclima (Ordoñez & Ximena, 2014).

Este estudio se enfoca en la relevancia crítica de la calidad del aire en las viviendas, especialmente a medida que las áreas urbanas crecen y enfrentan diversos desafíos ambientales (Gil et al, 1997). El análisis de la calidad ambiental interior (IEQ) de los edificios se centra en la satisfacción de los ocupantes, considerando aspectos clave como el confort térmico y la calidad del aire interior (Lai et al, 2009). Además, se ha demostrado que las interacciones con la vegetación impactan positivamente en el confort térmico, la calidad del



aire y la salud de los residentes, proporcionando beneficios notables a los espacios interiores (Shanahan et al, 2016).

Los sistemas de jardinería vertical han surgido como una respuesta ecológicamente beneficiosa y ambientalmente efectiva en entornos urbanos. Estos sistemas no solo mejoran la calidad del aire, sino que también funcionan como agentes absorbentes de contaminantes atmosféricos (Wong et al, 2010; Carbajal et al, 2023). Los jardines verticales, como elementos contemporáneos del diseño arquitectónico, no solo cumplen una función estética, sino que también contribuyen al ahorro energético y agregan valor a las propiedades debido a su enfoque pasivo (George, 2020).

El presente proyecto se llevó a cabo en una vivienda unifamiliar en la ciudad de Puno, ubicada en la Sierra (Andes) del sur del Perú, en la frontera con Bolivia, en las coordenadas UTM WGS84 19 L 389926.62 E y 8248418.36 S (Vicuña, 2022). El deterioro de la calidad del aire en la región es resultado de actividades industriales, emisiones de humo de vehículos, quema de vegetación, disposición de basura y tráfico marítimo y aéreo (Rodríguez et al, 2013). En las últimas décadas, la ciudad de Puno ha enfrentado crecientes problemas de contaminación debido al crecimiento desordenado de su población urbana, lo que ha afectado negativamente la biodiversidad, el medio ambiente y la salud de las personas (Quispe et al., 2021; Mamani et al., 2023). La orientación de una vivienda debe estar dirigida a proporcionar el máximo confort al usuario, permitiendo una mejor calidad de vida, especialmente en una era en la que los niveles de contaminación ambiental son altos (Ledespema & Carlos, 2020). La vivienda representa una necesidad social en todo el mundo contemporáneo (García, 2005). En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el impacto del prototipo de jardín vertical LWS en el confort ambiental de una vivienda unifamiliar ubicada a más de 3800 metros sobre el nivel del mar, para mitigar los efectos del cambio climático en una población vulnerable a la transformación de su entorno natural.

## 2. Diseño del jardín vertical LWS

El prototipo de jardín vertical Living Wall Systems (LWS) está compuesto por cinco jardineras modulares fabricados con tubos de PVC de 4 pulgadas de diámetro y 5 pies de largo. Estos tubos pesan 1.21 kg y están sellados en los extremos con tapones de tubería de 4 pulgadas que pesan 0.107 kg. Esto los hace resistentes a la corrosión y ligeros. Cada macetero modular cuenta con ocho orificios superiores de 3 pulgadas de diámetro, ubicados a intervalos de 17 cm, como se ilustra en la Figura 1(a). En estos orificios se colocaron plántulas de melisa (*Melissa officinalis*) con un peso aproximado de 0.25 kg cada una. Estas plantas fueron seleccionadas por su densa vegetación y facilidad de cuidado. Para un crecimiento adecuado, se utilizó un sustrato especial liviano, compuesto por aserrín, tierra, cáscaras de arroz, humus de lombriz y compost en proporciones de 2:1:2:2:2:4. Cada macetero contiene aproximadamente 6 kg de este sustrato.

El sistema de riego adoptado fue riego por goteo a través de un sistema de gravedad con un regulador de flujo y un tanque de agua de 4 litros (peso sin agua: 0.2 kg) asignado a cada macetero. Estos tanques se fijaron a la pared utilizando ganchos de acero inoxidable de 10 mm × 3 mm y alambre galvanizado de 2 mm. Además, se utilizaron mangueras de riego de 4 m de largo, divididas en segmentos de 1.5 m, 1 m, 0.8 m, 0.50 m y 0.2 m, para el riego vertical. También se utilizó una manguera de 4 metros de largo de 7 mm de diámetro, dividida en segmentos de 1.4 m, para el riego horizontal, y se ubicó dentro de cada macetero, como se muestra en la Figura 1(b).

El prototipo se instaló en una pared orientada al noreste utilizando ganchos de acero inoxidable de 20 mm × 3 mm anclados a la pared para soportar los maceteros. Estos se colocaron consecutivamente a intervalos de 20 cm, como se ilustra en la Figura 2(b). Después de la madurez de las plantas, cada macetero pesaba aproximadamente 9.5 kg.



Se calcularon la calidad del aire y el confort térmico del prototipo de jardín vertical LWS. Para medir las variables, se utilizó un instrumento de la marca JD con número de serie 3002, el cual tuvo un rango de medición de CO<sub>2</sub> de 350 ppm a 2000 ppm, TVOC de 0.000 MG/M a 2000 ppm y HCHO de 0.000 mg/m a 1.000 mg/m (Diemer, s.f.). Además, se utilizó un termohigrómetro de la marca Uni-T, modelo UT333, con un rango de temperatura de -10°C a 60°C, una precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$  y un rango de humedad de 0% a 100% con una precisión de  $\pm 5\%$  HR (Tecnología Uni-Trend Limited, s.f.).

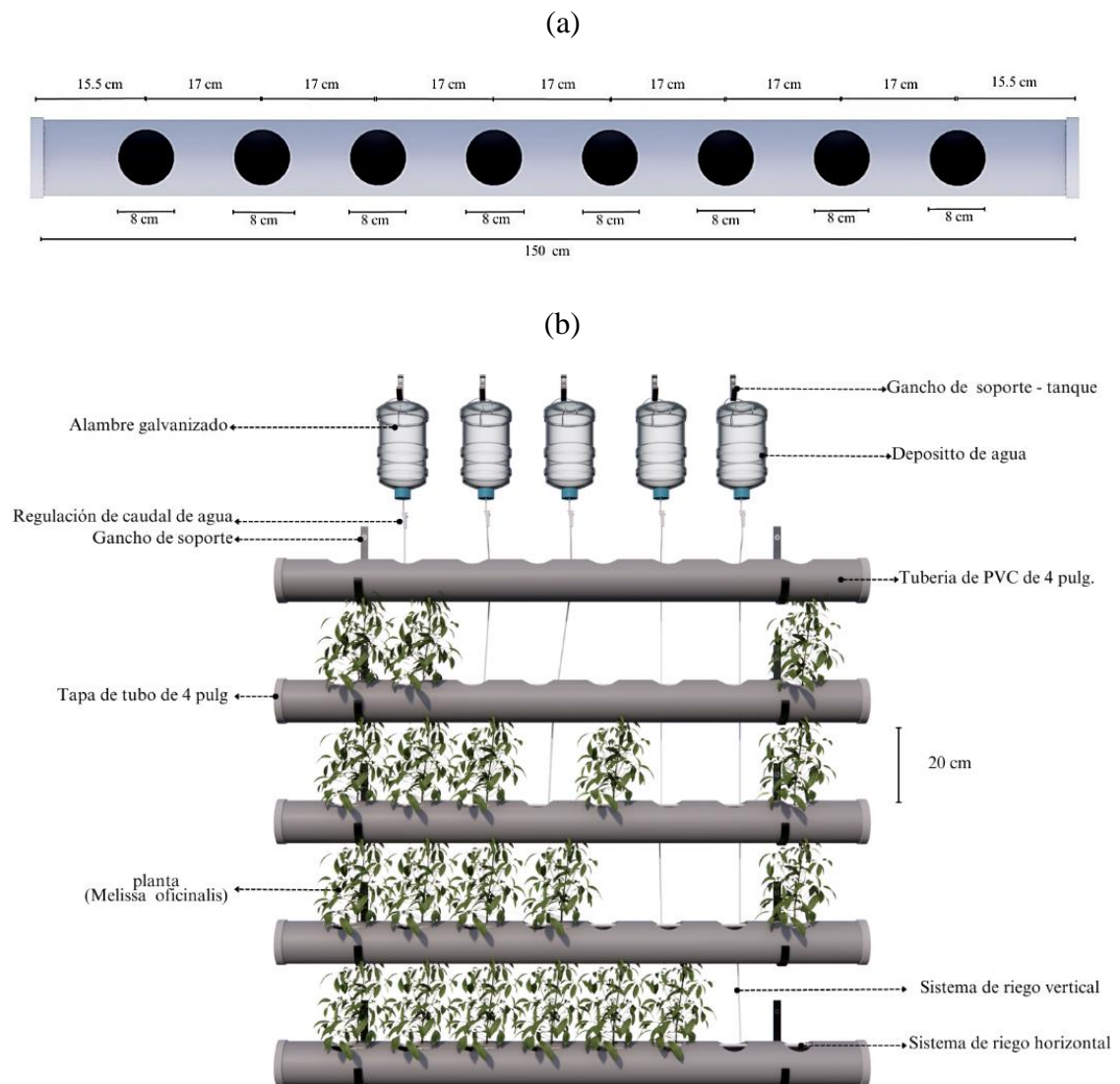
Los datos se recolectaron en dos etapas: la primera se llevó a cabo en verano sin la presencia del jardín vertical, y la segunda se realizó con el prototipo de jardín vertical LWS en las estaciones de verano e invierno. Las mediciones se realizaron a intervalos de tres horas, a las 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 y 00:00 horas. Las mediciones se tomaron en seis puntos a una altura de 1.2 m y en cinco puntos en el primer nivel, más un punto en el segundo nivel, como se muestra en la Figura 2. Los datos se tabularon en hojas de registro para su posterior digitalización en formato TXT.

