Sistema de fachadas verdes permeables con plantas trepadoras venezolanas: propuesta de desarrollo tecnológico

Permeable Green Façade Systems with Venezuelan Climbing Plants: A Technological Development Proposal

MSc. Arq. Ivano Aspesi Garzonio
https://orcid.org/0009-0001-2470-9482
Correo-e: ultra.66@gmail.com
Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC). Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Central de Venezuela

Dr. Ing. Luis Alvydas Rosales Statkus
https://orcid.org/0009-0001-6223-8466
Correo-e: luisrosalesucv@gmail.com
Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC). Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Central de Venezuela

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02
Recibido: mayo 18/2026 | Aprobado: mayo 30/2026
Aceptado: junio 2/2026

Resumen
Las fachadas verdes permeables constituyen una estrategia constructiva y ambiental para reintroducir vegetación en las envolventes de edificaciones urbanas, cuya pertinencia en el trópico reside en su capacidad de tamizar simultáneamente la luz natural, la ventilación y la radiación solar, contribuyendo al confort bioclimático. Este artículo presenta los resultados de una investigación de desarrollo tecnológico orientada a proponer un Sistema de Fachada Verde Permeable (FVP) con plantas trepadoras venezolanas, aplicable tanto a edificaciones nuevas como existentes. La investigación combina una fase documental de revisión y análisis comparativo del estado del arte de los sistemas de fachadas verdes disponibles en el mercado internacional con una fase proyectual de diseño de la propuesta. La propuesta desarrolla en detalle los componentes constructivos del sistema –ménsulas de tres tipos, rieles en C, marcos modulares de cuatro variantes, malla de polietileno de alta densidad y materos de acero galvanizado–, sus aspectos botánicos –con un catálogo original de 24 especies de plantas trepadoras herbáceas clasificadas según las zonas de vida de Venezuela y sus condicionantes de mantenimiento, ambientales y económicas–. Se concluye que el sistema FVP representa una alternativa técnica viable, con potencial de contribuir a la mitigación del efecto de isla de calor urbana y a la recuperación de biodiversidad en ciudades densificadas.

Descriptores
Fachadas verdes permeables en Venezuela, plantas trepadoras, construcción sostenible..

Abstract
Permeable green facades constitute a constructive and environmental strategy to reintroduce vegetation into urban building envelopes, whose relevance in the tropics lies in their capacity to simultaneously filter natural light, ventilation and solar radiation, contributing to bioclimatic comfort. This article presents the results of a technological development research project aimed at proposing a Permeable Green Facade System (FVP) using Venezuelan climbing plants, applicable to new and existing buildings alike. The research combines a documentary phase reviewing and comparatively analyzing the state of the art of green facade systems available in the international market, with a design phase developing the proposal. The proposal details the constructive components of the system—three types of brackets, C-profile rails, four-variant modular frames, high-density polyethylene mesh and galvanized steel planters—its botanical aspects—including an original catalogue of 24 herbaceous climbing plant species classified according to Venezuela's life zones, and its maintenance, environmental and economic conditions. The conclusion is that the FVP system represents a viable technical alternative, with potential to contribute to the mitigation of the urban heat island effect and the recovery of biodiversity in densified cities.

Descriptors
Permeable green facades in Venezuela, climbing plants, sustainable construction.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

El crecimiento de la población y el desarrollo de las ciudades afectan de múltiples maneras el medio natural, con consecuencias negativas para la biodiversidad y la sostenibilidad del planeta. Según datos del Banco Mundial (2019), el porcentaje de la población urbana en el mundo creció de 33% en 1960 a 56% en la actualidad, lo que en cifras absolutas corresponde a un millardo de habitantes urbanos en 1960 y 4,3 millardos hoy. Gran parte de la planificación urbana que ha acompañado este crecimiento conforma un tipo de ocupación territorial que va en detrimento del paisaje y el equilibrio natural. La carga térmica solar absorbida por la masa construida –calles y edificios– y el calor emitido por la dinámica urbana producen un aumento de la temperatura ambiental que se conoce como isla de calor urbana, que a su vez incrementa las necesidades energéticas de refrigeración de los edificios. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2015), los edificios producen cerca del 20% del total de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI). Si se añaden otras actividades generadoras de estos gases, las estimaciones sobre las emisiones procedentes de ciudades oscilan entre el 40% y el 70% del total (ONU, 2011).

La sociedad que provoca este deterioro, que lo vive y desearía de alguna forma frenarlo para entregarle a las generaciones futuras un hábitat mejor, está llamada a tomar acciones. Desde la profesión de la arquitectura debe generalizarse la conciencia de que toda intervención ha de tener como marco fundamental la sostenibilidad. Incorporar la sostenibilidad a la arquitectura implica desarrollar las herramientas para construir sin dañar el ambiente, lo que conlleva priorizar objetivos como la forestación urbana, la climatización pasiva y el ahorro energético, sin desatender los tradicionales criterios de funcionalidad, confort humano, eficiencia, costos y estética.

Es teniendo la sostenibilidad como fundamento como se asume el problema de la desaparición de los espacios verdes en las ciudades en detrimento de la calidad de vida. La Organización Mundial de la Salud recomienda disponer entre 10 m² y 15 m² de áreas verdes por habitante (OMS, 2009). En América Latina, la ciudad de Caracas tiene apenas 1,5 m² por habitante, Buenos Aires 1,90 m², Bogotá 4,3 m² y el Distrito Federal de México 7 m² (Jardín Leca, 2014). Ante este déficit, la incorporación de vegetación en las propias superficies construidas –paredes, fachadas y techos– surge como una respuesta desde la arquitectura: si fue la infraestructura urbana la que ocupó los espacios naturales eliminando la capa vegetal, es posible corregir esa carencia incorporando vegetación en esa misma infraestructura.

La integración de vegetación en fachadas y techos de edificios –tecnologías conocidas como fachadas verdes y techos verdes– es un problema multidisciplinario que reúne conocimientos de arquitectura y construcción, paisajismo y botánica, entre otros campos. Las fachadas verdes consisten en plantas que crecen en una pared de fachada, ya sea directamente sobre su superficie (fachadas verdes impermeables o muros verdes) o sobre una estructura de soporte separada de la pared (fachadas verdes permeables o cortinas verdes). Las primeras tienden a no ser una opción realista para una implementación generalizada debido a sus altos costos de instalación, ciclo de vida y mantenimiento (Norton et al., 2013). Las segundas, basadas en plantas trepadoras sobre mallas o tensores, presentan condiciones de costo, adaptabilidad y rendimiento ambiental más favorables, especialmente en climas tropicales.

El presente trabajo se inscribe en esta problemática y se propone hacer un aporte desde el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC) de la FAU-UCV. Las premisas de sostenibilidad difundidas desde el IDEC –provenientes de las investigaciones de Acosta y Cilento (2005)– ponen de manifiesto las nociones y la idea de construir bien desde el inicio como criterio que se basa en comprender los procesos constructivos desde el diseño hasta la construcción de las edificaciones, proponiendo mejoras en las prácticas arqui-

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

tectónicas existentes, dotándolas de una larga vida útil, lo que supone la reducción del impacto ambiental. Apoyándose en esta premisa se abordaron las fachadas verdes no solo con la idea de alcanzar fines estéticos, sino con miras a obtener beneficios de orden constructivo y ambiental que produzcan mejoras desde el aspecto proyectual y tecnológico, desde la fabricación local, a fin de crear extensiones verdes en las envolventes de los edificios venezolanos.

Marco metodológico

La investigación es de carácter analítico, combinando enfoques cualitativos y cuantitativos. Parte de un análisis de los sistemas de fachadas verdes en términos de sus partes, relaciones y comportamiento de conjunto, cuyo diseño y evaluación se realiza a través de parámetros medibles: variables y efectos ambientales, así como requerimientos estructurales, de mantenimiento y económicos. Se desarrolló en tres fases articuladas: documental, proyectual y experimental (gráfico 1).

Gráfico 1. Esquema metodológico de la investigación



Fuente: Elaboración propia.

Fase documental

La fase documental consistió en la recopilación de documentos escritos formales e informales acerca de los tipos de sistemas de fachadas verdes existentes en el mercado internacional, con el fin de realizar un estudio técnico comparativo mediante gráficos y cuadros que facilitaran la comprensión de sus componentes y propiedades: soportes, sustratos, vegetación y permeabilidad ambiental. Se indagó sobre el grado de industrialización, la capacidad de reducir el consumo energético, las características de las especies vegetales y los tipos de riego. Esta fase incluyó también el contacto con profesionales relacionados con el tema, entre ellos el jardinero Jorge Martínez, el ingeniero agrónomo Miguel Mujica, el especialista en sistemas de riego Daniel Bourgeois, y los paisajistas Glenda Yépez y Nedo Paniz, docentes de la Escuela de Arquitectura de la UCV.

Fase proyectual

La fase proyectual consistió propiamente en el diseño del sistema propuesto. Comprende el planteamiento de los criterios de diseño, la realización y evaluación de cinco alternativas exploratorias de sistemas, la identificación y definición de los componentes del sistema seleccionado, la descripción de detalles constructivos mediante esquemas y modelos tridimensionales, las evaluaciones y cálculos estructurales, ambientales y de costos, y las pruebas de materiales. En esta fase se contó con la asesoría del Ing. Sigfrido Loges, docente del Postgrado en Desarrollo Tecnológico de la Construcción del IDEC/FAU/UCV, para los aspectos de cálculo estructural de los componentes.

Fase experimental

La fase experimental tuvo como objetivo elaborar un prototipo del sistema para ejecutar un plan de experimentación orientado a corroborar los procesos constructivos y el funcionamiento del sistema. Por limitaciones financieras y prácticas, esta fase se cumplió solo de forma parcial: se comenzó la fabricación de los

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

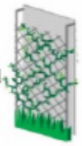
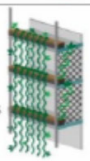
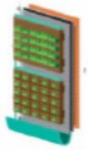
componentes estructurales (marcos y mallas), se realizó el ensayo de crecimiento y amarre de plantas trepadoras con dos tipos de mallas, y se verificó la adaptación de las especies al soporte propuesto.

Estado del arte de los sistemas de fachadas verdes

Las fachadas verdes son una alternativa para la inserción de vegetación en las ciudades carentes de espacios verdes y conllevan un proceso constructivo que se ha difundido en las últimas décadas. En el mercado se pueden hallar diferentes tipos de sistemas y empresas que los fabrican. Una primera clasificación puede hacerse en función de los aspectos constructivos y ambientales (cuadro 1), para con ello tener un inventario del estado del arte en términos de las técnicas disponibles.

