

PROPUESTA DE JARDÍN VERTICAL PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL
CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

MARCO ALEXANDER GÓMEZ ARDILA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2019

PROPUESTA DE JARDÍN VERTICAL PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL
CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

MARCO ALEXANDER GÓMEZ ARDILA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de
Ingeniero Civil

Director

ALVARO VIVIESCAS JAIMES

Doctorado en Ingeniería de la Construcción

Codirectora

ANGELICA CORZO HERNÁNDEZ

Doctorado en Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIA

A mis padres Marco T. Gómez y Gladys Ardila, por confiar siempre en mi y
brindarme su apoyo cuando lo necesite.

A mi hermano, porque su recuerdo me brinda fortaleza.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis maestros y compañeros.

A las personas que durante este proceso de formación me brindaron su apoyo.

A Mayra Alejandra Olivero R. por su asesoría y apoyo durante este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. MARCO TEORICO	17
2.1 CIUDADES Y CAMBIO CLIMÁTICO	17
2.1.1 Efecto isla de calor.....	17
2.1.2 Inundaciones.....	18
2.1.3 Escasez de agua.	18
2.2 CONFORT TÉRMICO.....	19
2.3 SOLUCIONES DESDE LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE	19
2.4 SUPERFICIES VEGETALES.....	20
2.5 JARDINES VERTICALES	21
2.6 FACHADAS VERDES CONTEMPORANEAS	22
2.6.1 Fachadas verdes tradicionales.	23
2.6.1.1 Fachada verde modular.	23
2.6.1.2 Fachada verde estructural.	23
2.6.1.3 Fachada verde de plantación a tierra.....	23
2.6.2 Fachadas de tipo hidropónicas.	23
2.6.3 Fachada de plantas trepadoras.	24
3. DESARROLLO	25
3.1 REVISIÓN DE LITERATURA.....	25
3.1.1 Efectos térmicos.	29

3.1.2 Efectos acústicos.	31
3.1.3. Efectos estructurales.	31
3.1.4 Fitorremediación del aire.....	32
3.1.5 Vegetación.	33
3.1.6 Aspectos económicos.	34
3.2 ALTERNATIVAS DE JARDÍN VERTICAL.....	34
3.2.1 Caracterización del muro.	34
3.2.2 Selección de tipo de jardín vertical.	36
3.2.3 Diseño de fachada verde directa.	40
3.2.3.1 Vegetación.	41
3.2.3.2 Recomendaciones.	42
3.2.4 Diseño de fachada verde indirecta.....	43
3.2.4.1 Vegetación.	44
3.2.4.2 <i>Estructura auxiliar.</i>	45
3.2.4.3 <i>Recomendaciones.</i>	46
3.3 POTENCIALES ÁREAS DE DESARROLLO EN EL CAMPUS UIS.....	46
 4. CONCLUSIONES	 51
 5. RECOMENDACIONES	 53
 BIBLIOGRAFÍA	 54

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Lista de palabras más utilizadas en los resultados de búsqueda obtenidos.	25
Tabla 2. Bases de datos y número de artículos encontrados en cada una de las bases de datos según las palabras VERTICAL, GREENERY SYSTEM, ENERGY CONSERVATION y COOLING.	27
Tabla 3. Análisis cualitativo para selección de jardín vertical: fachada verde.	37
Tabla 4. Análisis cualitativo para selección de jardín vertical: muro vivo.	38
Tabla 5. Análisis cuantitativo para la selección de sistema de jardín vertical.	39
Tabla 6. Datos de entrada, referencia propia.	48
Tabla 7. Resultado de toma de datos y caracterización de edificaciones del campus universitario UIS, referencia propia.	49

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Perfil de una isla de calor.....	18
Figura 2. Clasificación de jardines verticales.	22
Figura 3. Autores que se destacan en la búsqueda realizada en Scopus realizada con las palabras GREEN, WALL y VERTICAL.	25
Figura 4. Relación de las palabras más utilizadas en los artículos encontrados.	26
Figura 5. Gráfica de documentos publicados disponibles y años de publicación.	27
Figura 6. Tipo de documentos encontrados disponibles.	28
Figura 7. Cantidad de documentos encontrados por autor.	28
Figura 8. Pared de control y 8 diferentes sistemas de jardín vertical.	30
Figura 9. Montaje experimental en Lleida, España.	31
Figura 10. Ubicación del edificio Laboratorios Pesados-Campus central UIS.	35
Figura 11. Registro fotográfico del muro a intervenir.	35
Figura 12. Registro fotográfico del muro a intervenir.	36
Figura 13. Resultados análisis cuantitativo.	40
Figura 14. Fachada verde directa, diseño propio.	40
Figura 15. Ficus repens.	41
Figura 16. Modelo render de muro y estructura auxiliar, diseño propio.	43
Figura 17. Diseño de fachada verde indirecta, diseño propio.	43
Figura 18. Enredadera ipomoea.	44

LISTA DE ANEXOS

(Los anexos se encuentran adjuntos en el CD y puede ser visualizado en la base de datos de la Biblioteca UIS)

Anexo A. Mapa interactivo.

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA DE JARDÍN VERTICAL PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*

AUTOR: MARCO ALEXANDER GÓMEZ ARDILA**.

PALABRAS CLAVE: Jardín Vertical, Pared viva, Fachada verde, Confort térmico, Cambio climático, Captura de CO₂.

DESCRIPCIÓN

Los jardines verticales representan una solución ante los crecientes problemas que afectan el medio ambiente, ya que integran la vegetación al entorno urbano aprovechando diferentes sectores normalmente inutilizados. A pesar de las múltiples ventajas de la integración de vegetación en las superficies de los edificios, se debe estudiar la manera óptima de implementarlos y sus posibles problemas.

El presente documento muestra los resultados de una revisión sistemática de literatura donde se estudiaron las características de los jardines verticales y sus efectos, en base a esto y considerando las características del lugar de aplicación fue determinado los tipos de jardín vertical que mejor se ajustaran, una vez establecido los tipos de jardín vertical se plantean alternativas de diseño para su aplicación al edificio de Laboratorios pesados de la Universidad Industrial de Santander (UIS). Se concluyó que las mejores alternativas son las fachadas verdes, debido principalmente a su bajo costo y baja necesidad de mantenimiento. Por último, se realiza la caracterización de las posibles zonas de aplicación de jardines verticales en el campus central de la UIS.

Los resultados de esta investigación muestran que los jardines verticales, bajo un correcto diseño pueden ser una efectiva técnica para contrarrestar los problemas ambientales que conlleva el crecimiento de los centros urbanos.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Alvaro Viviescas Jaimes, Doctorado en Ingeniería de la Construcción. Codirectora: Angelica Corzo Hernández, Doctorado en Ingeniería Civil.

ABSTRACT

TITULO: VERTICAL GARDEN PROPOSAL FOR IMPLEMENTATION IN THE CENTRAL CAMPUS OF UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*

AUTOR: MARCO ALEXANDER GÓMEZ ARDILA**.

KEY WORDS: Vertical Garden, Living Wall, Green Facade, Thermal Comfort, Climate Change, CO₂ Capture.

DESCRIPTION

Vertical gardens represent a solution to the growing problems that affect the environment, since they integrate the vegetation into the urban environment, taking advantage of different normally unused sectors. Despite the multiple advantages of the integration of vegetation in the surfaces of the buildings, the optimal way to implement them and their possible problems should be studied.

This document shows the results of a systematic literature review where the characteristics of the vertical gardens and their effects were studied, based on this and considering the characteristics of the place of application, the types of vertical garden that best fit were determined. Once the types of vertical garden have been established, design alternatives are proposed for application to the Laboratorios Pesados building of the Universidad Industrial de Santander (UIS). It was concluded that the best alternatives are green facades, mainly due to their low cost and low maintenance needs. Finally, the characterization of the possible application areas of vertical gardens on the central campus of the UIS is carried out.

The results of this research show that vertical gardens, under a correct design, can be an effective technique to counteract the environmental problems associated with the growth of urban centers.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Alvaro Viviescas Jaimes, Doctorado en Ingeniería de la Construcción. Codirectora: Angelica Corzo Hernández, Doctorado en Ingeniería Civil.

INTRODUCCIÓN

El auge en el sector inmobiliario, en ciudades como Bucaramanga, ha transformado los espacios naturales generando nuevos retos como lo son el efecto isla de calor, reducción del área verde por habitante, contaminación atmosférica, pérdida de biodiversidad, entre otros, factores que afectan la calidad de vida de la población¹.

Por esta razón, en un intento de reducir estos efectos, se busca el aprovechamiento de las edificaciones existentes y futuras para generar zonas verdes en diferentes lugares como lo pueden ser las cubiertas o muros pertenecientes a estas.

En particular, los jardines verticales son una alternativa viable, que aísla las fachadas de la radiación solar, generando así una disminución en la temperatura interna de la edificación. Estos jardines suelen dividirse en fachadas verdes y paredes vivas. La fachada verde es aquella vegetación cultivada cerca de la superficie de la edificación y que crece de manera independiente o con ayuda de estructuras auxiliares, generalmente las especies de tipo trepadora son las más comunes. Las paredes vivas, por el contrario, se refieren a la vegetación cultivada en macetas que se pueden desarrollar en sistemas modulares unidos a las paredes sin depender del espacio de enraizamiento a nivel del suelo².

La efectividad de estos jardines verticales queda evidenciada en diversos estudios donde se ha concluido que su implementación puede generar una disminución en la temperatura interna del edificio de hasta 4.36°C con fachadas verdes y 11.58°C

¹ HERNANDEZ PEDRAZA, Mónica Liliana. Identificación de islas de calor y su influencia en el ambiente atmosférico de la ciudad de Bucaramanga. [En línea]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2013. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cab00066a&AN=BUIIS.1-164145&lang=es&site=eds-live>

² BUSTAMIA, Rosmina; BELUSKO, Martin; WARD, James; & BEECHAM, Simon. Vertical greenery systems: A systematic review of research trends. [En línea]. Building and Environment, 2018, vol. 146, pp. 226-237. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132318306036>

con paredes vivas³. Además, se demostró un ahorro del 33.8% de energía pasiva en estructuras revestidas con fachada verde y un 58.9% en estructuras revestidas con paredes vivas⁴.

En este enfoque la Universidad Industrial de Santander (UIS) cuenta con una política ambiental que busca el mejoramiento continuo de la gestión ambiental de la institución y la minimización de impactos ambientales⁵; partiendo de esta visión y en conjunto con la gran disponibilidad de muros, se establece la UIS en su campus central como un lugar idóneo para la implementación de jardines verticales.

En el presente proyecto se diseñará una propuesta de jardín vertical para ser construido en el edificio de Laboratorios Pesados teniendo en cuenta los efectos estructurales, ambientales y económicos que conlleva su aplicación, esto permitirá plantear criterios iniciales para la identificación de las posibles zonas de desarrollo para estos jardines en el campus central de la UIS.