Los encabezados de las columnas se asignaron a las siguientes variables: día (D), punto (P), experimento (E), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (O), formaldehído (HCHO) (HC), compuestos orgánicos volátiles (TVOC) (TV), temperatura (T) y humedad (H). Los puntos se codificaron como (P-1, P-2, P-3, P-4, P-5, P-6), y los experimentos se codificaron como (1 y 2), donde 1 representa la ausencia del prototipo de jardín vertical LWS y 2 representa la presencia del jardín vertical LWS.

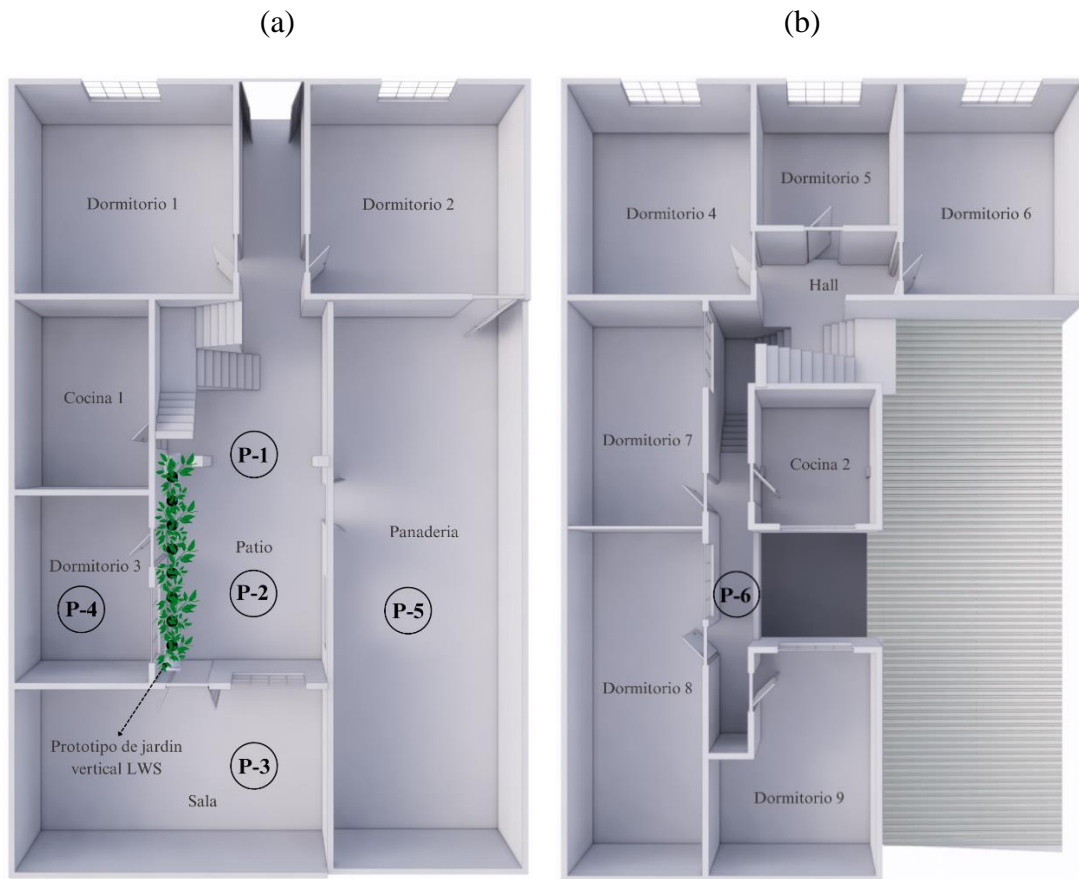
Se utilizó la prueba t de Student para analizar las diferencias entre dos conjuntos de muestras pequeñas e independientes, que tenían una distribución normal y variabilidades iguales (Sánchez, 2015). El proceso involucró varios pasos: primero, la recolección de datos; segundo, la codificación; tercero, la clasificación; cuarto, el procesamiento o tabulación de



los datos; y quinto, la presentación de los datos. Los datos se procesaron utilizando el software R v4.3.1 de la Fundación R.



**Figura 1** (a) Diseño y dimensiones de la jardinera modular. (b) Composición del prototipo del jardín vertical LWS.



**Figure 2** Ubicación de los puntos de monitoreo en el (a) primer nivel y (b) segundo nivel.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Calidad de aire interior en edificios

Se recopiló, tabuló minuciosamente y categorizó para su análisis un total de 1986 puntos de datos. El proceso de desarrollo del prototipo de jardín vertical se llevó a cabo en el espacio del patio interior de una vivienda unifamiliar. La implementación del prototipo de jardín vertical LWS tomó un período de tres semanas, durante las cuales se siguieron etapas metodológicas precisas. Durante la primera semana se obtuvieron los materiales necesarios y se seleccionaron minuciosamente según sus características específicas.

Durante la segunda semana se llevó a cabo un minucioso proceso de montaje en el que se integraron estratégicamente los maceteros, considerando los principios de distribución espacial y procurando la armonización estética con el entorno. La instalación del sistema de riego es vital para el óptimo funcionamiento del prototipo, garantizando



su correcto funcionamiento y su capacidad de aportar la cantidad adecuada de agua a las plantas.

Finalmente, en la tercera semana del proceso se adquirieron plántulas de toronjil (*Melissa officinalis*), las cuales fueron seleccionadas por su adaptabilidad al ambiente de estudio. Se preparó un sustrato altamente especializado combinando componentes específicos como aserrín, tierra, cáscara de arroz, humus de lombriz y compost en proporciones calculadas de 2:1:2:2:2:4. Las plantas fueron trasplantadas a las jardineras, asegurando que se les proporcionara el ambiente adecuado para su sano crecimiento y el desarrollo de su característica vegetación densa. La fase de implementación de este prototipo de jardín vertical supuso no sólo un minucioso proceso sino también un esfuerzo por obtener datos fiables y valiosos para su posterior análisis.

Los datos de comparación corresponden a (CG) el grupo control (sin el prototipo) y (EG) el grupo experimental (con el prototipo). Se ha demostrado que entre ambos grupos existe una diferencia significativa en ambos grupos, con un valor de  $p = 0,001$  para temperatura, CO<sub>2</sub> humedad, TVOC y HCHO. Estos resultados proporcionan información valiosa sobre el comportamiento del prototipo de jardín vertical LWS en un contexto muy particular, los Andes del Sur del Perú, una región altoandina donde las condiciones ambientales son notoriamente duras debido a su altitud y la variabilidad climática que prevalece en la zona. Es importante entender que esta ubicación geográfica, que se caracteriza por condiciones frías y extremas, añade un desafío importante a la adaptación y operación de cualquier sistema de este tipo.