El criterio central de clasificación adoptado en esta investigación es el grado de filtración ambiental o permeabilidad: la capacidad que tienen las fachadas verdes de permitir el flujo de aire, sol o luz natural. Con base en este criterio se diferencian dos tipos de sistemas: fachadas verdes permeables, constituidas por tensores, cables o mallas, y fachadas verdes impermea-

Cuadro 1. Tipos de fachadas y muros verdes existentes

Tipos de Fachadas Verdes							
Denominación según crecimiento de especies en soportes.	Aspectos Constructivos			Aspectos Botánicos		Aspectos Ambientales	
	Tipo Soporte	Tipo de Riego	Altura max	Tipo de Sustrato	Tipo de Especies	Permeabilidad de viento	Permeabilidad de Luz natural
001. Directo a pared 	Pared en Piedra o Mampostería	Manual	+6.00 m	Directo al Suelo	Trepadoras Leñosas	Impermeable	Impermeable
002. Cables en pared 	Cables y Mallas	Manual	+12.00 m	Directo al Suelo	Trepadoras no Leñosas	permeable	permeable
003. en Materos 	Perfiles Metálicos	Por Goteo	+24.00 m o mas	Materos	Trepadoras y Colgantes	permeable	permeable
004. Muro Vivo in Situ 	Bolsillos en Tela Geotextil	Hidropónico o Goteo	+24.00 m o mas	Concha de Coco	Cobertoras	Impermeable	Impermeable
005. Paneles 	Panel Plásticos y Geotextil	Hidropónico o Goteo	+24.00 m o mas	Agregados Cerámico y Concha de Coco	Cobertoras	Impermeable	Impermeable

Fuente: Elaboración propia.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

bles, conocidas como muros verdes, formadas por paneles pre-vegetados y geotextil (gráfico 2).

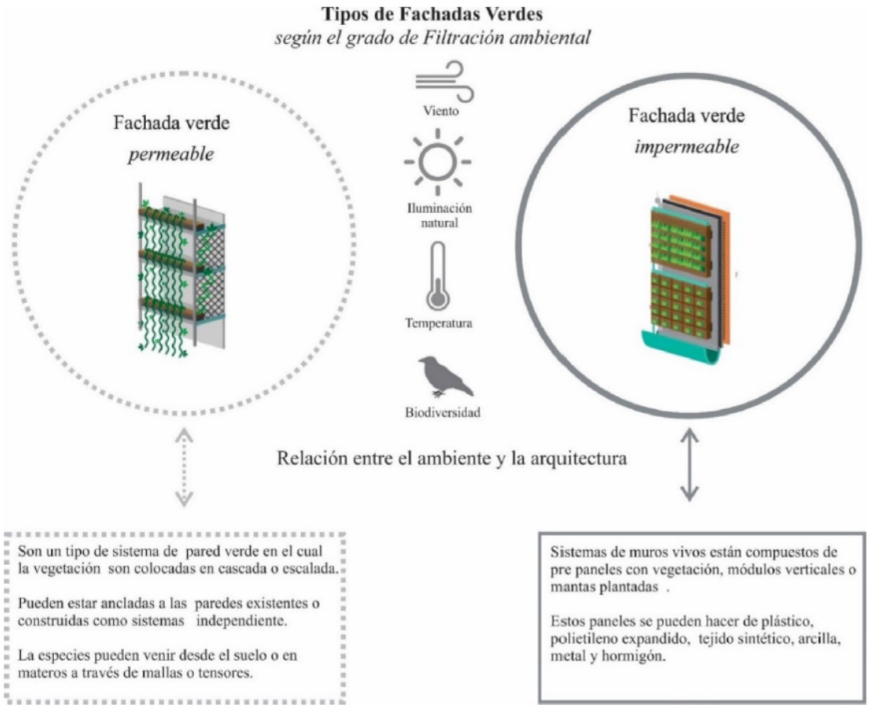
Fachadas verdes impermeables

Son consideradas como fachadas verdes impermeables los sistemas que no permiten o limitan fuertemente la filtración de los factores ambientales como la ventilación, la luz y la humedad, de modo que la interacción directa entre los ambientes exteriores e interiores de la edificación es muy baja o inexistente. Estas fachadas cubren los paramentos de los edificios con plantas de porte corto colocadas en soportes como muros de mampostería, bloques de concreto o marcos metálicos con bolsas de geotextil o recipientes de plástico. Para entender sus cualidades constructivas y su grado de sostenibilidad, se revisaron los más utilizados en el mercado con el fin de elaborar un cuadro de características donde se pongan de manifiesto sus aspectos favorables y desfavorables.

Los sistemas estudiados comprenden las fachadas verdes impermeables tradicionales –plantas que crecen desde el suelo y se apoyan sobre la pared sin recibir nutrientes de ella–, los paneles pre-vegetados modulares –como los de la empresa española Intemper, basados en chapas de acero galvanizado de 60 x 60 cm con fieltro de fibra de poliéster y riego automatizado–, y los muros vivos popularizados por la patente del botánico Patrick Blanc en 1986 –basados en capas de fieltro especial fijadas a marcos metálicos con distribución de nutrientes por riego hidropónico–. En Venezuela existe un ejemplo de este tipo en el proyecto de remodelación Casa 4 en Caracas.

El análisis de estos tres tipos de sistemas impermeables en cuanto a criterios constructivos, botánicos y ambientales evidenció sus ventajas –posibilidad de incorporar especies previamente desarrolladas, alta diversidad ornamental de especies, buen aislamiento térmico por cámara de aire cuando se diseña la separación adecuada– y sus desventajas relevantes para el contexto venezolano: elevados costos de instalación y mantenimiento, productos en su

Gráfico 2. Tipos de fachadas verdes según la filtración ambiental



Fuente: Elaboración propia.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

mayoría importados, requerimiento de personal especializado, susceptibilidad a la corrosión, y –en el caso de los paneles modulares– pesos de hasta 45 kg/m² (cuadro 2).

Fachadas verdes permeables

Las fachadas verdes permeables son aquellas que permiten el intercambio directo de los factores ambientales entre el exterior y el interior, específicamente la ventilación y la luz naturales. La vegetación se coloca en estructuras diseñadas para tal fin, las cuales pueden estar ancladas a las paredes del edificio o constituir un sistema estructural parcialmente independiente. Las especies vegetales pueden crecer en el suelo o en materos. La mayoría de las plantas adecuadas para estos sistemas pertenecen a la familia de las trepadoras, que poseen de forma natural órganos de fijación –zarcillos, ganchos, ventosas– que les permiten crecer sobre guías como cables, mallas, enrejados o celosías. Los materiales constructivos se basan en su mayoría en acero de alta resistencia estructural y a la corrosión.

Cuadro 2. Fachadas verdes impermeables, comparación de aspectos constructivos y ambientales

Fachadas Verdes Impermeables , *aspectos constructivos y ambientales*		
Aspectos	Característica	Conclusión
Mantenimiento	Diferentes fenómenos ambientales pueden deterior las fachadas verdes impermeables de paneles metálicos. El soporte de la plantas de los muros vivos, formados por sacos de geotextil se pueden ir deteriorando tanto por las raíces de las plantas como por la reposición.	Desventaja
Constructivos	La producción de estos sistemas requiere de mano de obra especializada tanto para su elaboración, como para su montaje y para su mantenimiento.	Desventaja
Ambiental	Las fachadas impermeables tanto por su aplicación como por los tipos de especies, no permiten el paso de los aspectos climáticos como el viento y de luz natural.	Desventaja
Estructural	La fachadas verdes impermeable posen un peso importante , que puede ser una carga para el edificio y que puede estar por encima 5 veces mas de los sistemas permeables .	Desventaja
Reposición de plantas	El diseño de los soportes de la fachadas verdes impermeables permiten un fácil reemplazo de las plantas, ademas se instalan con un crecimiento avanzado de las especies.	Ventaja
Aislamiento térmico	Las fachadas impermeables dado su configuración generan la reducción térmica e incluso en ciertos casos acústica en el ambiente donde se instale y protege de contaminantes la edificación.	Ventaja
Estética	La constitución de los soportes de las plantas son cajas o bolsas que permite que las raíces de las plantas se desarrolle con facilidad, aumentando la variedad de especies dandole al paisajista una vasta paleta de posibilidades cromáticas y de texturas.	Ventaja
Instalación	La tecnología de fachadas verdes impermeable industrializadas presentan sistemas de rápida aplicación gracias al diseño modular de paneles y los mantos geotextiles pre-fabricados.	Ventaja
Botánica	las fachadas verdes impermeables ademas de tener una gran variedad de especies vegetales que se pueden coloca en su configuración , la colocación de plantas, con un desarrollo en su crecimiento, facilita la obtención de jardines instantáneos.	Ventaja

Fuente: Elaboración propia.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

Se estudiaron tres tipos de sistemas permeables presentes en el mercado internacional (cuadro 3):

- Los sistemas de cables de acero inoxidable –como el de la empresa Ronstan Tensil Architecture– consisten en cables tensados sobre los que se apoyan las plantas trepadoras, complementados con separadores, abrazaderas y grapas. Permiten grandes luces y soportan el peso de plantas trepadoras, incluso las de tallo leñoso. Son anticorrosión, de largo ciclo de vida y reciclables. Su principal desventaja es la lentitud del cubrimiento vegetal: las plantas necesitan meses o incluso años para cubrir totalmente la fachada.
- Los sistemas de mallas de acero inoxidable –como el X-TEND de la empresa alemana Carl Stahl Architecture– se basan en mallas de flexibilidad tridimensional y medidas variables, adaptables a grandes luces y diferentes formas de fachadas. Ofrecen mayor superficie de agarre para las plantas que los cables, facilitando un cubrimiento más homogéneo. Su principal desventaja es el alto costo de los materiales, que deben importarse.
- Los sistemas de enrejados modulares –como el LIVING Basic Wall de la empresa canadiense GSky Plant Systems– se basan en módulos prefabricados de enrejados con jardineras y pasillos de mantenimien-

Cuadro 3. Fachadas verdes permeables, comparación de aspectos constructivos y ambientales.

Fachadas verdes permeables , *aspectos constructivos y ambientales*		
Aspectos	Característica	Conclusión
Mantenimiento	La mayoría de de elementos utilizados en este sistema son duraderos, ejemplo el acero inoxidable, los hace resistentes a la intemperie alargando su vida útil, incorporando un sistema de riego automatizado abaratando su costo.	Ventaja
Constructivo	La producción industrial de los componentes de este sistema no presentan complejidad, las mallas , tensores y rejas son mecanismos modulares y de poco cuerpo material y poco peso , de fácil instalación y transporte.	Ventaja
Instalación	El sistema pose la cualidad de adaptarse a las medidas del sitio a instalarse. Es de gran flexibilidad y se ajusta a las diversas fachadas que se implemente.	Ventaja
Ambiental	Su soporte, aplicación y tipo de especie empleada (Trepadoras) permiten tamizar el paso de el viento , el sonido y la luz natural.	Ventaja
Estructural	El peso de los componentes y su configuración no supone un problema estructural para los sistemas de fachadas verdes permeables en comparación con las fachadas verdes impermeables.	Ventaja
Reposición de plantas	A causa del crecimiento de las plantas es tardío para consolidar el sistema trae como consecuencia de que si una de estas muere quedara un vacío en la fachada.	Desventaja
Aislamiento térmico	El efecto de aislante y el incremento de inercia térmica en estos sistemas no posen un gran desempeño según la especie seleccionada.	Desventaja
Estética	Se observa la Limitación respecto a la libertad artística y el uso de diferentes especies de plantas para crear patrones y diseños, por su tipología.	Desventaja
Botánica	En las fachadas verdes permeables , las especies utilizadas son plantas trepadoras por lo que no hay una gran variedad de estas plantas, comparadas con el sistema de fachadas verdes impermeables. Estas fachadas verdes requieren de un tiempo para que las plantas terminen de desarrollarse en el sistema.	Desventaja

Fuente: Elaboración propia.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

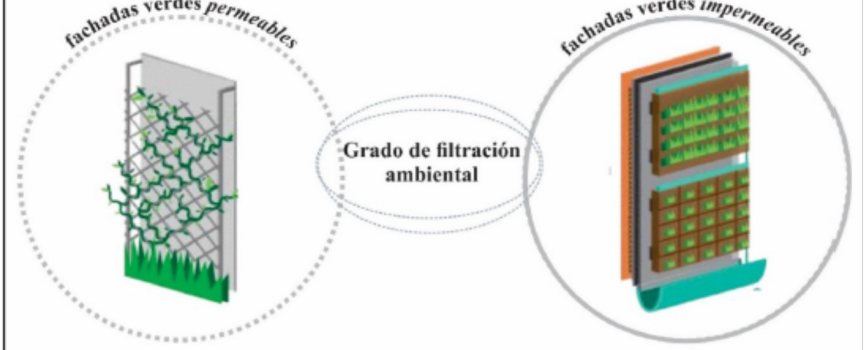
to anclados a una estructura de perfiles de acero. Permiten incorporar plantas ya desarrolladas, lo que reduce el tiempo de espera para el cubrimiento completo de la fachada.