³ WONG, Nyuk Hien, et al. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. [En línea]. Building and Environment, 2010, vol. 45, no. 3, pp. 663-672. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005>

⁴ COMA, Julià, et al. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. [En línea]. Building and Environment, 2017, vol. 111, pp. 228-237. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132316304383>

⁵ UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Sistema de gestión ambiental: política ambiental. [En línea]. Bucaramanga: UIS, 2019. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/gestionAmbiental/quienesSomos.html>

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un jardín vertical para el edificio de Laboratorios Pesados, determinando las implicaciones técnicas que conlleva su aplicación en muros de mampostería

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar a partir de una revisión sistemática de literatura y estudio de casos existentes los efectos estructurales, ambientales y económicos de los jardines verticales según los materiales que los componen, así como sus ventajas y desventajas.
- Proponer alternativas de jardines verticales para su implementación en un muro de la edificación de la Escuela de Ing. Civil (EIC).
- Caracterizar las potenciales áreas para el desarrollo de jardines verticales en el campus central de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

2. MARCO TEORICO

2.1 CIUDADES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Actualmente más de la mitad de la población mundial vive en las ciudades, siendo estas las mayores consumidoras del suministro energético y como resultado, grandes emisores de gases de efecto invernadero. Según la agencia internacional de energía, los edificios representan actualmente el 40% del uso de energía en la mayoría de los países, siendo este consumo mayor que el transporte o el sector industrial⁶.

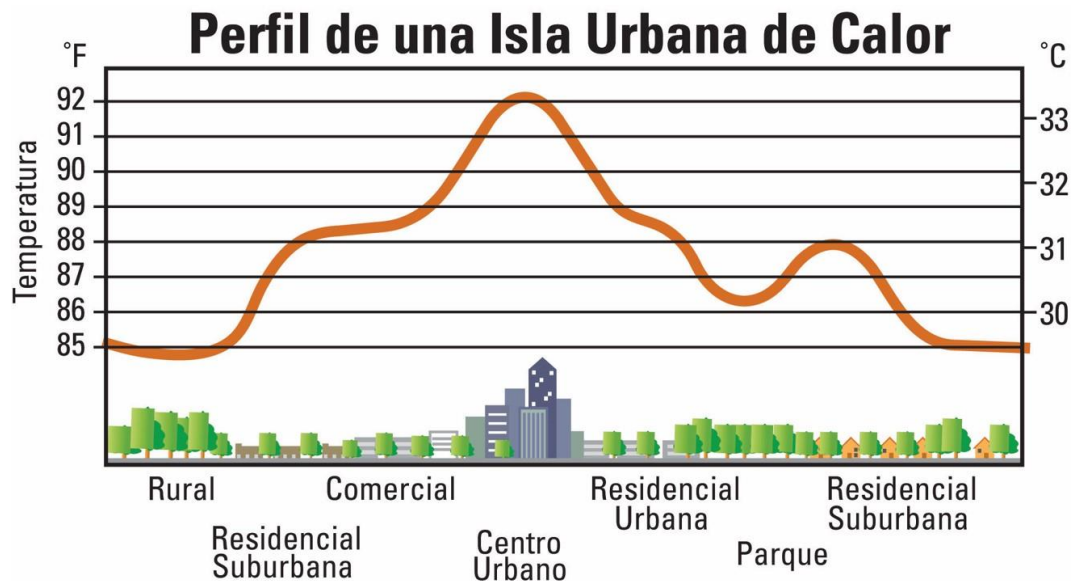
El cambio climático trae consigo diferentes impactos a la ciudad, entre estos; efecto de isla de calor, inundaciones y escasez de agua, estos varían según la región, el tamaño de la ciudad y su nivel de desarrollo.

2.1.1 Efecto isla de calor. El aumento en la temperatura se verá agravado en las áreas urbanas debido a que los edificios, techos, áreas pavimentadas y otras infraestructuras absorben y retienen el calor proveniente del sol, esto puede causar que una ciudad sea varios grados más cálida a comparación de las zonas residenciales circundantes, las cuales tienen más espacio verde y menos materiales absorbentes de calor, en la “Figura 1” se muestra un esquema de estos cambios de temperatura. Estos efectos pueden ser mitigados con programas de siembra y el apoyo a nuevos sistemas de vegetación como lo son los techos y paredes verdes⁷.

⁶ UN-HABITAT. Planning for climate change: a strategic, values-based approach for urban planners. [En línea]. Nairobi: United Nations, 2014. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en https://www.unclearn.org/sites/default/files/inventory/planning_for_climate_change.pdf

⁷ HERNANDEZ PEDRAZA, Mónica Liliana. Óp. Cit.

Figura 1. Perfil de una isla de calor.



Fuente: OÑA, Pedro. Microclima urbano: la ciudad una isla de calor. [En línea]. El aula de historia, 2016. (Recuperado el 20 de octubre del 2019). Disponible en www.elauladehistoria.blogspot.com/2016/01/microclima-urbano-la-ciudad-una-isla-de.html

2.1.2 Inundaciones. El cambio climático puede ocasionar inundaciones de tres maneras diferentes; aumento en el nivel del mar causado por el deshielo de los polos además de la expansión de la masa de agua en los mares por el aumento de temperatura, frecuencia y magnitud de las lluvias en lugares con gran cantidad de superficies impermeables (carreteras, edificios y áreas pavimentadas) con sistemas de alcantarillado pluvial ineficiente, desborde de los ríos en áreas urbanas causado por el aumento en la frecuencia y magnitud de las lluvias⁸.

2.1.3 Escasez de agua. Al igual que el aumento en la frecuencia e intensidad de las lluvias en algunas regiones en otras pueden padecer condiciones de sequía intensa, especialmente durante los meses de verano. La falta de acceso al agua potable y correcto saneamiento es causa principal para enfermedades.

⁸ UN-HABITAT. Óp. Cit.

2.2 CONFORT TÉRMICO

Se comprende como confort térmico cuando las personas en un lugar no presentan sensaciones de calor ni frío, en otras palabras, cuando el ambiente es agradable y adecuado para desarrollar las actividades en el interior de este.

En búsqueda del confort térmico los edificios han sido forzados a implementar sistemas de aire acondicionado o calefacción, lo que en consecuencia incrementa el consumo de energía haciendo de los edificios estructuras poco sostenibles. Conforme a esto, el diseño de las edificaciones debe contemplar factores como la orientación de este, la circulación del aire y sus materiales.

2.3 SOLUCIONES DESDE LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

La construcción sostenible es aquella que hace uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el ambiente además de proveer confort y salud a sus usuarios. Esto es logrado gracias al diseño responsable con el clima y la ecología del entorno donde se construye la edificación⁹. Algunos de las prácticas que presenta la construcción sostenible son:

1. Ubicación estratégica del lugar de construcción de las edificaciones, lo que garantiza el aprovechamiento de la luz solar y la ventilación natural, evitando así el uso desmesurado de luz artificial y aires acondicionados.
2. Elección de materiales constructivos con el menor impacto al ambiente, para esto se deben buscar aquellos de producción local fabricados con tecnologías limpias y con un consumo energético bajo.

⁹ MINISTERIO DE VIVIENDA. Anexo No. 1: Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones. [En línea]. Bogotá: Gobierno de Colombia, 2013. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioVivienda/ANEXO%201%200549%20-%202015.pdf>

3. Mayor interacción de las edificaciones con la naturaleza, es decir, que la vegetación y los entornos naturales que son afectados, sean recuperados en el mismo proyecto de tal forma que no sean vistas como obstáculos sino como elementos que mejoran los proyectos y dan un aspecto más natural, como puede ser la implementación de superficies vegetales.

2.4 SUPERFICIES VEGETALES

Una alternativa ecológica para contrarrestar las problemáticas ambientales en las ciudades es la implementación de superficies vegetales en las edificaciones como lo pueden ser las cubiertas verdes o jardines verticales. *“Estas tecnologías que integran la naturaleza en su sistema, aportan un valor estético a la edificación y a la ciudad, brindando sensación de bienestar a las personas, además de mitigar efectos de isla de calor urbana entre otros beneficios”¹⁰.*

Las primeras superficies vegetales integradas a las estructuras que se conocen en la historia son los jardines colgantes de Babilonia, los cuales fueron considerados como una de las siete maravillas del mundo antiguo, construido en el siglo VI a. c. durante el reinado de Nabucodonosor II, a las orillas del río Éufrates.

Estas superficies vegetales en su mayoría pueden ser clasificadas como techos verdes o jardines verticales; los techos verdes pueden ser definidos como sistemas sostenibles formados por una serie de capas que conforman un paisaje vegetal ubicado en la cubierta de una edificación y los jardines verticales por otra parte son un sistema de plantas ubicadas de manera vertical sobre un muro o estructura, bien sea con ayuda de una estructura auxiliar o de manera independiente.

¹⁰ SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. Techos verdes y jardines verticales. [En línea]. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <http://ambientebogota.gov.co/es/web/publicaciones-sda/techos-verdes-y-jardines-verticales1>

2.5 JARDINES VERTICALES

Siendo los jardines verticales una propuesta para contrarrestar los efectos del cambio climático ya que tiene el potencial de reducir la demanda de energía, minimizar los efectos ambientales y contrarrestar los efectos de isla de calor, estos jardines pueden ser categorizados en fachadas verdes o paredes vivas.

La fachada verde se refiere a la vegetación que crece en o cerca de la superficie de un edificio, puede ser de manera directa como lo hacen las plantas trepadoras, o con ayuda de una estructura auxiliar como se muestra en la figura 2-a. Se demostró que las plantas trepadoras en las fachadas verdes tienen la capacidad de crecer entre 3 a 10 m los primeros 4 años¹¹, con una vida útil de hasta 50 años¹². El diseño, instalación y mantenimiento de este sistema suele ser mucho más fácil a comparación de las paredes vivas.