En el grupo control se observó una temperatura promedio de 16,49°C. Esta temperatura es notablemente baja, sugiriendo la influencia del clima frío de la zona altoandina. Además, la humedad relativa promedio en estas condiciones fue de 41,83%, lo que indica un ambiente relativamente seco asociado a las características climáticas de

las grandes altitudes. Sin embargo, en el grupo experimental con el prototipo de jardín vertical LWS se registró una temperatura promedio de 18,07°C. Aunque sigue siendo una temperatura relativamente baja, la presencia del prototipo contribuye a un ligero aumento de la temperatura ambiente. Esto sugiere que el sistema de jardín vertical puede mitigar los efectos del clima frío de la región. La humedad relativa en estas condiciones alcanzó un promedio de 48,81%, lo que indica que el prototipo influyó en la humedad ambiental, contribuyendo a una mayor retención de humedad en el aire, como se muestra en la Tabla 1.

En términos de calidad del aire, la concentración media de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) fue significativamente menor en el grupo experimental (445,10 ppm) que en el grupo de control (489,37 ppm). Esta reducción está relacionada con la capacidad del prototipo para absorber CO<sub>2</sub> y mejorar la calidad del aire interior. Las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC) y formaldehído (HCHO) también fueron menores en el grupo experimental que en el grupo control, lo que sugiere que el prototipo podría contribuir a una disminución de estas sustancias que pueden afectar la calidad del aire, como se muestra en la Tabla 1.

**Table 1** Comportamiento del prototipo de jardín vertical LWS.

Condición	T	H	CO <sub>2</sub>	TVOC	HCHO
CG <sup>1</sup>	16.49 ± 0.12	41.83 ± 0.41	489.37 ± 6.14	0.12 ± 0.00	0.02 ± 0.00
EG <sup>2</sup>	18.07 ± 0.15	48.81 ± 0.33	445.10 ± 3.94	0.06 ± 0.00	0.01 ± 0.00

(1) Grupo control sin el prototipo, (2) Grupo experimental con el prototipo.

Es esencial señalar que estos resultados, obtenidos en una zona altoandina caracterizada por condiciones ambientales extremas, brindan información valiosa sobre el potencial de los sistemas de jardines verticales en ambientes interiores. La capacidad del prototipo para atenuar las variaciones de temperatura y humedad, así como para



mejorar la calidad del aire, es prometedora, especialmente si se consideran las adversidades climáticas únicas de la región. Estos resultados subrayan la relevancia de abordar la adaptación de soluciones ecológicas y sostenibles en contextos ambientales extremos y resaltan la necesidad de futuras investigaciones para profundizar la comprensión de estos efectos y sus implicaciones en regiones similares.

### *3.2. Aumento de la calidad del aire interior en los edificios*

Se ha desarrollado un segundo prototipo (2P), que se ha mejorado aumentando una unidad de jardinera, hasta un total de 5 jardineras. En comparación, el prototipo original (1P) consta de 4 jardineras. Los datos de comparación entre 1P y 2P son los siguientes. En cuanto a la temperatura, los datos indican que no se observó diferencia significativa entre el prototipo original (1P) y el segundo prototipo (2P). La significancia estadística calculada es 0,65. Esto sugirió de manera concluyente que la temperatura se mantuvo en niveles similares en ambos grupos, incluso después de agregar una maceta adicional en el segundo prototipo.

Por otro lado, los resultados muestran que existen diferencias significativas en humedad, concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), contenido de compuestos orgánicos volátiles totales (COTV) y contenido de formaldehído (HCHO) entre los dos prototipos. Los valores de significancia estadística asociados con estos indicadores son todos inferiores a 0,05, lo que indica que la adición de una jardinera ha tenido un impacto medible y relevante en estos parámetros.

Estos resultados confirman que la incorporación de una jardinera adicional en el segundo prototipo (2P) tiene efectos notorios sobre la humedad ambiental, así como las concentraciones de CO<sub>2</sub>, TVOC y HCHO. Las condiciones ambientales en las que se ubican los muros verdes pueden variar su impacto en mayor o menor medida. Estos resultados confirman que la incorporación de una jardinera adicional en el segundo



prototipo (2P) tiene efectos notorios sobre la humedad ambiental, así como sobre las concentraciones de CO<sub>2</sub>, TVOC y HCHO debido a las condiciones ambientales en las que se ubican los muros verdes, lo que puede variar su impacto en mayor o menor medida, tal como propone Charoenkit et al. (2020) y Oquendo-Di et al. (2022). Se ha demostrado que esta variación en el diseño del prototipo tiene una influencia significativa en la regulación de estos factores ambientales.

Estos hallazgos tienen implicaciones relevantes para la optimización de prototipos de jardines verticales, particularmente en situaciones donde el control de la humedad y la calidad del aire son aspectos relevantes, el sistema también protege las condiciones térmicas interiores ya que las sustenta Martínez et al. (2023). Los resultados respaldan firmemente la idea de que la inclusión de más unidades de jardineras puede influir positivamente en la capacidad del prototipo para modificar las condiciones ambientales, mejorar la calidad del aire y contribuir a la reducción de CO<sub>2</sub>. Además, en la Tabla 2, al examinar la temperatura, los datos revelan que ambos prototipos, 1P y 2P, mantienen valores muy similares lo que, junto con los intervalos de confianza superpuestos, indican que la incorporación de una unidad sembradora adicional en el prototipo 2P no ha tenido un impacto positivo significativo sobre la temperatura del ambiente interior. La humedad del prototipo 2P es mayor que la del prototipo 1P. Esta diferencia sugiere que la inclusión de una jardinera adicional en el prototipo 2P influye en la regulación de la humedad del ambiente interior, lo que resulta en niveles más altos de humedad relativa. La concentración de CO<sub>2</sub> en el prototipo 2P era ligeramente inferior a la del prototipo 1P. Esta variación en los resultados podría ser indicativa de la eficacia potencial del prototipo 2P para mejorar la calidad del aire interior. La similitud con el concepto de muro verde propuesto por Mazzali et al. (2013) y Sánchez-Reséndiz et al. (2018) sugiere que el diseño 2P podría ofrecer beneficios comparables a la hora de reducir

la concentración de compuestos nocivos en interiores. Sin embargo, se requieren más estudios para evaluar completamente el impacto y la efectividad de este diseño en diferentes entornos ambientales y para diferentes aplicaciones.

**Table 2** comportamientos prototipo 1 y 2.

<b>Prototipo</b>	<b>T</b>	<b>H</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>TVOC</b>	<b>HCHO</b>
1P	16.45±0.15	30.5± 0.29	444.98±3.92	0.068 ± 0.0	0.019 ± 0.0
2P	16.55±0.14	41.62±0.41	432.42±3.63	0.055 ± 0.0	0.016 ± 0.0

Los resultados indican que el diseño del prototipo, específicamente en términos del número de jardineras, puede tener efectos mensurables en la regulación del ambiente interior, beneficiando tanto la humedad como la calidad del aire. Además de los impactos tangibles en parámetros como la temperatura, la humedad y la calidad del aire, es fundamental resaltar los efectos estéticos y espaciales que el jardín vertical LWS introduce en el ambiente interior, como se muestra en la Figura 3. Esta tecnología no solo se limita a mejorar las condiciones ambientales, sino que también influye significativamente en la calidad visual y espacial del entorno, como en un paisaje urbano Omrany et al. (2016).

El impacto del prototipo de jardín vertical LWS no sólo abarca aspectos funcionales y ambientales, sino que también considera sus efectos en la calidad visual y espacial del ambiente interior. A través de una comparación visual entre el estado previo sin el prototipo y la transformación resultante con la inclusión del jardín vertical LWS, se puede resaltar su función como punto focal en el entorno. La estructura de vegetación vertical agrega una dimensión única que capta la atención y crea un contraste visual con las superficies tradicionales. Esta adición verde no sólo añade valor estético, sino que también conecta a los ocupantes con la naturaleza en un ambiente interior.