Análisis comparativo y conclusiones del estado del arte

Del estudio conjunto de los sistemas impermeables y permeables se derivó el cuadro comparativo identificado como cuadro 4, en el que se confrontan los dos tipos de sistemas en seis dimensiones: instalación, mantenimiento, aislamiento térmico, permeabilidad, peso y costo. El análisis comparativo confirma que los sistemas permeables resultan superiores o iguales en todas las dimensiones relevantes para el contexto venezolano: son más fáciles de instalar, tienen menor requerimiento de mantenimiento especializado, permiten la ventilación

Cuadro 4. Sistemas de fachadas verdes permeables e impermeables: comparación de aspectos básicos

Sistemas de fachadas verdes



Características		Variable	Características	
Rejas Metálicas Mallas Metálicas Tensores Riego	*Producción Local* *Producción extranjera* *Producción extranjera* *Producción extranjera*	**Soportes origen de fabricación**	Perfiles Metálicos Paneles Metálicos Geotextil Riego	*Producción Local* *Producción extranjera* *Producción extranjera* *Producción extranjera*
Colocación	**Mano de obra**	**Instalación**	**Colocación**	**Mano de obra**
Soportes Especies Riego	*Calificada* *Semi-calificada* *Calificada*		Soportes Especies Riego	*Calificada* *Semi-calificada* *Calificada*
Sombreado Leve Evaporación Fotosíntesis Ventilacion constante		**Relación ambiental**	Sombreado absoluto Evaporación Fotosíntesis Sin ventilacion	
La sombra tamiza una superficie. Permite ventilación.		**Comportamiento Térmico**	Sombrea completamente una superficie. No hay ventilación.	
Plantas trepadoras Plantas colgantes		**Especies**	Plantas cobertores Plantas colgantes Plantas suculentas Plantas epifitas Helechos	
Tipo	**Frecuencia**	**Mantenimiento**	**Tipo**	**Frecuencia**
Poda Riego Fumigacion	*Medio* *Medio* *Media*		Poda Riego Fumigacion	*Alto* *Alto* *Media*
Tipo	**Precio m2**	**Costo**	**Tipo**	**Precio m2**
Rejas Metálicas Mallas Metálicas Tensores	*Dólar (USD) 100,00* *Dólar (USD) 300,00* *Dólar (USD) 200,00*		Muro Vivo Paneles	*Dólar (USD) 250,00* *Dólar (USD) 400,00*

Fuente: Elaboración propia.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

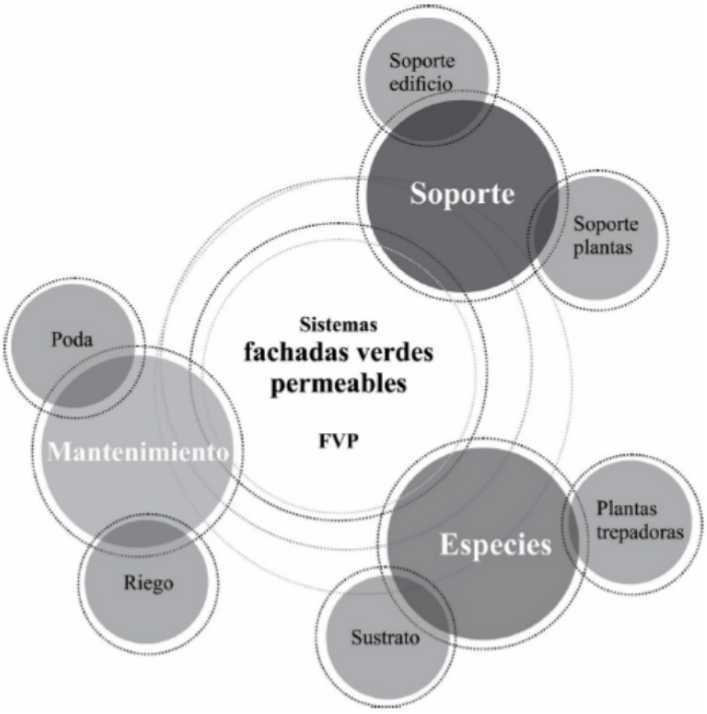
natural y el tamizado de luz, son más ligeros y resultan menos costosos.

Adicionalmente, se analizaron con más detalle los componentes de tres referentes internacionales de sistemas de fachadas verdes permeables con características distintivas: las Oficinas Ducatti en Italia (2006), el campus Novartis en Basilea (2015) y el edificio de RMA Architects en Hyderabad, India (2012). La matriz comparativa de sus soportes, especies y sistemas de mantenimiento confirmó dos cualidades esenciales de estos sistemas: la necesidad de materiales que resistan tanto estructuralmente como frente a los agentes climáticos, y la conveniencia de que el soporte para las trepadoras tenga la mayor trama posible para favorecer un cubrimiento homogéneo, siendo, en ese sentido, superiores las mallas o enrejados a los cables.

El análisis comparativo también evidenció que ninguno de los tres referentes internacionales contempla pasarelas de mantenimiento integradas al sistema, lo que obliga en la práctica al uso de andamios o equipos de escalada para realizar la poda y otras labores en altura. Esta carencia fue identificada como una oportunidad de mejora a incorporar en la propuesta.

Con base en todo lo anterior, se decidió delimitar la investigación a las fachadas verdes permeables, por adecuarse mejor a los criterios asociados con las edificaciones ventiladas e iluminadas naturalmente, a la simplificación constructiva y del mantenimiento, y a los requerimientos de sostenibilidad del contexto venezolano.

Gráfico 2. Componentes básicos del sistema FVP: diagrama de relaciones entre aspectos y componentes.



Fuente: Elaboración propia.

Propuesta de Sistema de Fachada Verde Permeable (FVP)

Sobre la base de la revisión y el análisis del estado del arte, y teniendo como marco el concepto de construir bien desde el inicio (Acosta y Cilento, 2005), se desarrolló un sistema de fachada verde permeable propio, al que se denominó Sistema FVP (gráfico 2). El criterio de partida es un diseño modular de marcos prefabricados que pueda adaptarse a una amplia gama de edificaciones, permita colocar de forma variada las especies vegetales y ofrezca accesibilidad integrada para el mantenimiento. Desde una primera perspectiva, los tres componentes básicos del sistema son los soportes, las especies vegetales y los componentes de riego y mantenimiento, los cuales deben comprenderse como un conjunto de elementos interrelacionados que trabajan para lograr un objetivo común (Bertalanffy, 1975).

1. Proceso de diseño: alternativas exploradas

Antes de llegar a la propuesta definitiva, se desarrollaron y evaluaron cinco alternativas exploratorias de diseño, a partir de diferentes combinaciones de materiales y estrategias de soporte (cuadro 5). Estas fueron:

- FVP001 (tensores y arañas de acero inoxidable): sencilla y adaptable a cualquier edificación, pero con limitaciones en altura y sin posibilidad de mantenimiento en altura.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

- FVP002 (marcos de madera y cabillas): usa materiales comunes y económicos, pero resulta pesada y con problemas de durabilidad frente a la humedad del riego.
- FVP003 (ménsulas y tensores de acero): incorpora materos de relevo para mayores alturas, pero no resuelve el acceso para el mantenimiento.

Cuadro 5. Matriz comparativa de las cinco alternativas exploratorias de diseño del sistema FVP.

Propuestas	Características		Versatilidad	Durabilidad	Peso
			Adecuación a paramentos	Deterioro de soporte	Magnitud
Código : FVP-001	Soporte al Paramento	Soporte de las Plantas	Baja	Alta	Liviano
	Tipo:	Tipo:			
	Amarre a estructura del Edificio	Tensores			
	Mecanismo:	Material:			
	Arañas	Acero Inoxidable			
Código : FVP-002	Soporte al Paramento	Soporte de las Plantas	Baja	Alta	Liviano
	Tipo:	Tipo:			
	Amarre a estructura del Edificio	Cabillas			
	Mecanismo:	Material:			
	Ménsula Mixta Madera+Metal	Acero			
Código : FVP-003	Soporte al Paramento	Soporte de las Plantas	Alta	Media	Liviano
	Tipo:	Tipo:			
	Amarre a estructura del Edificio	Cables y Mallas			
	Mecanismo:	Material:			
	Ménsula	Malla de Propileno			
Código : FVP-004	Soporte al Paramento	Soporte de las Plantas	Alta	Baja	Pesado
	Tipo:	Tipo:			
	Amarre a estructura del Edificio	Acero Grill			
	Mecanismo:	Material:			
	Ménsula	Acero			
Código : FVP-005	Soporte al Paramento	Soporte de las Plantas	Alta	Baja	Pesado
	Tipo:	Tipo:			
	Amarre a estructura del Edificio	Malla			
	Mecanismo:	Material:			
	Ménsula	Acero			

Fuente: Elaboración propia.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

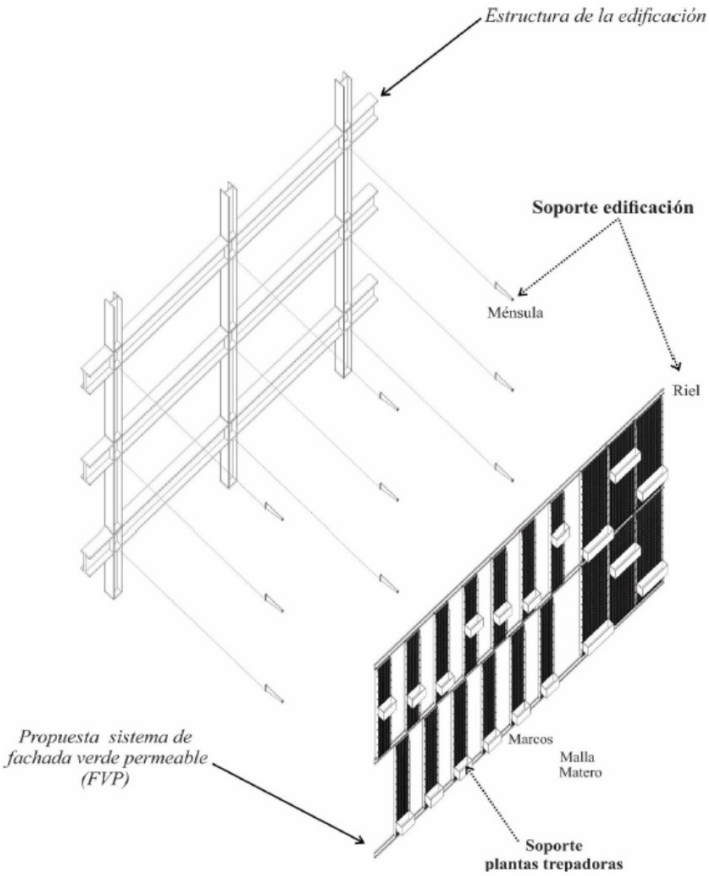
- FVP004 (ménsulas y bastidores con reja de acero grill): incorpora pasarela de mantenimiento y posibilidad de cámara de aire, pero resulta pesada y requiere precisión en la fabricación.
- FVP005 (ménsulas, bastidores y materos móviles): mantiene la pasarela y el riego por goteo, pero reduce la densidad del soporte, facilitando el acceso para la poda y ganando versatilidad compositiva.