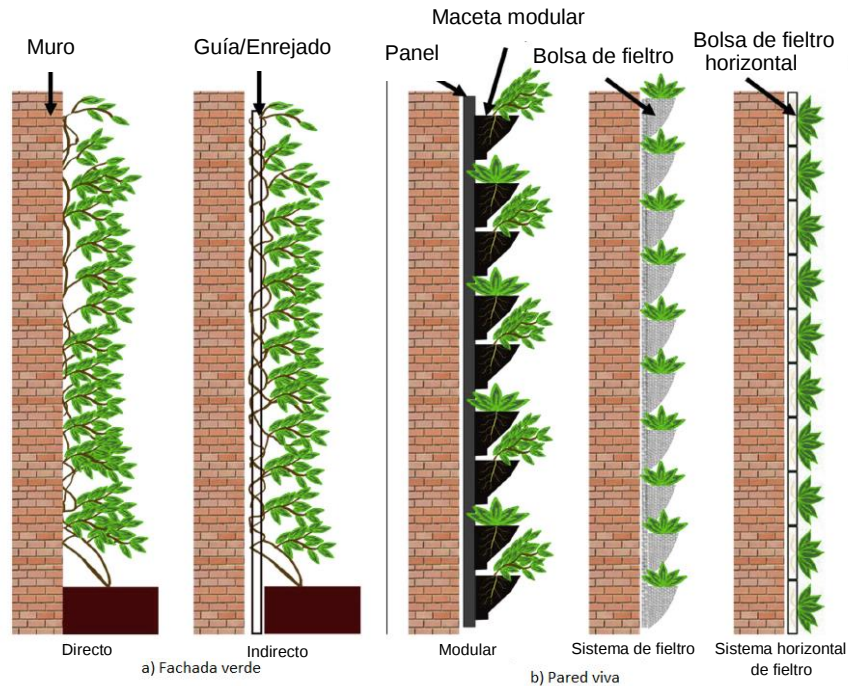
Las paredes vivas por el contrario son un sistema de plantas que suelen ser cultivadas en compartimientos individuales como materas o bolsas de fieltro, o en grupos en sistemas modulares como se muestra en la figura 2. La instalación de este suele ser más compleja que las fachadas verdes y presenta una vida útil de 10 años para los sistemas más sencillos como son las bolsas de fieltro, hasta 50 años para los más complicados como son los sistemas modulares¹³.

¹¹ KÖHLER, Manfred. Green facades—a view back and some visions. [En línea]. Springer US, 2018. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11252-008-0063-x>

¹² PERINI, Katia; OTTELÉ, Marc; HAAS, E.; y RAITERI, Rossana. Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. [En línea]. Urban Ecosystems, 2012, vol. 16, no. 2. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en https://www.researchgate.net/publication/257671167_Vertical_greening_systems_a_process_tree_for_green_facades_and_living_walls

¹³ Ibíd.

Figura 2. Clasificación de jardines verticales.



Fuente: BUSTAMIA, Rosmina; BELUSKO, Martin; WARD, James; & BEECHAM, Simon. Vertical greenery systems: A systematic review of research trends. [En línea]. Building and Environment, 2018, vol. 146, pp. 226-237. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132318306036>

2.6 FACHADAS VERDES CONTEMPORANEAS

González propone las fachadas verdes como la representación semejante de los techos verdes adaptados a los muros verticales, logrando que un muro albergue un jardín de plantas tapizantes de diversos géneros, para que los habitantes puedan disfrutar de sus ventajas¹⁴.

Es fundamental tener en cuenta aspectos como el clima, disponibilidad de agua y disponibilidad de sol para la adecuada elección de las especies, aunque las mejores elecciones siempre serán aquellas plantas que sean autóctonas de la zona,

¹⁴ GONZÁLEZ, Javier. Fachadas verdes, arquitectura alternativa y sostenible: aplicación y caso práctico en España. [Tesis de maestría]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2015. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/77879/Memoria.pdf?sequence=1>

evitando que especies de otro medio natural se reproduzcan de forma incontrolada en el medio natural, afectando las plantas locales¹⁵.

2.6.1 Fachadas verdes tradicionales. Estas se pueden clasificar en tres variables globales: fachada verde modular, fachada verde estructural y fachada verde plantación a tierra¹⁶.

2.6.1.1 Fachada verde modular. Módulos tridimensionales que se adecuan al diseño deseado de la fachada. Este sistema se compone de cinco elementos: contenedores, recipiente aislado, mantenimiento, monitoreo remoto de riego y fertilización y sistema de montaje¹⁷.

2.6.1.2 Fachada verde estructural. Es el tipo de vegetación que forma parte de todo el proceso creativo desde el principio, ya que se integra con la edificación desde su inicio y está comprometida con la estética de este¹⁸.

2.6.1.3 Fachada verde de plantación a tierra. Este tipo de fachada verde es el más antiguo. Se divide en tradicional y diseñado. El tradicional es aquel que se implanta por el habitante de la edificación de manera intuitiva, sin considerar las consecuencias del crecimiento de las raíces, mientras que el diseñado ha sido planificado desde la ubicación hasta el espaciado que ocupará la vegetación¹⁹.

2.6.2 Fachadas de tipo hidropónicas. Consiste en la instalación de láminas que promueve el crecimiento de las plantas, con sistema de riego automatizado con capacidad de recirculación²⁰.

¹⁵ GONZÁLEZ, Javier. Óp. Cit.

¹⁶ Ibíd.

¹⁷ Ibíd.

¹⁸ Ibíd.

¹⁹ Ibíd.

²⁰ Ibíd.

2.6.3 Fachada de plantas trepadoras. Consiste en cubrir muros exteriores con plantas trepadoras tapizantes. Es importante tener en cuenta el mantenimiento que estas requieren para mantener su crecimiento bajo control²¹.

²¹ GONZÁLEZ, Javier. Óp. Cit.

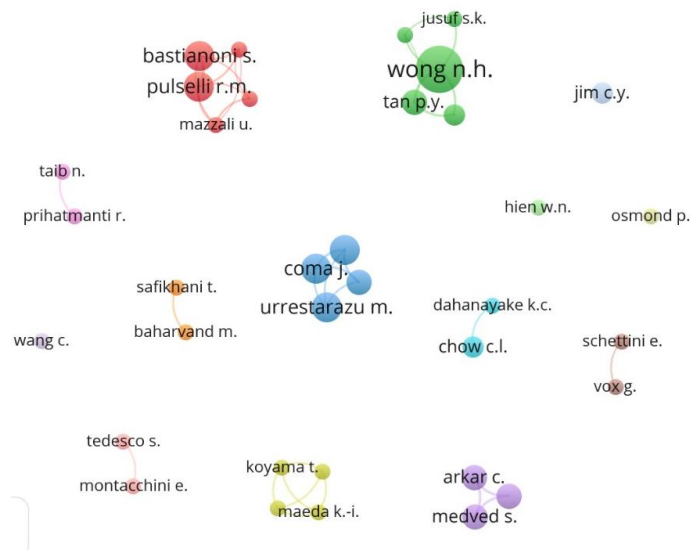
3. DESARROLLO

3.1 REVISIÓN DE LITERATURA

Se realizó una búsqueda de información mediante la revisión sistemática de literatura, utilizando el software VOSviewer de licencia gratuita, para la visualización y análisis de artículos publicados relacionados con el trabajo de investigación.

Para la búsqueda se utilizó como fuente principal de información la base de datos de la biblioteca UIS, SCOPUS, bajo los siguientes términos de consulta: GREEN, WALL y VERTICAL. Al finalizar la búsqueda, se obtienen 147 artículos relacionados con los términos de consulta. A continuación se observan los autores más mencionados fueron Wong n.h, Coma J, Urestarazu M y Bastianoni S.

Figura 3. Autores que se destacan en la búsqueda realizada en Scopus realizada con las palabras GREEN, WALL y VERTICAL.



En la tabla 1 se observan las 11 palabras más utilizadas en los 147 artículos obtenidos, las cuales se encuentran organizadas según su frecuencia de uso.

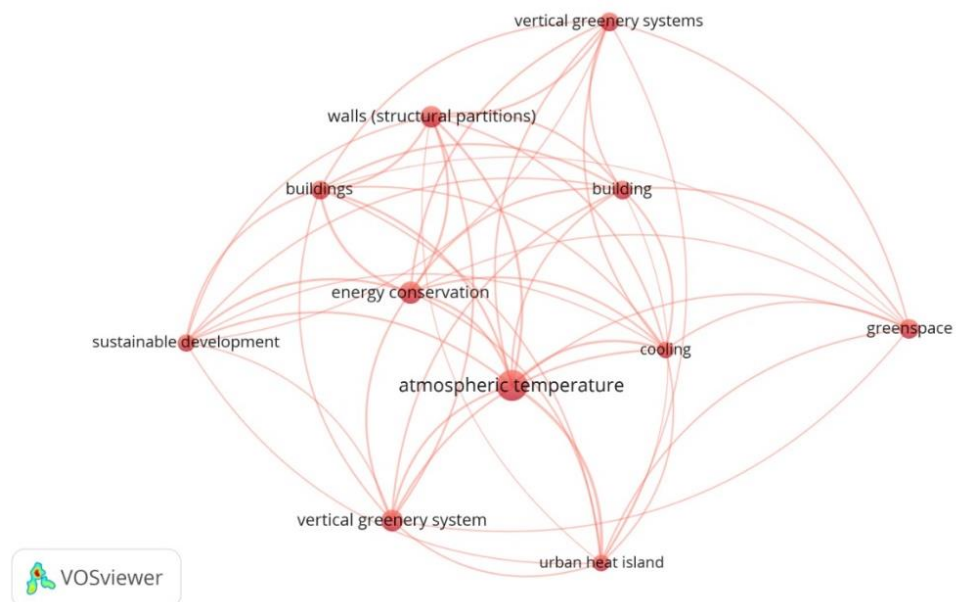
Tabla 1. Lista de palabras más utilizadas en los resultados de búsqueda obtenidos.

Palabra clave	Ocurrencia	Conexión total
atmospheric temperature	32	65
building	19	42
buildings	19	47
cooling	17	42
energy conservation	23	57
greenspace	20	22
sustainable development	18	30
urban heat island	17	35
vertical greenery system	22	35
vertical greenery systems	19	34
walls (structural partitions)	22	47

Fuente: Obtenida de la herramienta de organización de análisis de datos de SCOPUS.

En la siguiente imagen se observa la relación de las palabras señaladas en la tabla anterior en los diferentes artículos hallados en la búsqueda:

Figura 4. Relación de las palabras más utilizadas en los artículos encontrados.



Fuente: Obtenida de la herramienta de organización de análisis de datos de SCOPUS.

Luego de la búsqueda, se determinó que las palabras que se consideran más apropiadas para el análisis y desarrollo de la investigación del proyecto son: VERTICAL, GREENERY SYSTEM, ENERGY CONSERVATION y COOLING.

Obteniendo los resultados de consulta, se procede a retomar la búsqueda de artículos relacionados, esta vez utilizando las palabras claves arrojadas por el programa VOSviewer de las bases de datos SCOPUS y SCIENCE DIRECT.

Tabla 2. Bases de datos y número de artículos encontrados en cada una de las bases de datos según las palabras VERTICAL, GREENERY SYSTEM, ENERGY CONSERVATION y COOLING.

BASE DE DATOS	NÚMERO DE ARTÍCULOS	AÑOS
ScienceDirect	91	1997 - 2019
Scopus	107	2009 - 2018

Se realiza el análisis de resultados haciendo uso de las herramientas gráficas que proporciona la base de datos SCOPUS con los artículos encontrados y se obtuvieron las siguientes tablas, las cuales organizan los resultados según cantidad de publicaciones realizadas por año, el tipo de documento y cantidad de documentos realizados por autor:

Figura 5. Gráfica de documentos publicados disponibles y años de publicación.