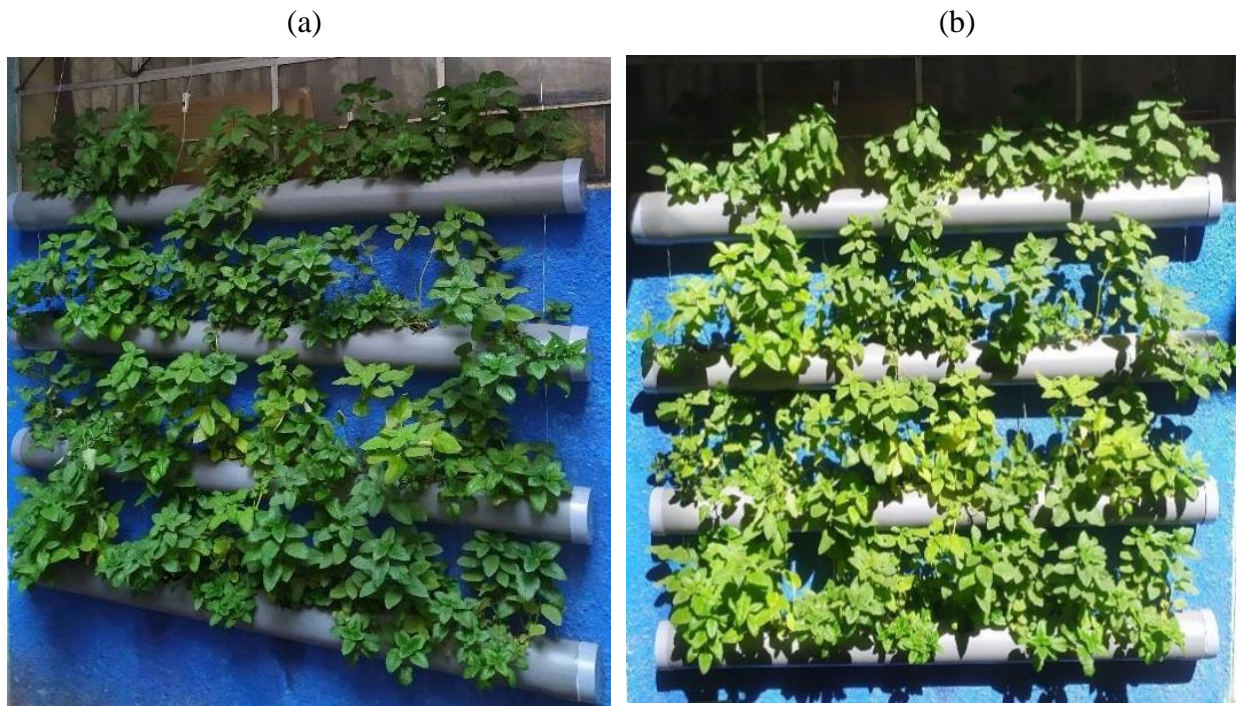


Notablemente, incluso cuando el prototipo LWS está en la sombra, sigue generando una riqueza visual estética, como se muestra en la Figura 3(a). La estructura de vegetación vertical crea un juego de luces y sombras que añade profundidad y dimensión al entorno. Los efectos de luces y sombras sobre las texturas de las hojas y plantas generan una paleta visual dinámica, enriqueciendo la percepción sensorial del espacio. Esta interacción entre la vegetación y la luz contribuye a un ambiente visualmente interesante y agradable, incluso bajo de poca luz.

Cuando el prototipo está expuesta a la luz natural, esta experiencia se intensifica aún más. La luz natural que inunda el espacio interactúa con las hojas y las formas de las plantas, creando patrones cambiantes de sombras y luces. La combinación de la verticalidad de las jardineras con la luz natural refuerza la sensación de altura y amplitud en el espacio interior. Este juego de luz natural agrega una dimensión poética y dinámica que transforma la percepción del entorno, creando un entorno visual en constante cambio, como se muestra en la Figura 3(b).

La calidad espacial también experimenta una metamorfosis notable. La introducción de la verticalidad de las jardineras genera una sensación de altura que enriquece la percepción del espacio. La combinación de texturas y colores de la vegetación contrasta con la de los materiales convencionales, revitalizando y embelleciendo el lugar.





**Figura 3** Estado actual del prototipo LWS (a) Sin iluminación natural y (b) con iluminación natural.

#### 4. Conclusiones

La implementación del LWS en un jardín vertical aumentó significativamente los niveles de confort térmico y mejoró la calidad del aire interior. Los resultados respaldan de manera concluyente que esta solución innovadora tiene un impacto positivo en la regulación de la temperatura y la purificación del aire interior. Además, con el aumento de una unidad de jardinería, el aumento de temperatura no es significativo. Sin embargo, la humedad, el CO<sub>2</sub>, TVOC y HCHO mejoraron significativamente. Este efecto beneficioso sugiere que el aumento progresivo del número de unidades podría conducir a una optimización gradual y sostenible de las condiciones ambientales. La incorporación del jardín vertical LWS añade una dimensión arquitectónica que va más allá de la funcionalidad, convirtiéndose en un elemento que revitaliza, embellece y da carácter a los espacios interiores. Este enfoque no sólo responde a las necesidades prácticas de calidad del aire y confort térmico, sino que también introduce una dimensión sensorial y



estética que enriquece la experiencia del usuario en estos entornos. La interacción de la vegetación con la luz natural y las formas arquitectónicas crea una experiencia visual dinámica y en constante cambio.

### **Consideraciones éticas**

No aplica.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflictos de intereses

### **Fondos**

Esta investigación no recibió ningún apoyo financiero.



## Referencias

- Carbajal, R., Álvarez, A., López, J., Saturno, M., Murray., V. (2023). Detección de Áreas Deforestadas en la Amazonía Peruana mediante Imágenes Satelitales. En: Actas del 7º Simposio Brasileño de Tecnología (BTSym'21). Innovación inteligente, sistemas y tecnologías, 207, 479-486. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04435-9\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04435-9_49)
- Charoenkit, S., Yiemwattana, S. y Rachapradit, N. (2020). Características de las plantas y potencial de las paredes vivas para reducir las temperaturas y secuestrar carbono. Energía y Edificios, 225(110286), 110286. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110286>
- Diemer Materialmedico24.es. (sf). Medidor de CO2 JD 3002.
- García, A. (2005). Vivienda, familia, identidad: la casa como prolongación de las relaciones humanas. Trayectorias rev. científico. soc. Univ. Autón. Nuevo León, 17, 43–56. <https://www.redalyc.org/pdf/607/60722197006.pdf>
- George, A. (2020). Jardines en azoteas para agricultura vertical. en Enciclopedia de materiales renovables y sostenibles, 4, 199-204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10706-4>
- Gil, L., Cáceres, D., Quiñones, L., Adonis, M. (1997). Contaminación del aire en espacios exteriores e interiores en la ciudad de Temuco. Ambiente y Desarrollo, 18(4), 70-78. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/129035>



- Lai, A., Mui, K., Wong, L., Law, L. (2009). Un modelo de evaluación para la aceptación de la calidad ambiental interior (IEQ) en edificios residenciales. Construcción de energía, 41(9), 930–936. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.03.016>
- Lartiga, A., & Santiago, E. (2016). Dos frecuencias de riego en *Salvia farinacea*, *Osteospermum ecklonis* y *Asparagus setaceus* en cuatro diferentes sustratos para jardines verticales. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1980>
- Ledesma, C., & Carlos, J. (2020). Implementación de jardines verticales para vivienda multifamiliares en el distrito de Ate-Provincia de Lima – Región Lima – año 2020. Universidad Privada Telesup. <https://repositorio.utelesup.edu.pe/handle/UTELESUP/1326>
- Luna, X. (2016). Confort térmico y habitabilidad de la vivienda en el AA. S.S. Edén del Manantial, en las lomas costeras El Paraíso. *Investiga Territorios*, 4, 107–123. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/investigaterritorios/article/view/21455>
- Mamani, G.M., Paucara, E.M., Condori, J.A.L., Mamani, V.E., Espinoza, N.B. (2023). Construcción de un prototipo de colector solar de aire de bajo costo para calefacción de viviendas andinas. En: Iano, Y., Saotome, O., Kemper Vásquez, G.L., de Moraes Gomes Rosa, M.T., Arthur, R., Gomes de Oliveira, G. (eds) *Actas del 8º Simposio Brasileño de Tecnología (BTSym'22)* . BTSym 2022. Innovación, sistemas y tecnologías inteligentes, vol 353. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-31007-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-31007-2_18)
- Martínez García, A. J., Estrada Cahuapaza, Y. R., Marín Mamani, G., Enríquez Mamani, V., Cotacallapa Ochoa, K. L., & Curro Pérez, F. (2023). Evaluación térmica de