La evaluación comparativa de estas cinco alternativas, aplicando los criterios de versatilidad, durabilidad y peso, condujo a la propuesta definitiva, que retoma los elementos más favorables de FVP004 y FVP005: ménsulas de acero galvanizado como soporte al edificio, rieles en C para la conexión horizontal, marcos modulares de acero galvanizado de distintas variantes dimensionales, malla de polietileno de alta densidad como soporte de las especies, materos enganchables en distintas posiciones, sistema de riego por goteo y pasarelas de mantenimiento integradas.

2. Aspectos constructivos del sistema FVP

Los componentes constructivos del sistema se dividen en dos conjuntos: los soportes del sistema a la edificación (ménsula y riel) y los soportes de las especies vegetales (marcos, malla y materos). Los gráficos 3 y 4 presentan los despieces correspondientes.

Gráfico 3. Despiece general del sistema FVP: soportes del sistema a la edificación y para las plantas.



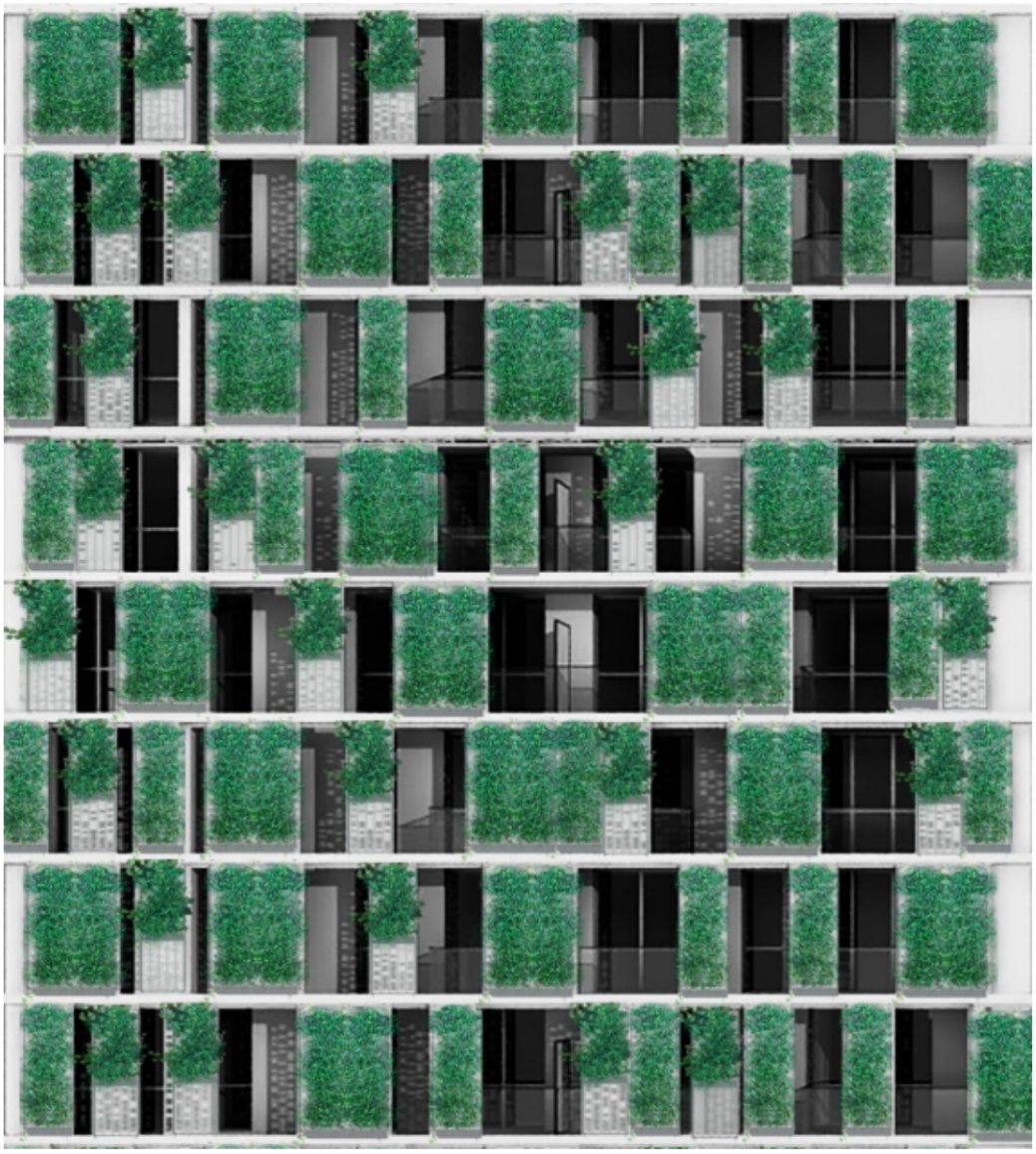
Fuente: Elaboración propia.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

- La ménsula

La ménsula es el componente que sobresale del plano vertical de la edificación y sostiene la totalidad del sistema, transfiriéndole la carga a la estructura del edificio. Cumple además la función complementaria de generar un espacio entre el conjunto malla/plantas y la edificación, que puede funcionar como elemento de sombreado o como cámara de aire ventilada. Está fabricada en láminas de acero inoxidable galvanizado de 1,5 mm de espesor, con forma triangular en voladizo de sección decreciente hacia el extremo libre, lo que optimiza el uso de material. Su longitud es de 0,6 m, determinada por el ancho de la pasarela de mantenimiento. Se proponen tres variantes de anclaje según el tipo de estructura del edificio: ménsula tipo 001 (con plancha a viga IPN), tipo 002 (con ángulos a viga IPN) y tipo 003 (con plancha a viga de concreto armado).

Gráfico 4. Vista frontal del sistema FVP instalado en una edificación.



Fuente: Elaboración propia.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

- El riel

El riel es el componente longitudinal que se fija a las ménsulas y sirve para sostener los marcos de soporte de las plantas, las pasarelas de mantenimiento y el sistema de riego por goteo. Está fabricado con láminas de acero inoxidable galvanizado de 1,5 mm de espesor dobladas en forma de C, de manera que sus alas sirven de guía para la colocación y el desplazamiento de los bastidores, tanto en su parte inferior como superior. Una vez listos, los rieles se disponen horizontalmente frente a las ménsulas y se fijan a estas por medio de pernos.

- Los marcos

Los marcos o bastidores son los rigidizadores de las mallas vegetales. Se proponen cuatro variantes con una modulación base de 0,6 m, lo que permite adaptarse a distintas situaciones de proyecto (gráfico 5):

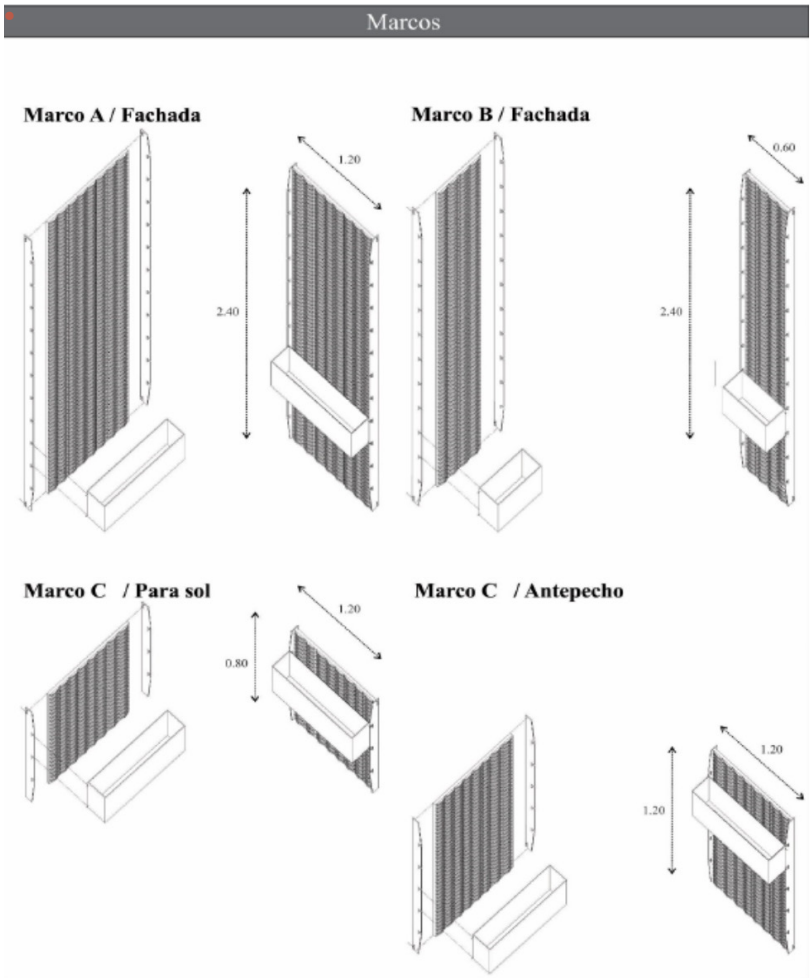
Marco A (1,2 x 2,4 m): marco vertical ancho que va de piso a techo.

Marco B (0,6 x 2,4 m): marco vertical estrecho de piso a techo.

Marco C (1,2 x 0,8 m): marco horizontal para uso como parasol, colocado a media altura.

Marco D (1,2 x 1,2 m): marco horizontal para colocar frente a antepechos.

Gráfico 5. Propuesta de distintos tipos de marcos adaptables a las necesidades proyectuales.