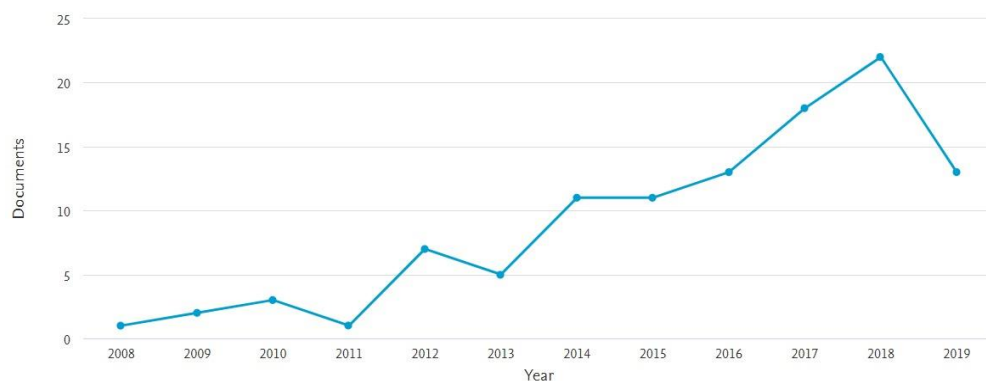


Figura 6. Tipo de documentos encontrados disponibles.

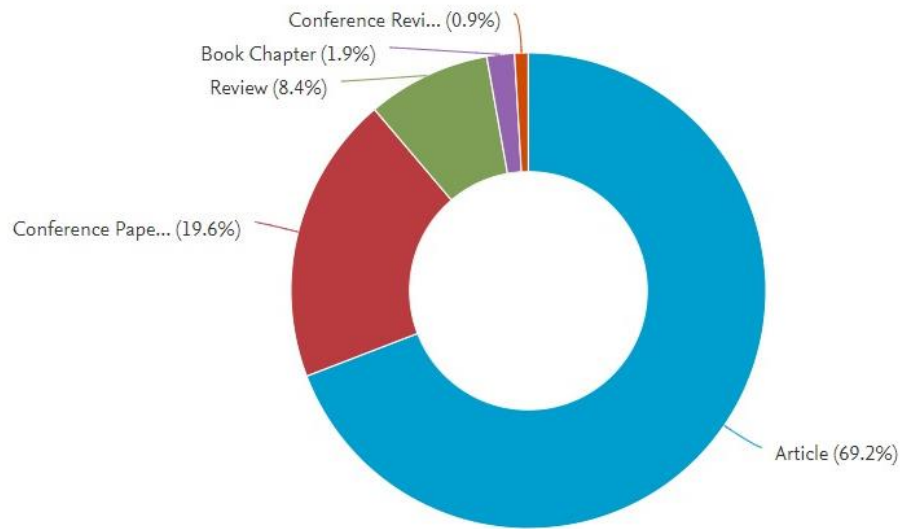
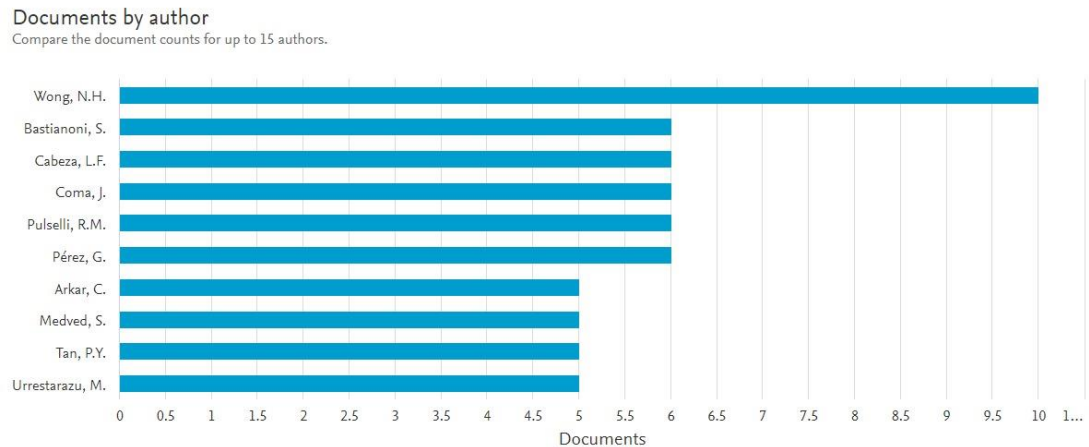


Figura 7. Cantidad de documentos encontrados por autor.



Obteniendo los resultados de esta consulta, se procede a excluir aquellas publicaciones según los siguientes criterios: documentos duplicados, escritos en idiomas diferentes a español o inglés y aquellos que no tuvieran gran relevancia con la temática de jardines verticales. De esta forma se obtuvieron las publicaciones que fueron tomadas como referencia para el desarrollo de la presente investigación. La información obtenida de los artículos seleccionados fue recopilada según los temas de estudio más relevantes para el desarrollo de este proyecto. Estos son:

- Efectos térmicos.
- Efectos acústicos.
- Efectos estructurales.
- Fitorremediación del aire.
- Vegetación.
- Aspectos económicos.

3.1.1 Efectos térmicos. Los beneficios climáticos dados por los jardines verticales fueron demostrados al comparar la temperatura de una pared de control con fachadas cubiertas por jardines verticales en los cuales se evidencio una disminución en las temperaturas altas durante verano y menor perdida de calor durante invierno²²⁻²³⁻²⁴⁻²⁵⁻²⁶.

Estudios comparativos entre fachadas verticales y paredes vivas también han sido desarrollados, Nyuk Hien Wong en Singapur estudio los efectos de 8 diferentes sistemas de jardines verticales mostrados en la figura 3, obteniendo una reducción de hasta 4.36°C con fachadas verdes y 11.58°C con paredes vivas²⁷.

²² DE JESUS, Marina; LOURENÇO, Júlia; ARCE, Rosa; y MACIAS, Manuel. Green façades and in situ measurements of outdoor building thermal behavior. [En línea]. Building and Environment, 2017, vol. 119, pp. 11-19. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.buildenv.2017.03.041>

²³ HOYANO, A. Climatological uses of plants for solar control and the effects on the thermal environment of a building. Energy and buildings, 1998.

²⁴ SUSOROVA, Irina; ANGULO, Melissa; BAHRAMI, Payam; STEPHENS, Brent. A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. [En línea]. Build. Environ, 2013, vol. 67, pp. 1–13. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.027>

²⁵ HOLM, D. Thermal improvement by means of leaf cover on external walls – a simulation model. Energy and buildings, 1989.

²⁶ DAHANAYAKE, K.C.; y CHOW, C.L. Passive energy performance of Vertical Greenery Systems (VGS) under different climatic conditions. [En línea]. Smart Innovation, Systems and Technologies, 2019, vol. 131, pp. 277-286. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85059097243&doi=10.1007%2F978-3-030-04293-6_28&partnerID=40&md5=dd8fcb6e217c8ed7b27bdc17e8c0c04

²⁷ WONG, Nyuk Hien, et al. Op. Cit.

Figura 8. Pared de control y 8 diferentes sistemas de jardín vertical.



Fuente: WONG, Nyuk Hien, et al. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. [En línea]. Building and Environment, 2010, vol. 45, no. 3, pp. 663-672. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005>

Las reducciones de temperatura traen consigo ahorros de energía debido a la disminución en el uso de aires acondicionados, mediante un montaje experimental que consistía en tres cubículos diferentes; de control, recubierto de fachada verde y recubierto de pared viva, como se muestra en la figura 4, en el cual se midió la diferencia de consumo de energía de aire acondicionado para mantener una misma temperatura, demostró un ahorro del 33.8% en estructuras cubiertas de fachada verde y un 58.9% en estructuras revestidas con paredes vivas²⁸.

²⁸ COMA, Julià, et al. Óp. Cit.

Figura 9. Montaje experimental en Lleida, España.



Fuente: COMA, Julià, et al. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. [En línea]. *Building and Environment*, 2017, vol. 111, pp. 228-237. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132316304383>

3.1.2 Efectos acústicos. En los centros urbanos se produce una elevada contaminación auditiva producto de las actividades urbanas, esta puede ser reducida con la implementación de jardines verticales. La vegetación cuenta con la capacidad de atenuar bajas y altas frecuencias de sonido gracias a su porosidad e irregularidad. Estudios demuestran que la reducción de ruido es proporcional a la densidad de vegetación presente en un jardín vertical²⁹⁻³⁰⁻³¹. Se demostró una reducción de hasta 5 dB según la vegetación aplicada³².

3.1.3. Efectos estructurales. La aplicación de un jardín vertical sobre cualquier muro bien sea estructural o no, trae consigo diferentes beneficios como la protección ante influencias externas tales como la lluvia, el viento y el sol. Al disminuir la variación de temperatura entre el día y la noche disminuye la expansión y

²⁹ WONG, Nyuk Hien, et al. Óp. Cit.

³⁰ PÉREZ, G., et al. Acoustic insulation capacity of vertical greenery systems for buildings. *Appl. Acoust*, 2016, vol. 110, pp. 218–226.

³¹ LACASTA, A.M., et al. Acoustic evaluation of modular greenery noise barriers. [En línea]. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2016, vol. 20, pp. 172-179. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84986626453&doi=10.1016%2fj.ufug.2016.08.010&partnerID=40&md5=d073fe2aa1ef322b5f3a96aa08536356>

³² KÖHLER, Manfred. Óp. Cit.

contracción del muro lo que mejora su vida útil. Caso particular de las plantas tipo enredadera con raíces aéreas que pueden penetrar en fisuras, juntas o grietas existentes en el muro acelerando su deterioro³³⁻³⁴.

3.1.4 Fitorremediación del aire. La fitorremediación del aire es todo proceso bioquímico que realizan las plantas y microorganismos asociados a ellas para la mejora de la calidad del aire. Los efectos en la calidad del aire producto de la implementación de jardines verticales han sido estudiados de diferentes maneras, el proceso de fotosíntesis, donde la vegetación captura el CO₂ y lo almacena como biomasa³⁵⁻³⁶ y el depósito de partículas contaminantes sobre las hojas, lo que genera un beneficio a la calidad del aire³⁷.

Recientemente se ha cuantificado la cantidad de dióxido de carbono secuestrado por los jardines verticales, la cual se determina según el contenido de carbono en la biomasa y el sustrato. Después de secar la biomasa se da uso a un analizador de elementos que estima la cantidad de carbono en ella, proceso similar se realiza sobre el sustrato comparándolo con la cantidad de carbono inicial en este³⁸.

Se estima que una pared viva de 98 m² puede retener un promedio de 13.41 a 97.03 Kg de CO₂ por año³⁹. En clima mediterráneo se estimó una captura de CO₂ por año

³³ WONG, Nyuk Hien, et al. Óp. Cit.