- un prototipo de edificación rústica a escala 1/5 con envolvente vegetal durante el invierno en el sur del Perú. *Data & Metadata*, 2, 34–34.  
<https://doi.org/10.56294/dm202334>
- Mazzali, U., Peron, F., Romagnoni, P., Pulselli, R. M., & Bastianoni, S. (2013). Investigación experimental sobre el rendimiento energético de Living Walls en un clima templado. *Construcción y Medio Ambiente*, 64, 57–66.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.005>
- Molina, C., & Veas, L. (2012). Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno. *Revista de La Construcción*, 11(2), 27–38.  
<https://doi.org/10.4067/s0718-915x2012000200004>
- Omran, H., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Raahemifar, K., & Tookey, J. (2016). Aplicación de sistemas de paredes pasivas para mejorar la eficiencia energética en los edificios: una revisión exhaustiva. *Reseñas de energías renovables y sostenibles*, 62, 1252–1269.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.010>
- Oquendo-Di Cosola, V., Olivieri, F., & Ruiz-García, L. (2022). Una revisión sistemática del impacto de los muros verdes en el confort urbano: reducción de temperatura y atenuación del ruido. *Reseñas de energías renovables y sostenibles*, 162(112463), 112463. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112463>
- Ordóñez, C., & Ximena, A. (2014). Microclima y confort térmico urbano: análisis sobre la influencia de la morfología del cañón urbano caso de estudio en los barrios el Raval y Gracia, Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23637>



- Perini, K., Barzzocchi, F., Croci, F., Mangliocco, A., Cattaneo, E. (2017). El uso de sistemas verdes verticales para reducir la demanda energética de aire acondicionado. Seguimiento de campo en clima mediterráneo. *Energía y Edificios*, 143, 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.036>
- Quispe, J., Dueñas, M., Arapa, C., Mena, A., Figueroa, N. (2021). Conocimientos de la población de Puno-Perú sobre saneamiento y factores de contaminación del Lago Titicaca y su impacto en la salud humana y el ambiente. *Espacio Abierto: Cuaderno Venezolano de Sociología*, 30(3), 100-121. <https://www.redalyc.org/journal/122/12268654016/html/>
- Rodríguez, M., León, E., Arque, M., Flores, C. (2013). Gerencia regional de recursos naturales y gestión del medio ambiente. <https://www.region.Puno.gob.pe/descargas/planes/2014-PLAN-REGIONAL-DE-ACCION-AMBIENTAL-PUNO-2014-AL-2021.pdf>
- Sánchez, R. (2015). t-Student: Usos y abusos. *Revista Mexicana de Cardiología*, 26 (1), 59-61. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-21982015000100009](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-21982015000100009)
- Sánchez-Reséndiz, J. A., Ruiz-García, L., Olivieri, F., & Ventura-Ramos, E., Jr. (2018). valuación experimental del comportamiento térmico de un sistema de muros vivos en ambientes semiáridos del centro de México. *Energía y Edificios*, 174, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.060>
- Shanahan, D., Brush, R., Gaston, K., Lin, B., Decano, J., Barbero, E., Fuller, R. (2016). Los beneficios de las experiencias en la naturaleza dependen de la dosis. *Informes científicos*, 6(1): 1–10. <https://www.nature.com/articles/srep28551>



Tecnología Uni-Trend (China) Limited. (sf). UT333BT mini medidor de temperatura y humedad (Tecnología Bluetooth) manual de instrucciones. [https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/D100/UT333BT\\_BDA\\_ES](https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/D100/UT333BT_BDA_ES)

Vicuña, E. (2022). Modelo de vivienda auto sostenible para mejorar la habitabilidad y confort de las viviendas de Puno. RAUT, 1(2), 13-27.

Wong, N., Tan, A., Chen, Y., Sekar, K., Puay, C., Chan, T., Chiang, K. (2010). valuación térmica de sistemas de vegetación vertical para muros de edificación. Construir. Reinar, 45(3), 663–672.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013230900198X>

## ANEXOS 3: ARTÍCULO PUBLICADO

# Evaluation of the impact of the LWS vertical garden prototype on the environmental comfort of a single-family house at 3800 m.a.s.l.



Leidy Vanessa Mayta Guzman<sup>a</sup> | Grover Marin Mamani<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela Profesional de Arquitectura y Urbanismo, Perú.

**Abstract** In this study, the impact of the implementation of a vertical garden LWS on indoor air quality and thermal comfort in an urban house in Puno City, located in the Collao plateau in the Peruvian Andes, characterized by extreme environmental conditions and low temperatures. The purpose was to evaluate the impact of the LWS vertical garden prototype on the environmental comfort of a single-family house located at 3800 m.a.s.l. A vertical garden prototype was built with five 1.5 m long modular planters, oriented to the northeast and implementing a drip irrigation system. The air quality and thermal behavior of the vertical garden inside the house were compared, demonstrating its positive effect on thermal comfort and air quality. CO<sub>2</sub> concentration decreased significantly from 489.37 ppm to 445.10 ppm in the garden. Also, the levels of total volatile organic compounds (TVOC) and formaldehyde (HCHO) were significantly reduced, showing the effectiveness of the garden in absorbing atmospheric pollutants. Likewise, an increase in average temperature from 16.49°C to 18.07°C and an increase in relative humidity from 41.83% to 48.81% was observed, suggesting that the garden contributes to mitigating low temperatures. In addition, the modular augmentation of a planter was found to contribute to improved indoor air quality. These results highlight the viability of this technology as a sustainable solution to optimize the indoor environment. It was also observed how the LWS vertical garden adds an aesthetic and spatial dimension to indoor spaces, enhancing spatial perception through the introduction of vertical vegetation and dynamic interaction with natural light.

**Keywords:** thermal comfort, vertical garden, air quality

### 1. Introduction

In an ever-evolving world, human life is facing increasing challenges, including amplified risks, reduced quality, increased stress, and disease proliferation. These problems have been identified as direct manifestations of the excessive increase in pollution (Lartiga, 2016). The construction of housing, without considering the climatic particularities of its location, becomes a crucial factor affecting thermal comfort and internal habitability, negatively affecting the quality of life of residents (Luna, 2016).

Environmental comfort has emerged as a fundamental indicator in any work environment, gaining progressively greater relevance. In this context, air quality is revealed to be an essential component for improving the well-being of building occupants through the implementation of innovative solutions, such as vertical gardens (Molina and Veas, 2012; Perini et al, 2017). Recent research has identified urban morphology and the thermal properties of building materials as primary determinants of microclimate modification (Ordonez & Ximena, 2014).

This study focuses on the critical relevance of air quality in dwellings, especially as urban areas grow and face various environmental challenges (Gil et al, 1997). Indoor environmental quality (IEQ) analysis of buildings focuses on occupant satisfaction, considering key aspects such as thermal comfort and indoor air quality (Lai et al, 2009). In addition, interactions with vegetation have been shown to positively impact thermal comfort, air quality, and resident health, providing noticeable benefits to indoor spaces (Shanahan et al, 2016).

Vertical greening systems have emerged as an ecologically beneficial and environmentally effective response in urban environments. These systems not only improve air quality but also function as absorbent agents of atmospheric pollutants (Wong et al, 2010; Carbajal et al, 2023). Vertical gardens, as contemporary architectural design elements, not only fulfill an aesthetic function but also contribute to energy savings and added value to properties due to their passive approach (George, 2020).