Fuente: Elaboración propia.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

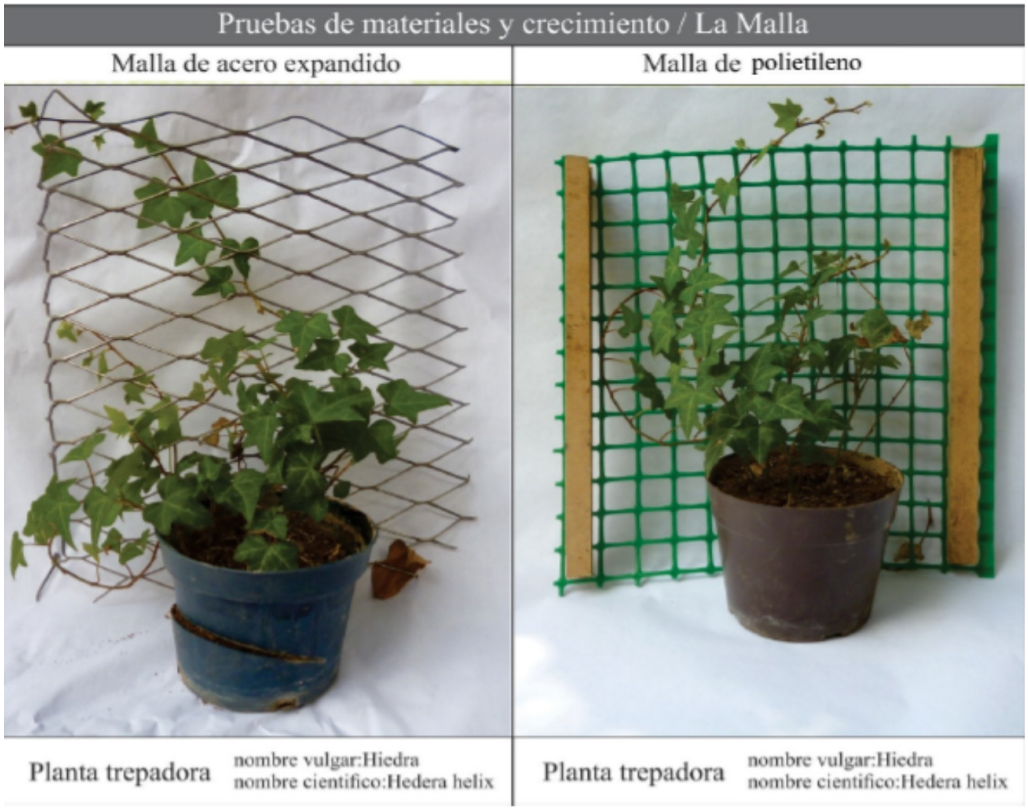
Los marcos están formados por cuatro pletinas de acero galvanizado de 1,5 mm de espesor que conforman un rectángulo. Las pletinas laterales cuentan con hendiduras o muescas con tres funciones: encastrar los marcos a los rieles, colocar y tensar la malla, y encajar y sostener los mateos. Este patrón de hendidura está diseñado para ser producido industrialmente con una máquina troqueladora de metal.

- La malla

La malla es el componente de agarre y crecimiento de las plantas trepadoras, cuya superficie cubrirán progresivamente. Las retículas de la malla deben ser lo suficientemente amplias para que los órganos de fijación de las trepadoras –zarcillos, enredaderas– puedan enroscarse y ejercer la nutación descrita por Darwin (1865). Fueron evaluadas dos opciones de malla: de acero expandido (láminas de acero galvanizado de 1,44 mm sometidas a incisión de 3/4 de pulgada y expansión, según norma ASTM-A-653) y de polietileno de alta densidad con estabilizantes anti-UV.

Para determinar cuál era más adecuada, se realizó un ensayo de crecimiento y amarre con trozos de malla de 0,30 m x 0,30 m, sembrando hiedra (*Hedera spp.*) en mateos y observando la interacción durante varias semanas (cuadro 6.). Los resultados demostraron que la malla de polietileno favorece un crecimiento más homogéneo: la malla de acero expandido, si bien no impidió el crecimiento, dificultó su homogeneidad por dos razones: la mayor sensibilidad térmica del metal frente al sol llevaba a la planta a alejarse de sus bordes, y el filo de la malla

Cuadro 6. Ensayo de crecimiento y amarre de hiedra con malla de acero expandido y malla de polietileno.



Fuente: Elaboración propia.

resultó dañino para los tallos trepadores al intentar amarrarse. La malla de polietileno de alta densidad fue por tanto seleccionada como componente definitivo del sistema.

- **Los materos**

Los materos son los contenedores del sustrato que nutre a las plantas en sus raíces. Están fabricados en láminas de acero galvanizado de 1,5 mm con sección cuadrada de 0,2 m de lado, con largo igual al ancho del marco (0,6 m o 1,2 m). Incluyen perforaciones de drenaje y varillas de acero lisa de 1/2 pulgada en ambos extremos para engancharse en las muescas de las pletinas de los marcos a distintas alturas. Dado que las plantas trepadoras sembradas en el suelo difícilmente superan los 6 m de altura, los materos de relevo colocados a cada 6 m aproximadamente permiten cubrir fachadas de mayor altura con plantas propias del nivel correspondiente.

3. Aspectos botánicos del sistema FVP

- **Tipos de plantas trepadoras y criterios de selección**

El sistema FVP está diseñado para usar plantas trepadoras herbáceas, por su menor peso y menores fuerzas de torsión sobre el soporte en comparación con las trepadoras leñosas, que pueden incrementar los pesos y las fuerzas hasta ocasionar la ruptura del sistema. Las plantas trepadoras herbáceas mantienen sus tallos blandos, tiernos y flexibles independientemente de su crecimiento, y su peso es inferior.

Dentro de las trepadoras herbáceas, se priorizan dos mecanismos de agarre: las enredaderas –que se enroscan en el soporte formando una espiral, generando fuerzas de tensión que las sostienen– y las plantas con zarcillos –tallos, hojas o pecíolos especializados que responden al contacto con el soporte enroscándose sobre él–. Ambos tipos garantizan un amarre efectivo a la malla del sistema. No se recomiendan las plantas con espinas, con membranas adhesivas o las colgantes, pues no ofrecen la adhesión necesaria.

- **Zonas de vida y catálogo de especies**

Para fundamentar la selección de especies con base en criterios técnicos y ecológicos, se elaboró un catálogo de plantas trepadoras herbáceas recomendadas para el sistema FVP, organizado según las zonas de vida de Venezuela, aplicando el sistema de clasificación de Holdridge (1947) utilizado por Ewel y Madriz (1968 y 1976) para elaborar el mapa ecológico del país. El catálogo se circunscribe a las tres zonas de vida más extendidas en Venezuela, cuyo clima diurno es cálido: bosque seco tropical, bosque seco premontano y bosque muy seco tropical.

En total se identificaron y documentaron 24 especies de plantas trepadoras, presentadas con los siguientes atributos: nombre científico y nombre vulgar, procedencia (nativa o exótica sin potencial invasor), zona de vida correspondiente, rango de temperatura (°C), rango altitudinal (m.s.n.m.), rapidez de crecimiento, longevidad, capacidad de sombreado y color de flores (cuadros 7, 8 y 9). Todas las especies incluidas son de tipo perennifolio, condición especialmente relevante en climas cálidos y cuasi-isotermos como el venezolano, donde se busca el sombreado continuo durante todo el año.

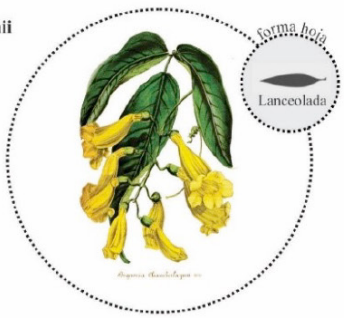
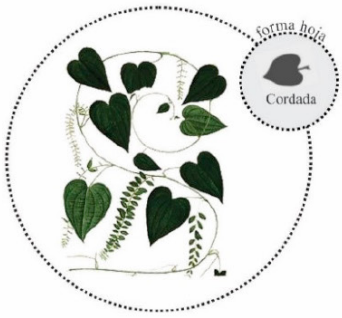
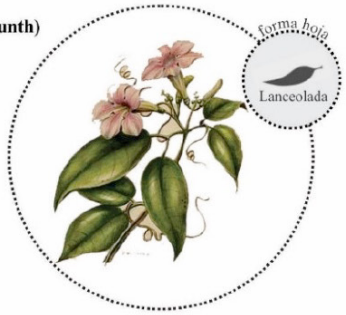
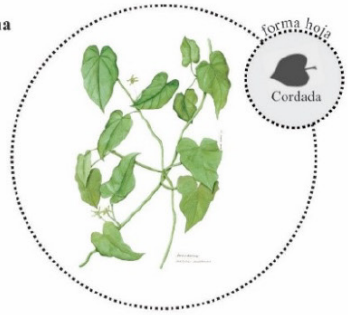
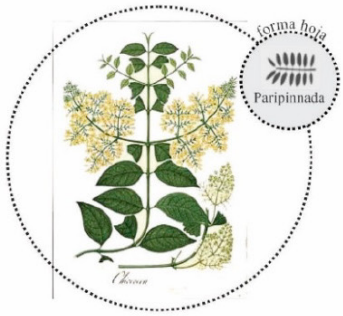
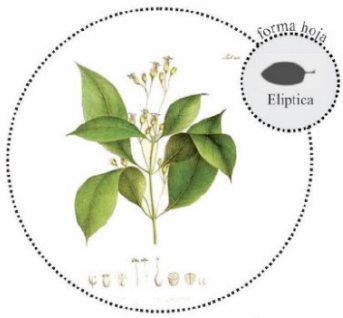
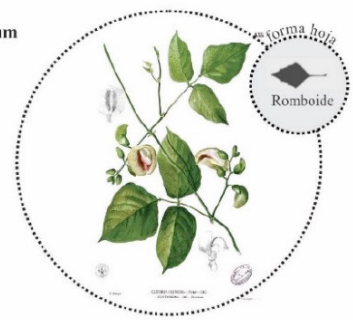
- **El sustrato**

La escogencia del sustrato del sistema FVP debe favorecer el desarrollo de las plantas trepadoras para que cumplan con los criterios visuales, ambientales, de mantenimiento y durabilidad planteados en el diseño. Dado que el sustrato se encontrará a alturas en que el viento, el soleamiento y el albedo del entorno aceleran el secado, el criterio prioritario de selección es la capacidad de retención de agua. Se evaluaron ocho sustratos del mercado venezolano, divididos en orgánicos (fibra de coco, aserrín, cascarilla de arroz), inorgánicos

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

Cuadro 7. Plantas trepadoras recomendadas para el sistema FVP en regiones de bosque seco tropical.

Selección de plantas trepadoras					
Zona de vida :	Ciudades :	Temperatura :	Altitud :	Especie :	Hoja :
Bosque Seco Tropical bs-t	**Acarigua, Guadualito Guarico , Guanare**	**28,3 °C**	**100.00 msnm a 400.00 msnm**	**Herbaceas**	**Perennifolia**

Nombre Científico : **Anemopaegma karstenii** Nombre Vulgar : **Bignonia amarilla** **Uña de gato** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Alta** Flor : **Amarilla** 	Nombre Científico : **Dioscorea coriacea** Nombre Vulgar : **Name** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Media** Flor : **Verde** 
Nombre Científico : **Cydista diversifolia (Kunth)** Nombre Vulgar : **Cydista** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Alta** Flor : **Morada** 	Nombre Científico : **Gonolobus lasiostemma** Nombre Vulgar : **Gonolobus** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Alta** Sombras: **Alta** Flor : 
Nombre Científico : **Melloa quadrivalvis** Nombre Vulgar : **Campanita** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Alta** Flor : **Amarilla** 	Nombre Científico : **Chiococca alba** Nombre Vulgar : **Chicoca** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Alta** Flor : **Amarilla** 
Nombre Científico : **Lundia corymbifera** Nombre Vulgar : **Liana** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: Baja Flor : **Amarilla** 	Nombre Científico : **Centrosema sagittatum** Nombre Vulgar : **Centrosema** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Alta** Flor : Blanca 

Fuente: Elaboración propia con ilustraciones tomadas de JSTOR Global Plants y de Biodiversity Heritage Library.