³⁴ NAVARRO, Juan. Los jardines verticales en la edificación. [Tesis de Maestría]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2013. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33814/TFM%20JUAN%20NAVARRO.pdf>

³⁵ CHAROENKIT, Sasima; y YIEMWATTANA, Suthat. Role of specific plant characteristics on thermal and carbon sequestration properties of living walls in tropical climate. [En línea]. Building and Environment, 2017, vol. 115, pp. 67-79. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132317300185>

³⁶ MARCHI, Michela, et al. Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. [En línea]. Ecological Modelling, Elsevier, 2015, vol. 306, pp. 46-56. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://ideas.repec.org/a/eee/ecomod/v306y2015icp46-56.html>

³⁷ VAN BOHEMEN; FRAAIJ; y OTTELÉ. Ecological engineering, green roofs and the greening of vertical walls of buildings in urban areas. [En línea]. Open journal of Ecology, 2008. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en http://degroenestad.nl/Media/download/3149/Ecological_Engineering%2C_Green_Roofs_and_the_Greening_of_Vertical_Walls_of_Buildings_in_Urban_Areas.pdf?

³⁸ CHAROENKIT, Sasima; y YIEMWATTANA, Suthat. Óp. Cit.

³⁹ OTHMAN, R.; y KASIM, S.Z.A. Assessment of plant materials carbon sequestration rate for horizontal and vertical landscape design. Int. J. Environ. Sci. Dev, 2016, vol. 7, pp. 410-414.

de 0.44 a 3.18 Kg por metro cuadrado de jardín vertical⁴⁰, valor que desciende drásticamente en climas tropicales según un estudio realizado en Tailandia, donde los resultados mostraron una captura de solo el 2% al 33.6% de la cantidad de CO₂ capturado en el estudio anteriormente nombrado⁴¹.

La región tropical abarca 1/3 del mundo y se estima que para el año 2030 esta tenga más áreas urbanas que rurales, ya que los países en desarrollo que hacen parte de la región tropical han experimentado un mayor crecimiento urbano desde 1992, con un aumento anual aproximado entre 1 y 3%⁴². Es por esto que se considera vital el cultivo de vegetación urbana, considerada como una de las mejores soluciones para problemas de contaminación del aire⁴³.

3.1.5 Vegetación. En busca de reducir costos de mantenimiento y riego se recomendando el uso de plantas nativas y perennes, apropiadas para el clima y la exposición solar donde será instalado el jardín vertical⁴⁴. La selección de variedades pequeñas de vegetación mostro una reducción significativa en los costos de mantenimiento⁴⁵.

La densidad de vegetación presente en el jardín vertical es proporcional al rendimiento térmico de los jardines verticales y por tanto a la mejora en el

⁴⁰ MARCHI, Michela, et al. Óp. Cit.

⁴¹ CHAROENKIT, Sasima; y YIEMWATTANA, Suthat. Óp. Cit.

⁴² ACUÑA, Rubén; y ESTÉVEZ, Carlos. Factibilidad, diseño e instalación de un techo verde en el edificio de postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello en Caracas. [Tesis de pregrado]. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello, 2013. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS6647.pdf>

⁴³ VALBUENA, Steven; y TIBASOSA, Adriana. Estudio de pre-factibilidad técnica, ambiental y económica para la implementación de terrazas verdes en el centro empresarial la castellana de Bogotá. [Tesis de pregrado]. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3341/1/ValbuenaLesmesSteven2015.pdf>

⁴⁴ PERINI, K.; y ROSASCO, P. Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. Build. Environ, 2013, vol. 70.

⁴⁵ LARCHER, F.; MERLO, F.; y DEVECCHI, M. The use of Mediterranean shrubs in green living walls. Agronomic evaluation of *Myrtus communis* L, Acta Hort. (Wagening.)

rendimiento energético de los edificios incorporados con estos jardines, esto debido principalmente al bloqueo de rayos solares y la evapotranspiración⁴⁶⁻⁴⁷⁻⁴⁸⁻⁴⁹.

3.1.6 Aspectos económicos. El costo es un factor significativo al momento de considerar la instalación de jardines verticales, este puede variar según el tipo de sistema utilizado, las plantas y el lugar de instalación. Los beneficios cuantificables de un jardín vertical son el ahorro de energía, aumento del valor del inmueble y mejora en la calidad del aire. Se estima que el periodo de retorno para un jardín vertical comparando solo aquellos costos que pueden medirse y contabilizarse es de 16 a 25 años para fachadas verdes directas, 16 a 42 para fachadas verdes indirectas y más de 50 años para muros vivos⁵⁰⁻⁵¹⁻⁵²⁻⁵³.

3.2 ALTERNATIVAS DE JARDÍN VERTICAL

3.2.1 Caracterización del muro. El muro escogido para la aplicación del jardín vertical se encuentra ubicado en el interior del edificio de Laboratorios Pesados (LP), perteneciente al campus central de la Universidad Industrial de Santander. En la figura 5 se puede observar la ubicación de este.

⁴⁶ CAMERON, R.W.F.; TAYLOR, J.E.; y EMMETT, M.R. What's "cool" in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Build. Environ*, 2014, vol. 73, pp. 198-207.

⁴⁷ PÉREZ, G.; COMA, J.; SOL, S.; y CABEZA, L.F. Green facade for energy savings in buildings: the influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. *Applied Energy*, 2017, vol. 187, pp. 424-437.

⁴⁸ PODDAR, S.; PARK, D.; y CHANG, S. Energy performance analysis of a dormitory building based on different orientations and seasonal variations of leaf area index. *Energy Efficient*, 2017, vol. 10, no. 4, pp. 887-903.

⁴⁹ DAHANAYAKE, K.C.; CHOW, C.L.; y LONG HOU, G. Selection of suitable plant species for energy efficient Vertical Greenery Systems (VGS). [En línea]. *Energy Procedia*, 2017, vol. 142, pp. 2473-2478. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85041497648&doi=10.1016%2fj.egypro.2017.12.185&partnerID=40&md5=611871ac6d4e78708480d3a9cc5dd669>

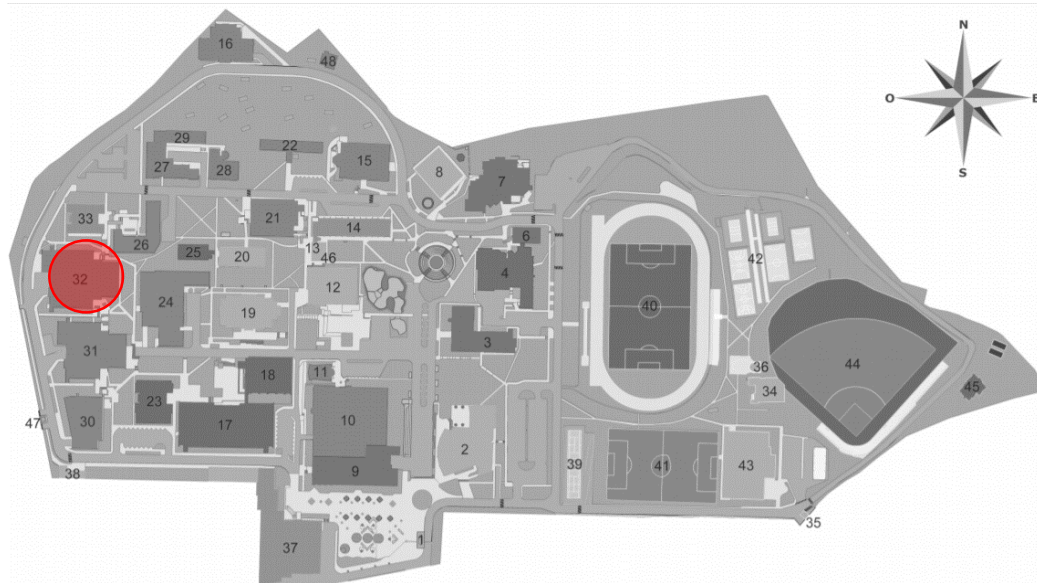
⁵⁰ PERINI, K.; y ROSASCO, P. Óp. Cit.

⁵¹ MANTEROLA, Carlos; ASTUDILLO, Paula; ARIAS, Esteban; y CLAROS, Nataniel. Revisiones sistemáticas de la literatura: Que se debe saber acerca de ellas. [En línea]. *Cirugía Española*, 2013, vol. 91, no. 3, pp. 149 – 155. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.elsevier.es/es-revista-cirugia-espanola-36-pdf-S0009739X11003307>

⁵² GONZÁLEZ, Javier. Óp. Cit.

⁵³ HUANG, Ziyou; LU, yujie; WONG, Nyuk Hien; POH, Choon Hock. The true cost of "greening" a building: Life cycle cost analysis of vertical greenery systems (VGS) in tropical climate. [En línea]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 228, pp. 437-454. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619313666>

Figura 10. Ubicación del edificio Laboratorios Pesados-Campus central UIS.



Fuente: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Mapa Campus Principal. [En línea]. (Recuperado el 20 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/visitenos/mapaCampus/mapaCampus.pdf>

En la zona circundante al muro se encuentra la escuela de ingeniería civil y las oficinas adjuntas a esta. En las figuras 11 y 12 se presenta registro fotográfico del mismo.

Figura 11. Registro fotográfico del muro a intervenir.



Figura 12. Registro fotográfico del muro a intervenir.



Las dimensiones del muro son de 4.10m de ancho por 3.0m de alto y se observó que fue fabricado en mampostería no estructural con bloques tipo tolete perforado.

Este muro fue seleccionado debido a que su única función es de cerramiento, por lo tanto, en caso de presentar daños por deterioro o algún factor relacionado con el jardín vertical, no existirán efectos adversos sobre la edificación a nivel estructural.

3.2.2 Selección de tipo de jardín vertical. Cuatro de los enfoques principales para el diseño de este sistema son: el mejoramiento del confort térmico, la calidad del aire en la zona circundante al jardín, la reducción de costos en la implementación del sistema y los posibles efectos sobre el muro.

Se han escogido cuatro posibles alternativas de jardines verticales, las cuales han sido seleccionadas por su bajo costo y constante participación e importancia en el mercado. Dos de las alternativas son de tipo fachada verde; directa e indirecta, mientras que las otras dos son de tipo muro vivo; sistema de fieltro y sistema modular.

En las tablas 3 y 4 se realizan los análisis cualitativos para fachada verde y muro vivo, respectivamente, donde se evalúan las principales características de las diferentes alternativas de jardín vertical propuestas. Esto, con el fin de determinar la factibilidad de cada una de ellas para su aplicación en el muro anteriormente nombrado.

Tabla 3. Análisis cualitativo para selección de jardín vertical: fachada verde.