The present project was carried out in a single-family house in the city of Puno, located in Sierra (Andes) of southern Peru, on the border with Bolivia, at the UTM coordinates WGS84 19 L 389926.62 E and 8248418.36 S (Vicuña, 2022). The deterioration of air quality in the region is a result of industrial activities, vehicle smoke emissions, vegetation burning, garbage disposal, and maritime and air traffic (Rodríguez et al, 2013). In recent decades, the city of Puno has faced increasing pollution problems due to the disorderly growth of its urban population, which has negatively affected biodiversity, the environment, and people's health (Quispe et al., 2021; Mamani et al., 2023). The orientation of a dwelling should be aimed at providing maximum comfort to the user, allowing a better quality of life, especially in an era when pollution levels in the environment are high (Ledespema & Carlos, 2020). Housing represents a social need throughout the contemporary world (García, 2005). In this context, the objective of the present study was to evaluate the impact of the LWS vertical garden prototype on the environmental comfort of a single-family house located more than 3800 meters above sea level to mitigate the effects of climate change on a population vulnerable to the transformation of its natural environment.

## 2. LWS vertical garden design

The Living Wall Systems (LWS) vertical garden prototype is composed of five modular planters made of 4-inch diameter, 5-foot-long PVC pipes. These pipes weigh 1.21 kg and are sealed at the ends with 4-inch pipe plugs that weigh 0.107 kg. This makes them corrosion resistant and lightweight. Each modular planter features eight 3-in. diameter top holes, which are located at 17 cm intervals, as illustrated in Figure 1(a). Lemon balm (*Melissa officinalis*) seedlings weighing approximately 0.25 kg each were placed in these holes. These plants were selected for their dense vegetation and ease of care. For adequate growth, a special lightweight substrate, composed of sawdust, soil, rice husks, worm castings, and compost at proportions of 2:1:2:2:4 was used. Each planter contains approximately 6 kg of this substrate.

The irrigation system adopted was drip irrigation through a gravity system with a flow regulator and a 4-liter water tank (weight without water: 0.2 kg) assigned to each planter. These tanks were attached to the wall using 10 mm × 3 mm stainless steel hooks and 2 mm galvanized wire. In addition, 4m long irrigation hoses, divided into 1.5 m, 1 m, 0.8 m, 0.50 m, and 0.2 m segments, were used for vertical irrigation. A four-meter long 7 mm hose, divided into 1.4 m segments, was also used for horizontal irrigation, and was located inside each planter, as shown in Figure 1(b).

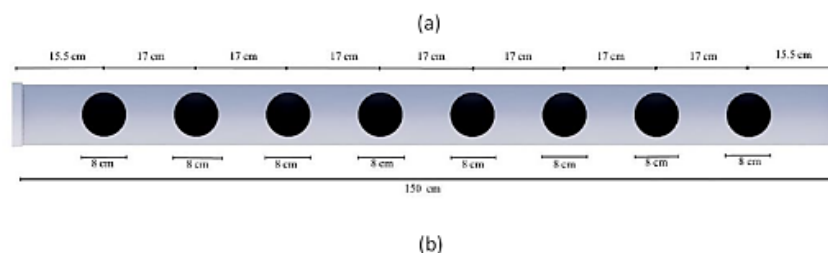
The prototype was installed on a northeast-facing wall using 20 mm × 3 mm stainless steel hooks anchored to the wall to support the planters. These were placed consecutively at 20 cm intervals, as illustrated in Figure 2(b). After plant maturity, each planter weighed approximately 9.5 kg.

The air quality and thermal comfort of the LWS vertical garden prototype were calculated. To measure the variables, a JD brand instrument with serial number 3002 was used, which had a measurement range of CO<sub>2</sub> from 350 ppm to 2000 ppm, TVOC from 0.000 MG/M to 2000 ppm, and HCHO from 0.000 mg/m to 1.000 mg/m (Diemer, sf). In addition, a Uni-T brand thermohygrometer, model UT333, with a temperature range of -10°C to 60°C, an accuracy of ± 1°C, and a humidity range of 0% to 100% with an accuracy of ± 5% RH was used (Tecnología Uni-Trend Limited, sf).

The data were collected in two stages: the first took place in summer without the presence of the vertical garden, and the second took place with the LWS vertical garden prototype in the summer and winter seasons. The recordings were made at three-hour intervals, at 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 and 00:00 hours. Measurements were taken at six points at a height of 1.2 m and five points on the first level, plus one point on the second level, as shown in Figure 2. The data were tabulated on log sheets for subsequent digitization in TXT format.

Column headings used to the following variables: day (D), point (P), experiment (E), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) (O), formaldehyde (HCHO) (HC), volatile organic compound (TVOC) (TV), temperature (T) and humidity (H). The points were assigned a coding (P-1, P-2, P-3, P-4, P-5, P-6), and the experiments were assigned (1 and 2), where 1 represents the absence of the LWS vertical garden prototype and 2 represents the presence of the LWS vertical garden.

Student's t test was used to analyze the differences between two sets of small, independent samples that had a normal distribution and equal variabilities (Sanchez, 2015). The process involved several steps: first, data collection; second, coding; third, classification; fourth, data processing or tabulation; and fifth, data presentation. The data were processed using R v4.3.1 software from the R Foundation.



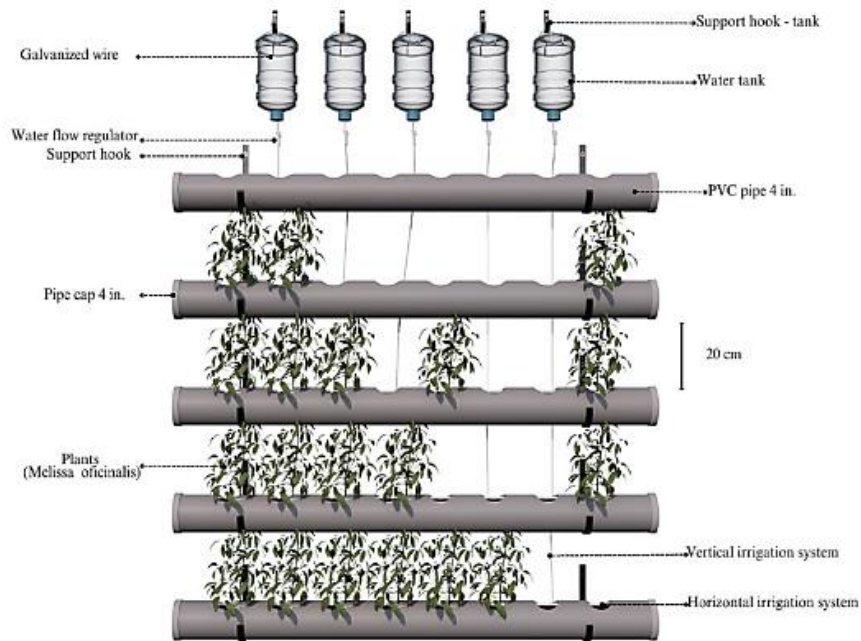


Figure 1 (a) Design and dimensions of the modular garden module. (b) Composition of the LWS vertical garden prototype.



Figure 2 Location of monitoring points at the (a) first level and (b) second level.

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Indoor air quality in buildings

A total of 1986 data points were collected, thoroughly tabulated, and categorized for analysis. The development process of the vertical garden prototype was carried out in the interior courtyard space of a single-family house. The implementation of the LWS vertical garden prototype took a period of three weeks, during which precise methodological stages were followed. During the first week, the necessary materials were obtained and meticulously selected according to their specific characteristics.

During the second week, a meticulous assembly process was carried out in which the planters were strategically integrated, considering the principles of spatial distribution and ensuring aesthetic harmonization with the environment. The installation of the irrigation system is vital for the optimal functioning of the prototype, guaranteeing its correct performance and its capacity to provide the right amount of water to the plants.

Finally, in the third week of the process, lemon balm (*Melissa officinalis*) seedlings, which were selected for their adaptability to the study environment, were acquired. A highly specialized substrate was prepared by combining specific components such as sawdust, soil, rice husks, worm humus, and compost in calculated proportions of 2:1:2:2:2:4. The plants were transplanted into the planters, ensuring that the proper environment was provided for their healthy growth and the development of their characteristic dense vegetation. The implementation phase of this vertical garden prototype involved not only a painstaking process but also an effort to obtain reliable and valuable data for subsequent analysis.