Cuadro 8. Plantas trepadoras recomendadas para el sistema FVP en regiones de bosque seco premontano.

Selección de plantas trepadoras

Zona de vida :	Ciudades :	Temperatura :	Altitud :	Especie :	Hoja :
Bosque Seco Premontano bs-p	**Caracas,Maracay, Turmero,Lago de Valencia**	**18 a 20 °C**	**800.00 msnm a 1200.00 msnm**	**Herbaceas**	**Perennifolia**

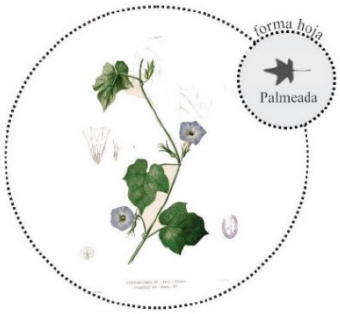
Nombre Científico : **Mandevilla sanderi**
Nombre Vulgar : **Mandevilla**
Crecimiento : **Rápido**
Longevidad: **Media**
Sombras: **Alta**
Flor : **Roja**



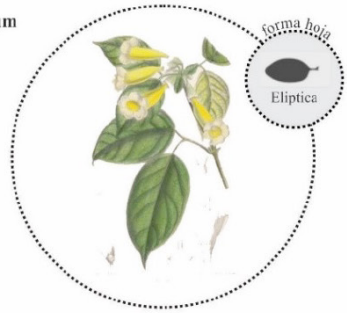
Nombre Científico : **Ipomoea ochracea**
Nombre Vulgar : **Ipomea Campanita**
Crecimiento : **Rápido**
Longevidad: **Media**
Sombras: **Alta**
Flor : **Amarilla**



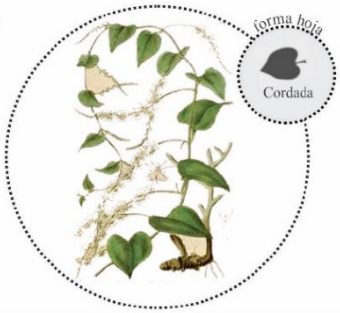
Nombre Científico : **Ipomea nil**
Nombre Vulgar : **Gloria de la mañana**
Crecimiento : **Rápido**
Longevidad: **Media**
Sombras: **Media**
Flor : **Violeta**



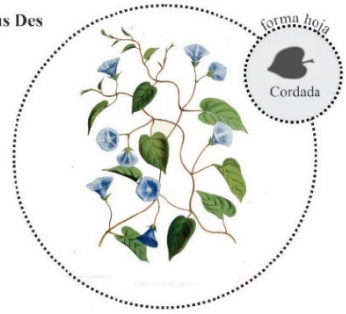
Nombre Científico : **Anemopaegma rugosum (Schltdl.)**
Nombre Vulgar : **Bignonia rugosa**
Crecimiento : **Rápido**
Longevidad: **Media**
Sombras: **Alta**
Flor : **Blanca y amarilla**



Nombre Científico : **Anredera leptostachys**
Nombre Vulgar : **Basellacea**
Crecimiento : **Rápido**
Longevidad: **Media**
Sombras: **Alta**
Flor : **Verde**



Nombre Científico : **Convolvulus nodiflorus Des**
Nombre Vulgar : **Campana morada**
Crecimiento : **Rápido**
Longevidad: **Media**
Sombras: **Baja**
Flor : **Violeta**



Nombre Científico : **Mandevilla subsagittata**
Nombre Vulgar : **Mandevilla amarilla**
Crecimiento : **Rápido**
Longevidad: **Media**
Sombras: **Baja**
Flor : **Amarilla**



Nombre Científico : **Monstera adansonii**
Nombre Vulgar : **Monstera**
Crecimiento : **Rápido**
Longevidad: **Media**
Sombras: **Alta**
Flor : **Blanca**

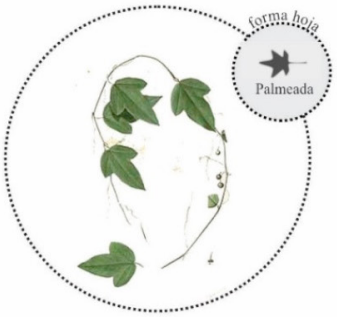
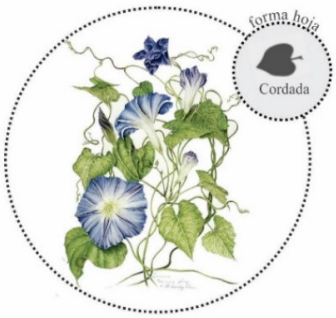
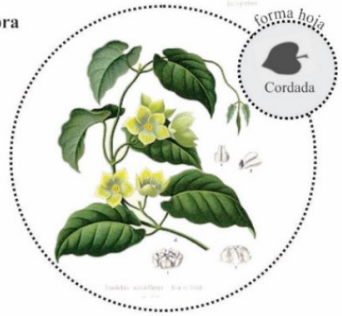
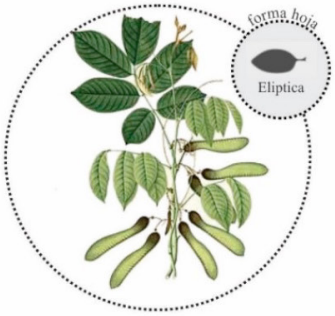
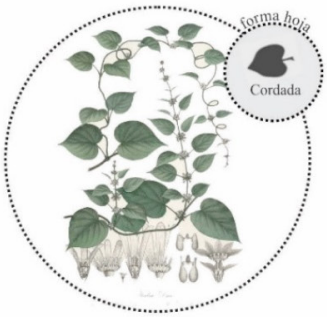


Fuente: Elaboración propia con ilustraciones tomadas de JSTOR Global Plants y de Biodiversity Heritage Library.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

Cuadro 9. Plantas trepadoras recomendadas para el sistema FVP en regiones de bosque muy seco tropical.

Selección de plantas trepadoras					
Zona de vida :	Ciudades :	Temperatura :	Altitud :	Especie :	Hoja :
Bosque muy Seco tropical bms-T	**Maracaibo,Maiquetia Barcelona, Barquisimeto**	**25 a 30 °C**	**400.00 msnm a 800.00 msnm**	**Herbaceas**	**Perennifolia**

Nombre Científico : **Lonicera** Nombre Vulgar : **Madreselva** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Alta** Flor : Verde	
Nombre Científico : **Ipomoea purpurea** Nombre Vulgar : **Campanilla morada** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Alta** Flor : **Violeta**	
Nombre Científico : **Marsdenia condensiflora** Nombre Vulgar : **Marsdenia** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Alta** Flor : **Amarillo**	
Nombre Científico : **Macherium** Nombre Vulgar : **Macherium** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Alta** Flor : **Verde**	
Nombre Científico : **Philodendron acutatum** Nombre Vulgar : **Philodendron** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Alta** Flor : Verde	
Nombre Científico : **Pasiflora suberosa** Nombre Vulgar : **Pasiflora** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Alta** Flor : **Rosa**	
Nombre Científico : **Matelea marítima** Nombre Vulgar : **Estrellita** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Alta** Flor : **Verde**	
Nombre Científico : **Ipomoea pes-caprae** Nombre Vulgar : **Ipomea** Crecimiento : **Rápido** Longevidad: **Media** Sombras: **Alta** Flor : **Roja**	

Fuente: Elaboración propia con ilustraciones tomadas de JSTOR Global Plants y de Biodiversity Heritage Library.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

(arcilla expandida, arena de río, grava) y sintéticos (espuma de polietileno y espuma fenólica) (gráfico 6).

La arcilla expandida resultó el sustrato con mayor retención de humedad (76%), además de ser altamente porosa, liviana y estable. En Venezuela se fabrica bajo la marca Aliven (empresa Agregados Livianos, C.A.), lo que garantiza su disponibilidad en el mercado local. Este material se produce en grandes hornos rotatorios a temperaturas de hasta 1.150 °C, que expanden la arcilla en pellas de forma esférica de estructura alveolar porosa; puede usarse solo o mezclado con sustratos orgánicos o inorgánicos y con aditivos minerales de nutrición.

4. Aspectos de mantenimiento del sistema FVP

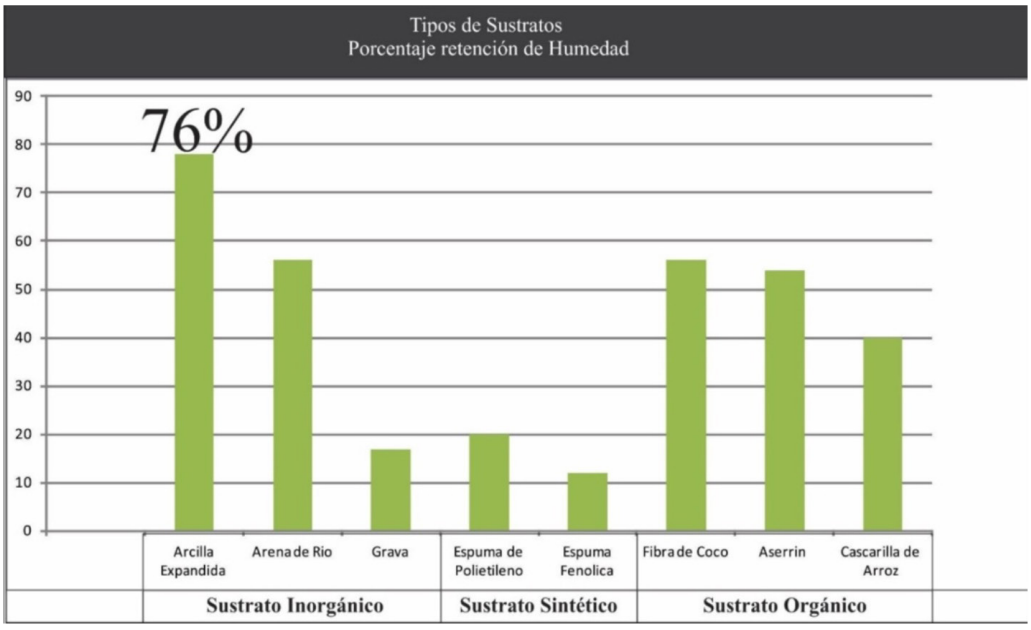
El objetivo del mantenimiento es garantizar la vida útil del sistema. Comprende cuatro acciones básicas: riego, poda, fumigación y reposición regular de las plantas. Estas acciones requieren que el sistema incorpore componentes que las ejecuten o faciliten.