FACHADA VERDE

<i>Variable</i>	FACHADA VERDE DIRECTA	Escenario	FACHADA VERDE INDIRECTA	Escenario
Beneficio térmico	Bajo	Desfavorable	Bajo	Desfavorable
Fitorremediación del aire	Media	Favorable	Media	Favorable
Vegetación	Trepadora	Favorable	Trepadora	Favorable
Costo (m2)	Bajo	Favorable	Bajo - Medio	Favorable
Mantenimiento	Mínimo	Favorable	Mínimo - Regular	Favorable

Fuente: ACUÑA, Rubén; y ESTÉVEZ, Carlos. Factibilidad, diseño e instalación de un techo verde en el edificio de postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello en Caracas. [Tesis de pregrado]. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello, 2013. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS6647.pdf>

Tabla 4. Análisis cualitativo para selección de jardín vertical: muro vivo.

MURO VIVO

<i>Variable</i>	SISTEMA DE FIELTRO	Escenario	SISTEMA MODULAR	Escenario
Beneficio térmico	Medio	Favorable	Medio - Alto	Favorable
Fitorremediación del aire	Media - Alta	Favorable	Alta	Favorable
Vegetación	Arbusto	Favorable	Arbusto	Favorable
Costo (m2)	Medio - Alto	Desfavorable	Alto	Desfavorable
Mantenimiento	Regular	Desfavorable	Especial - Permanente	Desfavorable

Fuente: ACUÑA, Rubén; y ESTÉVEZ, Carlos. Factibilidad, diseño e instalación de un techo verde en el edificio de postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello en Caracas. [Tesis de pregrado]. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello, 2013. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS6647.pdf>

Basado en la comparación realizada en las tablas anteriores, se determina que los sistemas de jardines que más favorecen su implementación en el edificio de Laboratorios Pesados, son los dos correspondientes a fachada verde: fachada verde directa y fachada verde indirecta, con una puntaje de 4/5 a favor.

Para el desarrollo del análisis cuantitativo se escogieron tres importantes aspectos generales a evaluar: técnico, económico y ambiental, Los cuales cuentan con diferentes criterios. El análisis se realizó en la tabla 5, donde se asigna una calificación máxima según su nivel de importancia y el sistema que obtenga la mayor puntuación será la opción cuantitativa más factible.

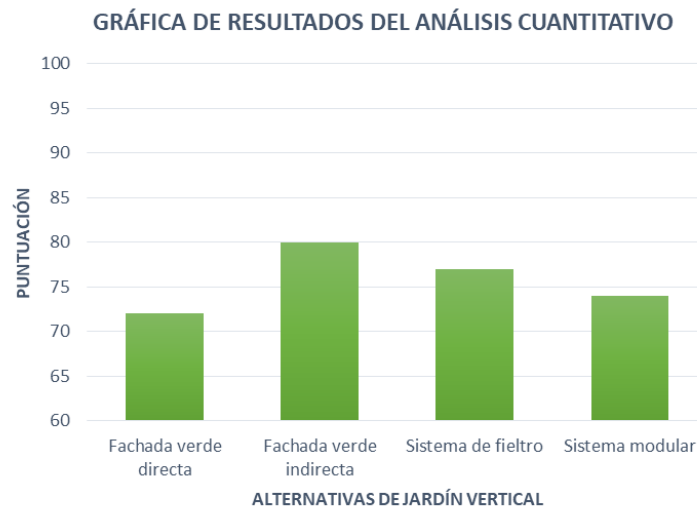
Tabla 5. Análisis cuantitativo para la selección de sistema de jardín vertical.

<i>Aspecto</i>	<i>Criterio</i>	CALIFICACIÓN MÁXIMA	FACHADA VERDE DIRECTA	FACHADA VERDE INDIRECTA	SISTEMA DE FIELTRO	SISTEMA MODULAR
Técnico	Peso	7	6	7	3	4
	Efectos sobre la estructura	7	5	7	5	4
	Mantenimiento	6	6	6	4	3
	Acceso a materiales	3	3	3	2	1
	Facilidad constructiva	7	7	5	3	2
Económico	Costo de materiales	5	7	5	4	2
	Costo de mantenimiento	6	6	6	4	3
	Desmonte	6	4	6	4	5
	Valor agregado a la estructura	6	3	4	5	6
Ambiental	Mejora en calidad del aire	9	4	5	6	7
	Ahorro de energía	9	4	5	7	8
	Ahorro de agua	8	7	7	5	4
	Reducción efecto isla de calor	7	3	5	6	7
	Reducción en contaminación auditiva	6	3	4	5	6
	Confort térmico	8	4	5	6	8
TOTAL		100	72	80	69	70

Fuente: VALBUENA, Steven; y TIBASOSA, Adriana. Estudio de pre-factibilidad técnica, ambiental y económica para la implementación de terrazas verdes en el centro empresarial la castellana de Bogotá. [Tesis de pregrado]. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3341/1/ValbuenaLesmesSteven2015.pdf>

En la siguiente gráfica se puede apreciar la comparación de los resultados obtenidos en el desarrollo del análisis cuantitativo, donde se observa que las opciones de jardines verticales más factibles para su implementación en el muro del edificio de Laboratorios Pesados son las de tipo fachada verde: fachada verde indirecta, con un puntaje de 80/100 y para fachada verde directa con un puntaje de 72/100.

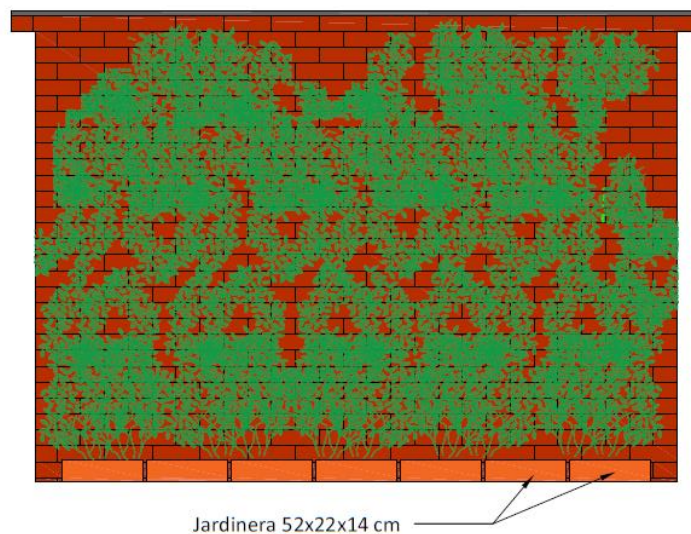
Figura 13. Resultados análisis cuantitativo.



Con base a los resultados obtenidos tanto en el análisis cuantitativo como en el análisis cualitativo, se determinó que las alternativas jardín vertical que más se adecuan a los requerimientos y con mayor factibilidad para su implementación en el muro del edificio de Laboratorios Pesados son: fachada verde directa y fachada verde indirecta.

3.2.3 Diseño de fachada verde directa.

Figura 14. Fachada verde directa, diseño propio.



Teniendo en cuenta el estudio realizado previamente en la selección de la alternativa de jardín vertical, uno de las opciones con mayor factibilidad para su implementación es el diseño de fachada verde directa, la cual hace referencia a la vegetación que crece sobre la superficie de una edificación sin ayuda de estructuras auxiliares. Este tipo de diseño se escogió, ya que se acopla a las características del muro y a las limitaciones planteadas.

3.2.3.1 Vegetación. Luego de consultar diferentes géneros vegetales y recibir asesorías por parte de la empresa CASA AMBIENTE S.A.S para encontrar la planta que mejor se ajustara a las características expuestas, se determinó que la enredadera *ficus repens* es la que mejor se adapta a estas condiciones. La selección se hizo teniendo en cuenta que se acopla al interés de reducir costos por mantenimiento y riego, ya que es una planta nativa y perenne de la zona, la cual se ajusta perfectamente al clima y la exposición solar a la que está sometido el muro seleccionado para la implementación del jardín vertical⁵⁴.

Figura 15. *Ficus repens*.



Fuente: Tomada de https://www.google.com/search?q=figus+tapizante&rlz=1C1CHZL_esCO721CO721&sxsrf=ACYBGNS8WWZswFNrPIM5gvOAfWZZz9Qh_A:1570761191656&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwid7eu2IZPIAhUHLKwKHdHACG8Q_AUIEigB&biw=1366&bih=608#imgrc=WX4

⁵⁴ PERINI, K.; y ROSASCO, P. Óp. Cit.

La *figus repens* es una planta con hojas entre 2 a 3cm de largo, se debe cultivar en semisombra ya que el sol directo quema su follaje. Debe ser regada entre 2 y 3 días a la semana en verano y cada 7 días en temporada de lluvia. Durante su mantenimiento, es importante recortar sus extremidades para estimular su ramificación y debe ser sembrada en suelo bien drenado y con sustrato ligeramente húmedo, ya que es propensa a la pobredumbre de raíces⁵⁵.

3.2.3.2 Recomendaciones. Durante la asesoría de CASA AMBIENTE S.A.S., se realizaron las siguientes recomendaciones para el correcto desarrollo de la planta y el cuidado del muro: Añadir una membrana de impermeabilización para evitar que la raíz penetre en fisuras, juntas o grietas existentes, provocando la porosidad del ladrillo y acelere su deterioro⁵⁶, utilizar macetas jardineras con altura entre los 15 y 20 cm, sembrar cada planta conservando una distancia entre 20 y 25 cm para cubrir la totalidad del muro, utilizar abono orgánico y a los 15 días de sembradas aplicar fertilizante para favorecer el desarrollo vigoroso de la planta, teniendo el cuidado de no afectarla por su uso excesivo.

Se indagó en el mercado por un recipiente para el sustrato con bajo impacto ambiental, que cumpliera con las recomendaciones realizadas por CASA AMBIENTE S.A.S; bajo costo, bajo impacto ambiental y fácil acceso. Luego de realizar la búsqueda, se encontró que la que más se acopla a estos requisitos es una maceta jardinera de arcilla, con dimensiones de 52cm x 22cm x 14 cm, según estas dimensiones fue necesario seis macetas idénticas para cubrir la extensión total del muro.

⁵⁵ VALBUENA, Steven; y TIBASOSA, Adriana. Óp. Cit.

⁵⁶ UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Óp. Cit.

3.2.4 Diseño de fachada verde indirecta.

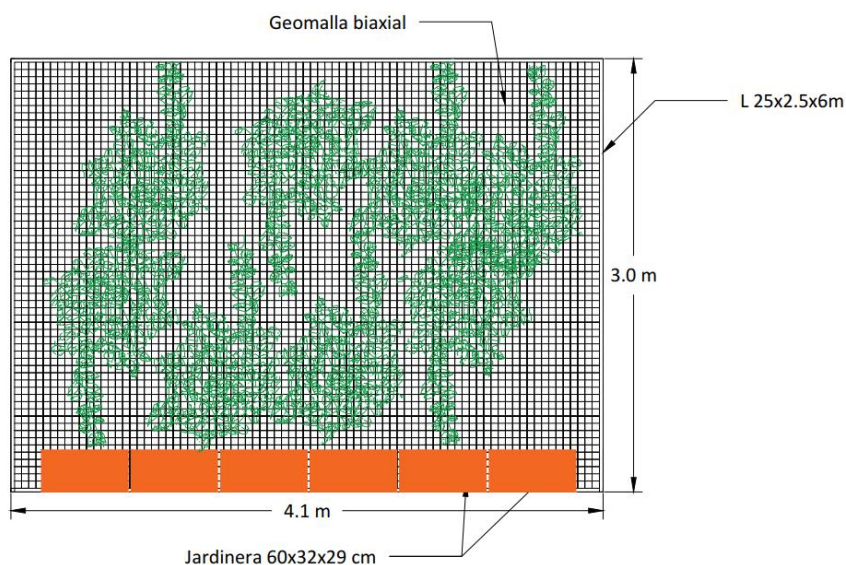
Figura 16. Modelo render de muro y estructura auxiliar, diseño propio.