The comparison data correspond to (CG) the control group (without the prototype) and (EG) the experimental group (with the prototype). It has been shown that between both groups, there is a significant difference in both groups, with a  $p$  value = 0.001 for temperature, CO<sub>2</sub> humidity, TVOC, and HCHO. These results provide valuable insight into the behavior of the LWS vertical garden prototype in a very particular context, the Southern Andes of Peru, a high Andean region where environmental conditions are notoriously harsh due to its altitude and the climatic variability that prevails in the area. It is important to understand that this geographical location, which is characterized by cold and extreme conditions, adds a significant layer of challenge to the adaptation and operation of any system of this type.

In the control group, an average temperature of 16.49°C was observed. This temperature is notably low, suggesting the influence of the cold climate of the high Andean zone. In addition, the average relative humidity under these conditions was 41.83%, indicating a relatively dry environment associated with the climatic characteristics of high altitudes. However, in the experimental group with the LWS vertical garden prototype, an average temperature of 18.07°C was recorded. Although this is still a relatively low temperature, the presence of the prototype contributes to a slight increase in the ambient temperature. This suggests that the vertical garden system can mitigate the effects of the cold weather characteristics of the region. The relative humidity under these conditions reached an average of 48.81%, indicating that the prototype influenced the ambient humidity, contributing to a greater retention of moisture in the air, as shown in Table 1.

In terms of air quality, the average carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentration was significantly lower in the experimental group (445.10 ppm) than in the control group (489.37 ppm). This reduction is related to the ability of the prototype to absorb CO<sub>2</sub> and improve the indoor air quality. The concentrations of total volatile organic compounds (TVOCs) and formaldehyde (HCHO) were also lower in the experimental group than in the control group, suggesting that the prototype could contribute to a decrease in these substances that can affect air quality, as shown in Table 1.

Table 1 Comportamiento del prototipo de jardín vertical LWS.

Condition	T	H	CO <sub>2</sub>	TVOC	HCHO
CG <sup>1</sup>	16.49 ± 0.12	41.83 ± 0.41	489.37 ± 6.14	0.12 ± 0.00	0.02 ± 0.00
EG <sup>2</sup>	18.07 ± 0.15	48.81 ± 0.33	445.10 ± 3.94	0.06 ± 0.00	0.01 ± 0.00

(1) Control group without the prototype, (2) Experimental group with the prototype.

It is essential to note that these results, obtained in a high Andean area characterized by extreme environmental conditions, provide valuable insights into the potential of vertical garden systems in indoor environments. The prototype's ability to attenuate temperature and humidity variations, as well as to improve air quality, is promising, especially considering the unique climatic adversities of the region. These results underscore the relevance of addressing the adaptation of ecological and sustainable solutions in extreme environmental contexts and highlight the need for future research to deepen the understanding of these effects and their implications in similar regions.

#### 3.2. Increasing indoor air quality in buildings

A second prototype (2P) has been developed, which has been improved by increasing one planter unit, for a total of 5 planters. In comparison, the original prototype (1P) consists of 4 planters. The comparison data between 1P and 2P are as follows. Regarding temperature, the data indicate that no significant difference was observed between the original prototype

(1P) and the second prototype (2P). The calculated statistical significance is 0.65. This conclusively suggested that the temperature remained at similar levels in both groups, even after the addition of an extra planter unit in the second prototype.

On the other hand, the results show that there are significant differences in humidity, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentration, total volatile organic compound (TVOC) content, and formaldehyde (HCHO) content between the two prototypes. The statistical significance values associated with these indicators are all less than 0.05, indicating that the addition of a planter unit has had a measurable and relevant impact on these parameters.

These results confirm that the incorporation of an additional planter unit in the second prototype (2P) has noticeable effects on the ambient humidity, as well as the CO<sub>2</sub>, TVOC, and HCHO concentrations. The environmental conditions in which the green walls are located can vary their impact to a greater or lesser extent. These results confirm that the incorporation of an additional planter in the second prototype (2P) has noticeable effects on the environmental humidity, as well as on the concentrations of CO<sub>2</sub>, TVOC, and HCHO due to the environmental conditions in which the green walls are located, which can vary their impact to a greater or lesser extent, as proposed by Charoenkit et al. (2020) and Oquendo-Di et al. (2022). This variation in prototype design has been shown to have a significant influence on the regulation of these environmental factors.

These findings have relevant implications for the optimization of vertical garden prototypes, particularly in situations where humidity control and air quality are relevant aspects, the system also protects indoor thermal conditions as it sustains them Martínez et al. (2023). The results strongly support the notion that the inclusion of more planter units can positively influence the ability of the prototype to modify environmental conditions, improve air quality and contribute to CO<sub>2</sub> reduction. Furthermore, in Table 2, when examining temperature, the data reveal that both prototypes, 1P and 2P, maintain very similar values which, together with the overlapping confidence intervals, indicate that the incorporation of an additional planter unit in prototype 2P has not had a significant effect on the temperature of the indoor environment. The humidity of prototype 2P is greater than that of prototype 1P. This difference suggests that the inclusion of an additional planter unit in prototype 2P influences the humidity regulation of the indoor environment, resulting in higher relative humidity levels. The CO<sub>2</sub> concentration in prototype 2P was slightly lower than that in prototype 1P. This variation in results could be indicative of the potential effectiveness of the 2P prototype in improving indoor air quality. The similarity to the green wall concept proposed by Mazzali et al. (2013) and Sánchez-Reséndiz et al. (2018) suggests that the 2P design could offer comparable benefits in reducing the concentration of harmful compounds indoors. However, further studies are required to fully evaluate the impact and effectiveness of this design in different environmental settings and for different applications.

**Table 2** Prototype 1 and 2 behaviors.

Prototype	T	H	CO <sub>2</sub>	TVOC	HCHO
1P	16.45 ± 0.15	30.54 ± 0.29	444.98 ± 3.92	0.068 ± 0.0	0.019 ± 0.0
2P	16.55 ± 0.14	41.62 ± 0.41	432.42 ± 3.63	0.055 ± 0.0	0.016 ± 0.0

The results indicate that the design of the prototype, specifically in terms of the number of planters, can have measurable effects on the regulation of the indoor environment, benefiting both humidity and air quality. In addition to the tangible impacts on parameters such as temperature, humidity, and air quality, it is essential to highlight the aesthetic and spatial effects that the LWS vertical garden introduces into the indoor environment, as shown in Figure 3. This technology not only is limited to improving environmental conditions but also significantly influences the visual and spatial quality of the environment, as in an urban landscape Omrany et al. (2016).

The impact of the LWS vertical garden prototype not only encompasses functional and environmental aspects but also considers its effects on the visual and spatial quality of the indoor environment. Through a visual comparison between the previous state without the prototype and the resulting transformation with the inclusion of the LWS vertical garden, its function as a focal point in the environment can be highlighted. The vertical vegetation structure adds a unique dimension that captures attention and creates a visual contrast to traditional surfaces. This green addition not only adds aesthetic value but also connects occupants to nature in an indoor environment.

Notably, even when the LWS prototype is in shadow, it still generates aesthetic visual richness, as shown in Figure 3(a). The vertical vegetation structure creates a play of light and shadow that adds depth and dimension to the environment. The effects of light and shadow on leaf and plant textures generate a dynamic visual palette, enriching the sensory perception of the space. This interplay between vegetation and light contributes to a visually interesting and pleasing environment, even under lower light conditions.

When the prototype is in daylight, this experience is further intensified. The natural light flooding the space interacts with the leaves and plant shapes, creating changing patterns of shadows and highlights. The combination of the verticality of the planters with the daylight reinforces the sense of height and spaciousness in the interior space. This play of natural light adds a poetic and dynamic dimension that transforms the perception of the environment, creating a constantly changing visual environment, as shown in Figure 3(b).

The spatial quality also undergoes a remarkable metamorphosis. The introduction of the verticality of the planters generates a sense of height that enriches the perception of space. The combination of textures and colors of the vegetation contrasts with that of conventional materials, revitalizing and beautifying the place.