- **El riego**

El riego es una parte fundamental del sistema FVP. Se evaluaron tres tipos: por gravedad, por aspersión y por goteo. Atendiendo al indicador de eficiencia propuesto por Pereira et al. (2010) –relación entre el agua añadida en la zona radicular y la dosis bruta aplicada–, el riego por goteo presenta los mejores valores: entre 70% y 95% en sistemas bien proyectados, frente a 45%-80% para el riego por gravedad y 55%-85% para el riego por aspersión. Por esta razón, y porque permite una aplicación precisa y controlada adaptada al tamaño de los materos del sistema, se seleccionó el riego por goteo como sistema de referencia para el FVP.

El sistema de riego consiste en mangueras de plástico instaladas a lo largo de los rieles, conectadas a cintas de riego con goteros distribuidos sobre los materos (gráfico 7). El especia-

Gráfico 6. Porcentaje de retención de humedad de diferentes sustratos.



Fuente: Elaboración propia.

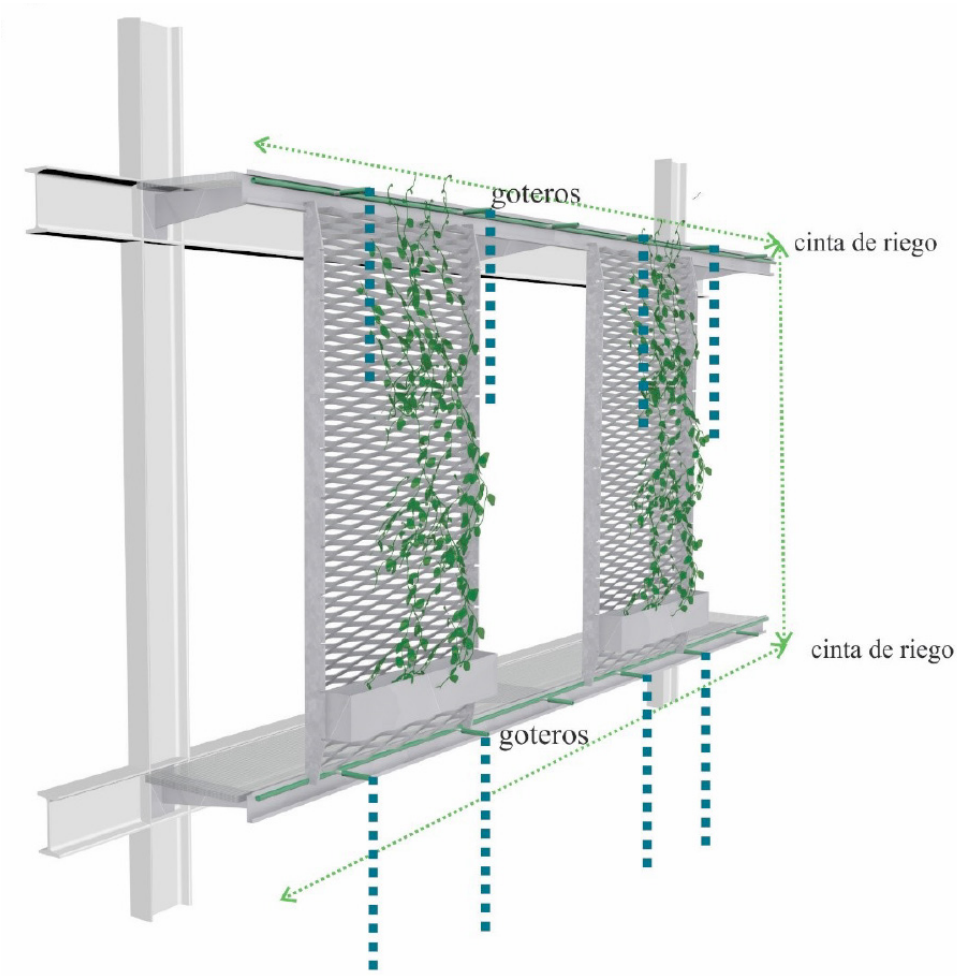
DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

lista consultado, el arquitecto Daniel Bourgeois, propuso una programación de 30 minutos 6 veces por semana en época de sequía (diciembre-abril) y 30 minutos 2 veces por semana en época de lluvia (mayo-noviembre), con el fin de mejorar la eficiencia del sistema adaptándolo a las estaciones climáticas venezolanas.

- La poda y la pasarela de mantenimiento

La poda es la acción de mantenimiento orientada a eliminar las partes vegetales innecesarias, enfermas o que dificulten el crecimiento según lo planificado. Los tipos de poda relevantes para el sistema son: la poda de formación (para crear la geometría deseada), la poda de saneamiento (para eliminar ramas y hojas secas o rotas) y la poda de despunte (para estimular la aparición de nuevas ramas). Para facilitar el acceso en altura a todas estas labores –incluyendo también la fumigación y el reemplazo de plantas–, el sistema FVP incorpora pasarelas de servicio de planchas de acero grill apoyadas en las ménsulas. Esta solución, no identificada en los referentes internacionales estudiados, elimina la necesidad de andamios o equipos de escalada para el mantenimiento

Gráfico 7. Esquema general del sistema de riego por goteo propuesto para el sistema FVP



Fuente: Elaboración propia.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

rutinario, lo que reduce costos operacionales y mejora la seguridad del jardinero.

5. Aspectos ambientales del sistema FVP

La permeabilidad es la propiedad ambiental central del sistema FVP. Al configurar una estructura separada de la fachada del edificio por las ménsulas, el sistema FVP actúa como una fachada ventilada cuyo revestimiento es la vegetación, capaz de cumplir simultáneamente funciones de sombreado, aislamiento térmico, ventilación natural y enfriamiento por evapotranspiración.

- Sombreado

La combinación de los componentes inorgánicos del sistema –pasarela y materos con una proyección de 80 cm desde la fachada– y la densidad de la vegetación permite sombrear hasta 2,40 m de altura para ángulos verticales de sombreado de 70° o más en fachadas norte, suficiente en horas del mediodía para las latitudes de la mitad norte del país. Para las fachadas sur, el marco tipo C utilizado como parasol a media altura permite sombrar hasta 1,6 m para ángulos de 63° o más. En orientaciones este y oeste, donde el sol tiende a estar más bajo en el horizonte, la vegetación es el componente de sombreado determinante.

La ventaja de la vegetación como elemento de sombreado frente a los protectores solares inorgánicos tradicionales reside en que los procesos biológicos —fotosíntesis y transpiración vegetal— disipan la energía térmica, de modo que la vegetación alcanza temperaturas incluso por debajo de las del aire ambiental, muy por debajo de las temperaturas de los materiales de construcción. El resultado es frescor en su entorno y reducción de la energía irradiada al edificio.

- Aislamiento térmico

El sistema FVP puede entenderse como un elemento que aumenta la resistencia térmica de la fachada, al tener una configuración análoga a la de un sistema de fachada ventilada: el soporte es la fachada del edificio, la cámara de aire ventilada es el espacio que ocupa la estructura del sistema (aproximadamente medio metro en la propuesta base) y el revestimiento es la vegetación. Cuando la densidad del follaje es alta, la vegetación actúa como revestimiento que absorbe y disipa el calor solar, y, en condiciones de poco viento, se produce el tiro térmico que renueva el aire de la cámara, aumentando la resistencia térmica del conjunto. En climas cálido-secos, el ahorro energético asociado al uso de fachadas verdes ha sido estimado en más del 20% en algunos casos (Mahmoudi y Pourmousa, 2018).

- Ventilación natural y enfriamiento por evapotranspiración

La permeabilidad del sistema FVP es compatible con estrategias de ventilación natural, tanto cruzada como por tiro térmico (Rosales, 2015). Cuando se use en edificios diseñados para ventilación natural, la densidad de la vegetación debe controlarse para no obstaculizar las entradas y salidas de aire. El sistema también puede usarse en contrario –como barrera contra el viento– cuando se desee reducir los efectos del viento en la edificación.

La transpiración vegetal reduce la temperatura de las hojas entre 2 y 3 °C por debajo de la temperatura del aire (Hernández Gil, 2013), generando frescor en el entorno inmediato del sistema. Mediciones realizadas por Jaafar et al. (2013) en el clima tropical húmedo de Malasia reportaron reducciones promedio de temperatura del aire de 1,5 °C en los corredores exteriores de un edificio con fachada verde, y reducciones de temperatura de la fachada de más de 10 °C han sido reportadas por Wong et al. (2010b) en condiciones similares. En cuanto a la reducción de la isla de calor a escala urbana, las fachadas verdes actúan principalmente a nivel de microescala, enfriando el entorno por sombreado y evapotranspiración, cubriendo superficies que de otro modo absorberían y

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

almacenarían calor, y reduciendo la necesidad de aire acondicionado.

- **Retención de carbono y biodiversidad**

Las plantas trepadoras del sistema FVP fijan CO_2 a través de la fotosíntesis. Un estudio realizado en México con especies similares a las propuestas para el sistema (Carbajal et al., 2017) reportó capturas de 471,38 g de CO_2/m^2 en año y medio para *Pentalinon luteum* (bejuco campana) y de 263 g de CO_2/m^2 en seis meses para *Clitoria ternatea* (campanilla). Además de retener carbono, las plantas atrapan partículas de polvo en la superficie de las hojas, actuando como sumidero de contaminación procedente del entorno urbano.

El sistema FVP, al crear una masa vegetal en la fachada, genera también condiciones de hábitat que pueden conectar los espacios urbanos con los periféricos naturales o seminaturales, favoreciendo la presencia de insectos, aves y otros organismos. Este aspecto debe tenerse en cuenta en el diseño del sistema para que el incremento de biodiversidad sea percibido como un beneficio y no como un inconveniente.

6. Aspectos económicos del sistema FVP

El costo del sistema FVP definido en sus aspectos básicos, se estimó tomando como referencia los precios del mercado venezolano y la experiencia de construcción parcial del prototipo realizado en 2018 en el contexto del proyecto Casa 4 en Caracas. La estimación consideró los componentes y accesorios básicos requeridos: ménsulas, rieles, marcos, malla y materos de acero galvanizado, sistema de riego por goteo y pasarela de mantenimiento.

El costo estimado apunta a valores inferiores a US $200/m², que representa aproximadamente una quinta parte del costo de los sistemas de fachadas verdes comerciales tomados como referencia: el revestimiento de paneles SoftWave 25-50 de Hunter Douglas y la Pared básica (Basic Wall) de GSky Plant Systems. En términos relativos, la experiencia de 2018 indicó que el sistema FVP representó el 3% del costo total de construcción del edificio en que fue aplicado. El bajo costo relativo se explica principalmente por el uso de materiales de acero galvanizado de buena disponibilidad en el mercado local venezolano, la fabricación artesanal o en taller de todos los componentes, y el uso de plantas trepadoras venezolanas de fácil consecución en viveros locales.

Aportes del sistema FVP para el desarrollo tecnológico de la construcción en Venezuela

El sistema FVP tiene aportes específicos en varias dimensiones del desarrollo tecnológico de la construcción, con relevancia particular para el contexto venezolano:

- **Aporte constructivo**

El sistema propone componentes fabricables localmente en acero galvanizado, material de buena disponibilidad en el mercado venezolano, con procesos industriales accesibles: doblado, troquelado y soldadura. Se exploraron los materiales de acero galvanizado y aluminio; el aluminio, si bien es idóneo por su peso y resistencia a los agentes atmosféricos, fue descartado por su escasa disponibilidad en el mercado venezolano al momento de la investigación, aunque se mantiene como opción a explorar en contextos de mayor disponibilidad. Su modulación le permite adaptarse a distintas escalas y condiciones de proyecto, tanto en edificaciones nuevas como en intervenciones sobre edificios existentes. El sistema se puede instalar en fases y ampliarlo progresivamente, lo que reduce la inversión inicial.

La incorporación de la pasarela de mantenimiento como componente integrado al sistema es un aporte que no se identificó en los referentes internacionales estudiados, y representa una solución original que facilita y hace más segura la labor del jardinero, con impacto di-

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

recto en la vida útil del sistema y en la reducción de los costos de operación.

- Aporte botánico

La investigación generó el primer catálogo venezolano de plantas trepadoras herbáceas orientado específicamente al uso en sistemas de fachadas verdes, clasificado por zonas de vida según el sistema de Holdridge aplicado al país por Ewel y Madriz (1968). El catálogo incluye 24 especies perennifolias con información técnica detallada para su uso en proyectos de arquitectura y paisajismo, incluyendo criterios de selección por zona de vida, temperatura, altitud, rapidez de crecimiento, longevidad, capacidad de sombreado y color de flores. Esta herramienta constituye un precedente en la investigación de técnicas que combinan el medio ambiente y la tecnología constructiva en Venezuela, y puede ser de utilidad independiente para proyectos que requieran incorporar vegetación nativa en fachadas y superficies verticales.

- Aporte ambiental

El sistema FVP constituye una propuesta de infraestructura verde urbana adaptada al trópico venezolano, que integra estrategias bioclimáticas –sombreado, ventilación natural, evapotranspiración– con el uso de plantas nativas y materiales de fabricación local. En un contexto como el venezolano, con graves déficit de áreas verdes urbanas y ausencia de normativa específica sobre fachadas verdes, esta propuesta puede servir de base para el desarrollo de directrices técnicas. Como referencia, las normas más completas al respecto son las directrices alemanas de 1995 para la construcción, planificación y mantenimiento de fachadas con plantas trepadoras, revisadas en el año 2000, que regulan los aspectos de jardinería aunque no los constructivos.

- Aporte económico

La posibilidad de fabricar todos los componentes del sistema con materiales disponibles en el mercado local, mediante procesos de taller accesibles, es un aporte significativo frente a los sistemas comerciales importados. El costo estimado –inferior a US $200/m², unas cinco veces menor que los sistemas de referencia– hace al FVP accesible para un rango más amplio de edificaciones, no limitándose a edificios singulares o de alto presupuesto, que es donde en la práctica se circunscribe el uso de las fachadas verdes en Venezuela.

Conclusiones

Esta investigación ha demostrado la viabilidad técnica y económica de un sistema de fachada verde permeable desarrollado a partir de una revisión crítica y sistemática del estado del arte y de las condiciones climáticas, botánicas y de mercado venezolano. La tipología permeable, basada en plantas trepadoras herbáceas sobre marcos modulares con malla de polietileno, es la más adecuada para el clima tropical venezolano por su capacidad de tamizar los factores ambientales –luz, viento y humedad– favoreciendo el confort bioclimático sin sacrificar la ventilación natural, que es una estrategia fundamental en climas cálidos.

La propuesta cubre de manera integrada los aspectos constructivos, botánicos, de mantenimiento, ambientales y económicos del sistema, siguiendo la premisa de construir bien desde el inicio: todos los componentes están pensados para tener una larga vida útil, ser fabricables localmente, requerir un mantenimiento seguro y accesible, y producir la menor huella ecológica posible. El proceso de diseño –que incluyó la evaluación de cinco alternativas previas, ensayos de materiales y consultas con especialistas– es en sí mismo un aporte metodológico para el desarrollo de sistemas constructivos de este tipo.

El catálogo de 24 plantas trepadoras herbáceas venezolanas, clasificadas por zonas de vida, es un aporte original de la investigación que llena un vacío identificado en la literatura local: no

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

existe hasta la fecha ninguna publicación venezolana que relacione de manera sistemática la arquitectura y las especies trepadoras nativas. Este catálogo puede ser de utilidad no solo para el sistema FVP, sino para cualquier proyecto de arquitectura o paisajismo que requiera incorporar vegetación nativa en superficies verticales.

El sistema FVP requiere aún investigaciones adicionales para completar su validación. Entre las líneas de trabajo futuro más urgentes se cuentan: la construcción y evaluación de un prototipo completo del sistema; la medición experimental de sus prestaciones térmicas –transmitancia, factor de sombra, temperatura superficial– bajo condiciones climáticas venezolanas; la evaluación de su comportamiento en diferentes orientaciones y tipos de edificaciones; y el desarrollo de normativa técnica específica para fachadas verdes en Venezuela. En cuanto a los materiales, queda abierta la posibilidad de explorar el aluminio –más liviano y resistente a la corrosión– en contextos donde su disponibilidad lo permita. Finalmente, la posibilidad de incorporar sistemas de riego que reciclen el agua de lluvia o el agua de condensación de los equipos de aire acondicionado es una mejora ambiental que merece explorarse en etapas posteriores de la investigación.

Referencias bibliográficas

Acosta, D. y Cilento, A. (2005). Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo, en: *Tecnología y Construcción* vol. 21-I, 2005. IDEC. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela. https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_tc/article/view/2880

Anindya Sari, A. (2017). Thermal performance of vertical greening system on the building facade: A review. *AIP Conference Proceedings*, vol. 1887 (1), 020054. https://doi.org/10.1063/1.5003537

Ansorena, J. (1994). Sustratos. Propiedades y Caracterización. Madrid: Mundi-Prensa.

Azkorra, Z.; Pérez, G.; Coma, J.; Cabeza, L.F.; Bures, S. y Álvaro, J.E. (2015). Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings, in *Applied Acoustics*, vol. 89, pp.: 46-56. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.09.010

Banco Mundial (2019). Población urbana (% del total). https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS

Bertalanffy, L. von (1975). Perspectives on General Systems Theory. New York: George Braziller.

Biodiversity Heritage Library: https://www.biodiversitylibrary.org.

Carbajal Ávila, J.; Rodríguez Rosales, A. A.; Ávila Caballero, L. P.; Rodríguez Herrera, A. L. y Hernández Cocoletzi, H. (2017). Captura de carbono por una fachada vegetada, en: *Acta Universitaria*, vol. 27, nº 5: pp. 55-61. https://doi.org /10.15174/au.2017.1388

Cilento, A. (1996). Sincretismo e innovación tecnológica en la producción de viviendas, en: *Tecnología y Construcción*, vol. 12-I, pp. 15-19. https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_tc/article/view/12562

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

Darwin, C. (1865). On the Movements and Habits of Climbing Plants. *Journal of the Linnean Society of London (Botany), 9 (33), pp.: 1-118.*

Djedjig, R.; Belarbi, R. y Bozonnet, E. (2016). Green wall impacts inside and outside buildings: experimental study. International Conference on Materials and Energy 2016, La Rochelle, France.

Ewel, J. y Madriz, A. (1968). Zonas de vida de Venezuela: memoria explicativa sobre el Mapa Ecológico. Caracas: Ministerio de Agricultura y Cría.

Ewel, J.; Madriz, A. y Tosi, J. (1976). Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el Mapa Ecológico. Caracas: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

Hernández Gil, R. (2013). Transpiración Vegetal. Botánica Online. Universidad de Los Andes, Mérida. https://www.forest.ula.ve/~rubenhg/transpiracion/

Holdridge, L. (1947). Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data, in: Science, vol. 105 (2727): pp. 367-368.

IPCC-Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2015). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Cambridge University Press.

Isnard, S. y Silk, W. (2009). Moving with climbing plants from Charles Darwin's time into the 21st century. *American Journal of Botany,* 96 (7): pp. 1205-1221.

Jaafar, B.; Said, I.; Nadzri, M. y Hysiam, M. (2013). Impact of vertical greenery system on internal building corridors in the tropic, in *Procedia Social and Behavioral Sciences*, vol. 105, pp. 558-568. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.059

Badrulzaman Jaafar a, Ismail Said a, Mohd Nadzri Md Reba b, Mohd Hisyam Rasidi

Jardin Leca, M. (2014). Instrumentos de medición: índices y estándares. Memorias de la Trienal de Investigación FAU 2014. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela.

JSTOR Global Plants: https://plants.jstor.org.

Mahmoudi Zarandi, M. y Pourmousa, M. (2018). A comparative study on details of green walls in different climates, in *Environmental Resources Research*, vol. 6 (2): 187-194.

Norton, B.; Bosomworth, K.; Coutts, A.; Williams, N.S.G.; Livesley, S.; Trundle, A.; Harris, R. y McEvoy, D. (2013). Planning for a cooler future: green infrastructure to reduce urban heat. Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research.

OMS-Organización Mundial de la Salud (2009). Estadísticas sanitarias mundiales. https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241563819

ONU-Organización de las Naciones Unidas (2011). Ciudades y cambio climático. Informe mundial sobre asentamientos humanos 2011. https://onuhabitat.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=388&Itemid=235

Pereira, L.; de Juan Valero, J.; Picornell, M. y Tarjuelo, J. (2010). El riego y sus tecnologias. Ciudad Real: Centro Regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla-La Mancha. https://crea.uclm.es/down_files/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf

Posada, M.; Arroyave, M. y Fernandez, C. (2009). Influencia de la vegetación en los niveles de ruido urbano. Revista *EIA*, nº 12, pp: 79-89. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín, Colombia.

Putz, F. y Holbrook, M. (1992). Biomechanical studies of vines, en Putz, F. y Mooney, H. (eds.) *Biology of vines*. Cambridge University Press.

Raji, B.; Tenpierik, M.J. y van den Dobbelsteen, A. (2015). The impact of greening systems on building energy performance: A literature review, in: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, nº 45: 610-623.

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02

Rosales, L. (2015). Guía de estudio nº 5: Ventilación natural. Asignatura Clima y Diseño, Escuela de Arquitectura Carlos Raúl Villanueva, Facultad de Aqrquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela.

Ruza Tarrío, F. (1996). La vegetación en la lucha contra el ruido. Revista de la Asociación Técnica de Carreteras, 56, pp.: 43-50. http://www.carreteros.org/planificacion/1996/1996_6.pdf

Tan, C.L.; Wong, N.H. y Jusuf, S. (2014). Effects of vertical greenery on mean radiant temperature in the tropical urban environment, in *Landscape and Urban Planning*, vol. 127: 52-64. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.04.005

Velasco, E.; Roth, M.; Norford, L. y Molina, L. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration?, in *Landscape and Urban Planning*, vol. 148: 99-107. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.003

Wong, N.H.; Kwang Tan, A.Y.; Tan, P. Y.; Chiang, K. y Wong, N.C. (2010a). Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls, in *Building and Environment*, vol. 45 (2), 411-420. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.017

Wong, N.H.; Kwan Tan, A.Y.; Chen, Y.; Sekar, K.; Tan, P.Y.; Chan, D.; Chiang, K. y Wong, N.C. (2010b). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls, in *Building and Environment*, vol. 45 (3), 663-672. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005

DOI: https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.2.02