La segunda alternativa de jardín vertical que se ajustó a las características del muro y las especificaciones planteadas es la fachada verde indirecta, la cual hace referencia a la creación de una estructura auxiliar que se utiliza como soporte de las plantas, de tal manera que estas no tengan contacto directo con la estructura⁵⁷.

Figura 17. Diseño de fachada verde indirecta, diseño propio.

⁵⁷ KÖHLER, Manfred. Óp. Cit.



3.2.4.1 Vegetación. Luego de realizar diferentes consultas de géneros vegetales y recibir asesoría por parte de la empresa CASA AMBIENTE S.A.S. para encontrar la planta que mejor se ajustara a las características expuestas, se determinó que las ipomoeas, más conocidas como “quinceañeras”, son las plantas más adecuadas para el muro y se adaptan fácilmente a la exposición solar, ya que tienen mayor resistencia al ambiente. Estas plantas tienen un crecimiento acelerado y el mantenimiento que se les debe realizar es menor⁵⁸.

Figura 18. Enredadera ipomoea.



⁵⁸ FLOR DE PLANTA. Enredaderas: especies y sus características. [En línea]. 2013. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.flordeplanta.com.ar/plantas/enredaderas-especies-y-sus-caracteristicas/>

Fuente: FLOR DE PLANTA. Enredaderas: especies y sus características. [En línea]. 2013. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.flordeplanta.com.ar/plantas/enredaderas-especies-y-sus-caracteristicas/>

La *ipomoea* es el género más grande de la familia de las plantas con flores Convolvuláceas. Se caracterizan por tener tallos largos y altos, es importante plantarlas en un suelo moderadamente fértil y bien drenado⁵⁹.

3.2.4.2 Estructura auxiliar. Se escogió geomalla biaxial como la estructura auxiliar que servirá como medio de soporte para el crecimiento de la planta trepadora. Dos de las razones por las cuales fue escogida como estructura auxiliar son por su bajo costo en el mercado y una alta resistencia.

Esta asumirá unas dimensiones de 3 x 4.10m, correspondiente a las mismas dimensiones del muro. La geomalla tendrá un marco en L que le permita dar sujeción y soporte.

Respecto a la distancia efectiva de separación entre la estructura de soporte y el muro, según Tabassom Safikhani, se genera un gran impacto en el comportamiento térmico a distancias de 15 o 30 cm, pero su rendimiento varía según la exposición solar. En horas de la mañana, la distancia de 15 cm mostró un mejor rendimiento térmico sobre la temperatura del muro, con una reducción de hasta 1.5°C más que a 30 cm de distancia. En la tarde, la distancia de 30 cm tiene un mayor impacto, cuando la temperatura exterior es más alta y la exposición solar es mayor, con una reducción de hasta 4°C más que cuando se encuentra a 15 cm, ya que la reducción de temperatura está relacionada con la temperatura de la cavidad⁶⁰. Debido a la baja exposición solar de la zona de estudio durante el transcurso del día, se escoge una distancia de 15cm.

⁵⁹ SARMIENTO, Lurdes. Campanita (Ipomoea). [En línea]. Jardineriaon. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.jardineriaon.com/campanita-ipomoea.html>

⁶⁰ SAFIKHANI, Tabassom; y BAHARVAND, Mohammad. Evaluating the effective distance between living walls and wall surfaces. [En línea]. Energy and Buildings, 2017, vol. 150, pp. 498-506. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778817305868>

Para el recipiente del sustrato, acatando las recomendaciones realizadas por CASA AMBIENTE S.A.S., se escogió una maceta de arcilla con medidas de 60 x 32 x 29cm, ya que tienen bajo costo, bajo impacto ambiental y se pueden adquirir en cualquier vivero aledaño a la zona.

3.2.4.3 Recomendaciones. Durante la asesoría realizada en la visita a la empresa CASA AMBIENTE S.A.S., algunas de las recomendaciones que se realizaron por parte de sus jardineros fueron las siguientes: sembrar las semillas de *ipomoea* respetando una separación entre de ellas de 15 cm para permitir el buen desarrollo de las raíces y cuando se empiece a desarrollar la planta, logre cubrir toda el área seleccionada. Fumigar constantemente la zona, ya que estas plantas son propensas al ataque de diferentes tipos de plagas, la recomendación es realizarla una vez al mes⁶¹.

Para mayor estabilidad de la estructura se recomienda la instalación de anclajes metálicos entre el muro y la estructura auxiliar para evitar posibles volcamientos.

3.3 POTENCIALES ÁREAS DE DESARROLLO EN EL CAMPUS UIS

El campus central de la Universidad Industrial de Santander – UIS, cuenta con un área de 337.000 metros cuadrados albergando auditorios, museos, laboratorios, salones de clase, parqueaderos, zonas verdes, zonas deportivas, entre otros⁶². Las fachadas de las edificaciones anteriormente mencionadas, representan una gran oportunidad para la implementación de jardines verticales que promuevan la protección del medio ambiente.

Es importante recalcar que la UIS maneja políticas ambientales que promueven la cultura de desarrollo sostenible para la protección del medio ambiente, la prevención

⁶¹ SARMIENTO, Lurdes. Óp. Cit.

⁶² HUANG, Ziyu; LU, yujie; WONG, Nyuk Hien; POH, Choon Hock. Óp. Cit.

de la contaminación y la minimización de impactos ambientales significativos⁶³, por lo que el desarrollo y aplicación de este proyecto propone acciones que van de la mano con el desarrollo sostenible de la Universidad.

Para la caracterización de las edificaciones se tuvo en cuenta su fácil acceso para evitar elevar costos en instalación y mantenimiento⁶⁴. No se incluyeron edificaciones a las que se consideró que con la instalación de jardines verticales atenuaría su diseño arquitectónico como lo son La Perla, el Aula Máxima de Mecánica, CENTIC, entre otros. Tampoco se tuvieron en cuenta aquellas edificaciones que actualmente se encuentran en remodelación o en construcción.

Para la toma de datos se recorrió todo el campus universitario observando cada edificación y sus muros potencialmente aptos para la aplicación de jardines verticales. Se tomó registro fotográfico y sus medidas respectivas para la organización de la información. Es importante recalcar que el análisis del potencial de captura se realizó bajo la consideración de una altura de jardín vertical no mayor a tres metros, ya que esta permite mantener los bajos costos en instalación y mantenimiento.

En la tabla a continuación se presenta los resultados de la toma de datos, donde se observa que el área potencial de captura total es de 9686.22 m², de los cuales 5749.92 m² son aportados por el muro de cerramiento del campus universitario, un equivalente de 59.4% del área total. Dato que se considera totalmente favorable, ya que estos muros no son de uso arquitectónico ni estructural y solo cumplen con la tarea de aislar el campus universitario del exterior. Para determinar el cálculo de potencial de captura de CO₂ se utilizaron los datos obtenidos por el estudio realizado por M. Marchi⁶⁵ y la modificación de este estudio aplicado a climas tropicales según S. Charoenkit⁶⁶, obteniendo un rango entre 350.64 a 5890.77 kg/año.

⁶³ UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Óp. Cit.

⁶⁴ PERINI, K.; y ROSASCO, P. Óp. Cit.

⁶⁵ MARCHI, Michela, et al. Óp. Cit.

⁶⁶ CHAROENKIT, Sasima; y YIEMWATTANA, Suthat. Óp. Cit.

Tabla 6. Datos de entrada, referencia propia.

Altura propuesta de desarrollo [m]	3	
Rango de captura de CO ₂ [Kg*Año/m ²]	0.036	0.608

Tabla 7. Resultado de toma de datos y caracterización de edificaciones del campus universitario UIS, referencia propia.

No.	Edificio	Área potencial [m2]	Rango potencial de captura de CO₂ [Kg/Año]	
1	Planta de aceros	261.6	9.47	159.09
2	Jorge Bautista V.	207.9	7.53	126.44
3	Facultad Ing. Fisicomecánicas	158.1	5.72	96.15
4	Daniel Casas	156.9	5.68	95.42
5	Lab. Alta tensión	170.1	6.16	103.45
6	Talleres Diseño Industrial	30	1.09	18.24
7	Lab. Hidráulica	120	4.34	72.98
8	EABP	117.6	4.26	71.52
9	Ing. Eléctrica	38.1	1.38	23.17
10	Ing. Industrial	142.5	5.16	86.66
11	Instituto de lenguas	70.2	2.54	42.69
12	Diseño Industrial	135.3	4.90	82.28
13	Cafetería	22.5	0.81	13.68
14	FAVUIS	86.4	3.13	52.55
15	Aula máxima de Física	74.1	2.68	45.06
16	Ing. Química	272.1	9.85	165.48
17	CEIAM	138.9	5.03	84.47
18	Lab. De Posgrado	220.2	7.97	133.92
19	Laboratorios livianos	219.9	7.96	133.73
20	Camilo Torres	119.1	4.31	72.43
21	Ciencias Humanas	310.8	11.25	189.02
22	Ing. Mecánica	178.2	6.45	108.37
23	Bienestar Universitario	71.4	2.58	43.42
24	Administración II	58.2	2.11	35.39
25	Auditorio Luis A. Calvo	149.1	5.40	90.68
26	Canchas de Tenis	107.1	3.88	65.13

No.	Edificio	Área potencial [m2]	Rango potencial de captura de CO₂ [Kg/Año]	
27	<i>Residencias Universitarias</i>	66.3	2.40	40.32
28	<i>Muro de cerramiento</i>	5749.92	208.15	3496.87
29	<i>Administración I</i>	200.1	7.24	121.69
30	<i>Biblioteca</i>	33.6	1.22	20.43
TOTAL		9686.22	350.64	1164 5890.772

En el anexo 1 se observan los resultados de la toma de datos y la caracterización de las edificaciones. Se facilita un mapa interactivo el cual permite visualizar la información de área, rango de potencial de captura de CO₂ y el registro fotográfico de las edificaciones que se desee.

4. CONCLUSIONES

El uso de jardines verticales representa una alternativa viable para el aprovechamiento y transformación de edificaciones, generando zonas verdes en cubiertas y muros como una propuesta a los problemas ambientales de la actualidad y aportando a la disminución de la temperatura interna de estas edificaciones.

Aunque existe una creciente motivación por ampliar el estudio y la implementación de jardines verticales por la preocupación de la situación actual del medio ambiente, se observó que no existen investigaciones relacionadas con los efectos estructurales negativos que pueden generarse en una estructura debido a los efectos de la carga aplicada que pueden generar los la implementación de jardines verticales.

Al comparar variables como beneficio térmico, fitorremediación del aire, tipo de vegetación, costo, mantenimiento y evaluar aspectos técnicos, económicos y ambientales por medio de un análisis cualitativo y cuantitativo, los jardines verticales que más se adecúan a los requerimientos y su implementación tiene mayor factibilidad en el muro del edificio de Laboratorios Pesados son fachada verde directa y fachada verde indirecta.

Para el diseño y desarrollo de la propuesta, se recomienda el uso de plantas trepadoras nativas y perennes; *ficus repens* para fachada verde directa e *ipomoeas* para fachada verde indirecta, ya que se ajustan perfectamente al clima, a las características ambientales y la exposición solar del muro, manteniendo los bajos costos, fácil mantenimiento y la buena estética.

El análisis del potencial de captura de CO₂ se realizó bajo la consideración de una altura de jardín vertical no mayor a 3m, ya que esta altura permite mantener los costos bajos en lo que refiere a instalación y mantenimiento.

El área potencial de captura total de CO₂ es de 9686.22 m², de los cuales 5749.92 m² son aportados por el muro de cerramiento del campus universitario, un equivalente de 59.4% del área total. Por lo que se le considera como la principal zona de desarrollo, teniendo a favor que no representa ningún uso arquitectónico ni estructural, solo cerramiento.

Aunque en el desarrollo de este proyecto solo se estimaron los beneficios de captura de CO₂, debido a que es el único que puede ser cuantificado, los jardines verticales tienen un gran aporte en la reducción de isla de calor, escorrentías de aguas pluviales, reducción de polvo, conservación de la naturaleza y aumento de la biodiversidad.

5. RECOMENDACIONES

-Los estudios que se referenciaron en este proyecto comprueban los efectos positivos de los jardines verticales, por ello se recomienda continuar con la implementación de estos en el campus de la Universidad Industrial de Santander, promoviendo la cultura ambiental.

-Se recomienda realizar estudios experimentales de jardines verticales en los que se analicen sus efectos ambientales tanto positivos como negativos, para así obtener datos de su comportamiento en las condiciones climáticas de Bucaramanga.

-Se recomienda a la Universidad Industrial de Santander realizar incentivos a aquellas escuelas que promuevan y motiven la implementación y el desarrollo de espacios verdes y jardines verticales en sus edificaciones, esto con el fin de promover la cultura del cuidado del medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA, Rubén; y ESTÉVEZ, Carlos. Factibilidad, diseño e instalación de un techo verde en el edificio de postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello en Caracas. [Tesis de pregrado]. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello, 2013. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS6647.pdf>

BUSTAMIA, Rosmina; BELUSKO, Martin; WARD, James; & BEECHAM, Simon. Vertical greenery systems: A systematic review of research trends. [En línea]. Building and Environment, 2018, vol. 146, pp. 226-237. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132318306036>

CAMERON, R.W.F.; TAYLOR, J.E.; y EMMETT, M.R. What's "cool" in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. Build. Environ, 2014, vol. 73, pp. 198-207.

CHAROENKIT, Sasima; y YIEMWATTANA, Suthat. Role of specific plant characteristics on thermal and carbon sequestration properties of living walls in tropical climate. [En línea]. Building and Environment, 2017, vol. 115, pp. 67-79. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132317300185>

COMA, Julià, et al. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. [En línea]. Building and Environment, 2017, vol. 111, pp. 228-237. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132316304383>

DAHANAYAKE, K.C.; CHOW, C.L.; y LONG HOU, G. Selection of suitable plant species for energy efficient Vertical Greenery Systems (VGS). [En línea]. Energy Procedia, 2017, vol. 142, pp. 2473-2478. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85041497648&doi=10.1016%2fj.egypro.2017.12.185&partnerID=40&md5=611871ac6d4e78708480d3a9cc5dd669>

DAHANAYAKE, K.C.; y CHOW, C.L. Passive energy performance of Vertical Greenery Systems (VGS) under different climatic conditions. [En línea]. Smart Innovation, Systems and Technologies, 2019, vol. 131, pp. 277-286. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85059097243&doi=10.1007%2f978-3-030-04293-6_28&partnerID=40&md5=dd8fcba6e217c8ed7b27bdc17e8c0c04

DE JESUS, Marina; LOURENÇO, Júlia; ARCE, Rosa; y MACIAS, Manuel. Green façades and in situ measurements of outdoor building thermal behavior. [En línea]. Building and Environment, 2017, vol. 119, pp. 11-19. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.buildenv.2017.03.041>

FLOR DE PLANTA. Enredaderas: especies y sus características. [En línea]. 2013. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.flordeplanta.com.ar/plantas/enredaderas-especies-y-sus-caracteristicas/>

GONZÁLEZ, Javier. Fachadas verdes, arquitectura alternativa y sostenible: aplicación y caso práctico en España. [Tesis de maestría]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2015. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/77879/Memoria.pdf?sequence=1>

HERNANDEZ PEDRAZA, Mónica Liliana. Identificación de islas de calor y su influencia en el ambiente atmosférico de la ciudad de Bucaramanga. [En línea].

Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2013. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat00066a&AN=BUIS.1-164145&lang=es&site=eds-live>

HOLM, D. Thermal improvement by means of leaf cover on external walls – a simulation model. *Energy and buildings*, 1989.

HOYANO, A. Climatological uses of plants for solar control and the effects on the thermal environment of a building. *Energy and buildings*, 1998.

HUANG, Ziyou; LU, yujie; WONG, Nyuk Hien; POH, Choon Hock. The true cost of “greening” a building: Life cycle cost analysis of vertical greenery systems (VGS) in tropical climate. [En línea]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 228, pp. 437-454. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619313666>

KÖHLER, Manfred. Green facades—a view back and some visions. [En línea]. Springer US, 2018. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11252-008-0063-x>

LACASTA, A.M., *et al.* Acoustic evaluation of modular greenery noise barriers. [En línea]. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2016, vol. 20, pp. 172-179. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84986626453&doi=10.1016%2fj.ufug.2016.08.010&partnerID=40&md5=d073fe2aa1ef322b5f3a96aa08536356>

LARCHER, F.; MERLO, F.; y DEVECCHI, M. The use of Mediterranean shrubs in green living walls. Agronomic evaluation of *Myrtus communis* L, *Acta Hortic.* (Wagening.)

MANTEROLA, Carlos; ASTUDILLO, Paula; ARIAS, Esteban; y CLAROS, Nataniel. Revisiones sistemáticas de la literatura: Que se debe saber acerca de ellas. [En línea]. Cirugía Española, 2013, vol. 91, no. 3, pp. 149 – 155. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.elsevier.es/es-revista-cirugia-espanola-36-pdf-S0009739X11003307>

MARCHI, Michela, *et al.* Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. [En línea]. Ecological Modelling, Elsevier, 2015, vol. 306, pp. 46-56. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://ideas.repec.org/a/eee/ecomod/v306y2015icp46-56.html>

MINISTERIO DE VIVIENDA. Anexo No. 1: Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones. [En línea]. Bogotá: Gobierno de Colombia, 2013. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioVivienda/ANEXO%201%200549%20-%202015.pdf>

NAVARRO, Juan. Los jardines verticales en la edificación. [Tesis de Maestría]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2013. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33814/TFM%20JUAN%20NAVARRO.pdf>

OTHMAN, R.; y KASIM, S.Z.A. Assessment of plant materials carbon sequestration rate for horizontal and vertical landscape design. Int. J. Environ. Sci. Dev, 2016, vol. 7, pp. 410-414.

PÉREZ, G., *et al.* Acoustic insulation capacity of vertical greenery systems for buildings. Appl. Acoust, 2016, vol. 110, pp. 218–226.

PÉREZ, G.; COMA, J.; SOL, S.; y CABEZA, L.F. Green facade for energy savings in buildings: the influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. *Applied Energy*, 2017, vol. 187, pp. 424-437.

PERINI, K.; y ROSASCO, P. Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. *Build. Environ*, 2013, vol. 70.

PERINI, Katia; OTTELÉ, Marc; HAAS, E.; y RAITERI, Rossana. Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. [En línea]. *Urban Ecosystems*, 2012, vol. 16, no. 2. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en https://www.researchgate.net/publication/257671167_Vertical_greening_systems_a_process_tree_for_green_facades_and_living_walls

PODDAR, S.; PARK, D.; y CHANG, S. Energy performance analysis of a dormitory building based on different orientations and seasonal variations of leaf area index. *Energy Efficient*, 2017, vol. 10, no. 4, pp. 887–903.

SAFIKHANI, Tabassom; y BAHARVAND, Mohammad. Evaluating the effective distance between living walls and wall surfaces. [En línea]. *Energy and Buildings*, 2017, vol. 150, pp. 498-506. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778817305868>

SARMIENTO, Lurdes. Campanita (Ipomoea). [En línea]. *Jardineriaon*. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.jardineriaon.com/campanita-ipomoea.html>

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. Techos verdes y jardines verticales. [En línea]. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <http://ambientebogota.gov.co/es/web/publicaciones-sda/techos-verdes-y-jardines-verticales1>

SUSOROVA, Irina; ANGULO, Melissa; BAHRAMI, Payam; STEPHENS, Brent. A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. [En línea]. Build. Environ, 2013, vol. 67, pp. 1–13. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.027>

UN-HABITAT. Planning for climate change: a strategic, values-based approach for urban planners. [En línea]. Nairobi: United Nations, 2014. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en https://www.uncclearn.org/sites/default/files/inventory/planning_for_climate_change.pdf

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Sistema de gestión ambiental: política ambiental. [En línea]. Bucaramanga: UIS, 2019. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/gestionAmbiental/quienesSomos.html>

VALBUENA, Steven; y TIBASOSA, Adriana. Estudio de pre-factibilidad técnica, ambiental y económica para la implementación de terrazas verdes en el centro empresarial la castellana de Bogotá. [Tesis de pregrado]. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3341/1/ValbuenaLesmesSteven2015.pdf>

VAN BOHEMEN; FRAAIJ; y OTTELÉ. Ecological engineering, green roofs and the greening of vertical walls of buildings in urban areas. [En línea]. Open journal of Ecology, 2008. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en http://degroenestad.nl/Media/download/3149/Ecological_Engineering%2C_Green_Roofs_and_the_Greening_of_Vertical_Walls_of_Buildings_in_Urban_Areas.pdf?

WONG, Nyuk Hien, *et al.* Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. [En línea]. Building and Environment, 2010, vol. 45, no. 3, pp. 663-

672. (Recuperado el 17 de octubre del 2019). Disponible en
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005>