Figure 3 Current status of the LWS prototype (a) without natural illumination and (b) with natural illumination.

#### 4. Conclusions

The implementation of the LWS in a vertical garden significantly increased thermal comfort levels and improved indoor air quality. The results conclusively support that this innovative solution has a positive impact on temperature regulation and indoor air purification. Additionally, with the increase in one landscaping unit, the temperature increase is not significant. However, humidity, CO<sub>2</sub>, TVOC, and HCHO significantly improved. This beneficial effect suggests that the progressive increase in the number of units could lead to a gradual and sustainable optimization of environmental conditions. The incorporation of the LWS vertical garden adds an architectural dimension that goes beyond functionality, becoming an element that revitalizes, beautifies, and gives character to interior spaces. This approach not only responds to the practical needs of air quality and thermal comfort but also introduces a sensory and aesthetic dimension that enriches the user's experience in these environments. The interaction of vegetation with natural light and architectural forms creates a dynamic and constantly changing visual experience.

#### Ethical considerations

Not applicable.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

#### Funding

This research did not receive any financial support.

#### References

- Carbajal, R., Álvarez, A., López, J., Saturno, M., Murray, V. (2023). Detection of Deforested Areas in the Peruvian Amazon Using Satellite Images. In: Proceedings of the 7th Brazilian Technology Symposium (BTSym'21). Smart Innovation, Systems and Technologies, 207, 479-486. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04435-9\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04435-9_49)
- Charoenkit, S., Yiemwattana, S., & Rachapradit, N. (2020). Plant characteristics and the potential for living walls to reduce temperatures and sequester carbon. *Energy and Buildings*, 225(110286), 110286. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110286>
- Diemer Materialmedico24.es. (sf). Medidor de CO<sub>2</sub> JD 3002.
- García, A. (2005). Vivienda, familia, identidad: la casa como prolongación de las relaciones humanas. *Trayectorias rev. científico. soc. Univ. Autón. Nuevo León*, 17, 43-56. <https://www.redalyc.org/pdf/607/60722197006.pdf>
- George, A. (2020). Roof gardens to vertical farming. In *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 4, 199-204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10706-4>
- Gil, L., Cáceres, D., Quiñones, L., Adonis, M. (1997). Contaminación del aire en espacios exteriores e interiores en la ciudad de Temuco. *Ambiente y Desarrollo*, 18(4), 70-78. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/129035>

- Lai, A., Mui, K., Wong, L., Law, L. (2009). An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings. *Energy Build*, 41(9), 930–936. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.03.016>
- Lartiga, A., & Santiago, E. (2016). Dos frecuencias de riego en *Salvia farinacea*, *Osteospermum ecklonis* y *Asparagus setaceus* en cuatro diferentes sustratos para jardines verticales. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1980>
- Ledesma, C., & Carlos, J. (2020). Implementación de jardines verticales para vivienda multifamiliares en el distrito de Ate-Provincia de Lima – Región Lima – año 2020. Universidad Privada Telesup. <https://repositorio.utelesup.edu.pe/handle/UTELESUP/1326>
- Luna, X. (2016). Confort térmico y habitabilidad de la vivienda en el AA. S.S. Edén del Manantial, en las lomas costeras El Paraíso. *Investiga Territorios*, 4, 107–123. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/investigaterritorios/article/view/21455>
- Mamani, G.M., Paucara, E.M., Condori, J.A.L., Mamani, V.E., Espinoza, N.B. (2023). Construction of a Low-Cost Solar Air Collector Prototype for Heating Andean Houses. In: Iano, Y., Saotome, O., Kemper Vásquez, G.L., de Moraes Gomes Rosa, M.T., Arthur, R., Gomes de Oliveira, G. (eds) *Proceedings of the 8th Brazilian Technology Symposium (BTSym'22)*. BTSym 2022. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 353. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-31007-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-31007-2_18)
- Martínez García, A. J., Estrada Cahuapaza, Y. R., Marín Mamani, G., Enríquez Mamani, V., Cotacallapa Ochoa, K. L., & Curro Pérez, F. (2023). Thermal evaluation of a rustic building prototype at 1/5 scale with vegetal envelope during the winter in southern Peru. *Data & Metadata*, 2, 34–34. <https://doi.org/10.56294/dm202334>
- Mazzali, U., Peron, F., Romagnoni, P., Pulselli, R. M., & Bastianoni, S. (2013). Experimental investigation on the energy performance of Living Walls in a temperate climate. *Building and Environment*, 64, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.005>
- Molina, C., & Veas, L. (2012). Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno. *Revista de La Construcción*, 11(2), 27–38. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2012000200004>
- Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Raahemifar, K., & Tooke, J. (2016). Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1252–1269. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.010>
- Oquendo-Di Cosola, V., Olivieri, F., & Ruiz-García, L. (2022). A systematic review of the impact of green walls on urban comfort: temperature reduction and noise attenuation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162(112463), 112463. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112463>
- Ordóñez, C., & Ximena, A. (2014). Microclima y confort térmico urbano: análisis sobre la influencia de la morfología del cañón urbano caso de estudio en los barrios el Raval y Gracia, Barcelona. *Universitat Politècnica de Catalunya*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23637>
- Perini, K., Barzocchi, F., Croci, F., Mangliocco, A., Cattaneo, E. (2017). The use of vertical greening systems to reduce the energy demand for air conditioning. Field monitoring in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 143, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.036>
- Quispe, J., Dueñas, M., Arapa, C., Mena, A., Figueroa, N. (2021). Conocimientos de la población de Puno-Perú sobre saneamiento y factores de contaminación del Lago Titicaca y su impacto en la salud humana y el ambiente. *Espacio Abierto: Cuaderno Venezolano de Sociología*, 30(3), 100–121. <https://www.redalyc.org/journal/122/12268654016/html/>
- Rodríguez, M., León, E., Arque, M., Flores, C. (2013). Gerencia regional de recursos naturales y gestión del medio ambiente. <https://www.region.puno.gob.pe/descargas/planes/2014-PLAN-REGIONAL-DE-ACCION-AMBIENTAL-PUNO-2014-AL-2021.pdf>
- Sánchez, R. (2015). t-Student: Usos y abusos. *Revista Mexicana de Cardiología*, 26 (1), 59–61. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-21982015000100009](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-21982015000100009)
- Sánchez-Reséndiz, J. A., Ruiz-García, L., Olivieri, F., & Ventura-Ramos, E., Jr. (2018). Experimental assessment of the thermal behavior of a living wall system in semi-arid environments of central Mexico. *Energy and Buildings*, 174, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.060>
- Shanahan, D., Brush, R., Gaston, K., Lin, B., Decano, J., Barbero, E., Fuller, R. (2016). Benefits from nature experiences depend on dose. *Scientific reports*, 6(1): 1–10. <https://www.nature.com/articles/srep28551>
- Tecnología Uni-Trend (China) Limited. (sf). UT333BT mini medidor de temperatura y humedad (Tecnología Bluetooth) manual de instrucciones. [https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/D100/UT333BT\\_BDA\\_ES](https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/D100/UT333BT_BDA_ES)
- Vicuña, E. (2022). Modelo de vivienda auto sostenible para mejorar la habitabilidad y confort de las viviendas de Puno. *RAUT*, 1(2), 13–27.
- Wong, N., Tan, A., Chen, Y., Sekar, K., Puay, C., Chan, T., Chiang, K. (2010). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *BUILD. ENVIRON.*, 45(3), 663–672. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013230900198X>



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Leidy Vanessa Mayta Guzman  
identificado con DNI 70308404 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Arquitectura y Urbanismo

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"Evaluación del impacto del prototipo de jardín vertical LWS en el confort ambiental de una vivienda unifamiliar a 3800 m.s.n.m."

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 16 de Septiembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Leidy Vanessa Mayta Guzman,  
identificado con DNI 70308404 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Arquitectura y Urbanismo

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"Evaluación del impacto del prototipo de jardín vertical LWS en el confort ambiental de una vivienda unifamiliar a 3800 m.s.n.m."

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 16 de Septiembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella