

## DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MURO VEGETAL VENTILADO PARA ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL EN ESPACIOS INTERIORES.

Arq. Ángela Papadia <sup>1</sup>, Esp. Arq. Ernesto Lorenzo <sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Facultad Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, *e-mail: apapadia@gmail.com*

<sup>2</sup>Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Facultad Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, *e-mail: ernestolorenzor@gmail.com*

### RESUMEN

El presente proyecto tiene por objetivo, a partir del estudio de los sistemas de muros vegetales ventilados, el desarrollo de un sistema que incorpore componentes y tecnologías que faciliten su fabricación en nuestro contexto. Los muros vegetales ventilados constituyen sistemas evaporativos directos en los que se fuerza el paso del aire a través de un cuerpo húmedo (conformado por las plantas y el sustrato hidropónico en el que se desarrollan) con el propósito de mejorar las condiciones de temperatura, humedad y calidad microbiológica del aire, dadas las propiedades termorreguladoras y purificadoras de las plantas (Lau, 2015). El estudio de estos sistemas aún no implementados en nuestro país, se fundamenta en antecedentes en los que su implementación reporta ventajas en cuanto a eficiencia energética y mejoramiento de la calidad del ambiente. El potencial de estos sistema aún no ha sido evaluado en países cálidos como Venezuela (Hobaica et al, 2001:11) y se pretende a partir de una metodología experimental, caracterizar un sistema adaptado a nuestra tecnología y evaluar su comportamiento para significar un aporte al conocimiento del potencial de los muros vegetales ventilados para el acondicionamiento de espacios interiores en nuestro contexto. En esta ponencia se abordan la caracterización del sistema, el diseño de la experimentación y se presentan los resultados del 1er experimento de los dos (2) que conforman la etapa experimental.

### Palabras clave:

Muros vegetales ventilados; Sistemas evaporativos directos; Acondicionamiento de espacios interiores.

### INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las consecuencias del calentamiento global y del incremento del consumo energético de las edificaciones ha activado dentro de los procesos de Investigación y Desarrollo la creación de tecnologías dentro del marco de la sostenibilidad que contribuyen a disminuir el consumo energético de las edificaciones y mejorar la calidad de vida de sus ocupantes. El desarrollo de estas tecnologías ha generado sistemas que implementan el ajardinamiento para conformar superficies vegetales e incorporarlas en la envolvente y en los espacios interiores de las edificaciones, reportando beneficios en cuanto al consumo energético y a la calidad del ambiente, asociados a propiedades purificadoras y termorreguladoras de las plantas (Lau, 2015).

Los muros vegetales ventilados forman parte de estos sistemas de ajardinamiento y están conformados por una estructura vertical que contiene un sustrato húmedo y poroso en el que se desarrollan las plantas y a través del cual se fuerza el paso de una corriente de aire que proviene del exterior o del interior de la edificación, Figura 1, su funcionamiento se corresponde al de los sistemas evaporativos directos que en proyectos de investigación “...mostraron que el potencial de estos sistemas es significativo en el ámbito europeo (Belarbi et al., 1998). Ahora se busca evaluar su potencial en países cálidos como Venezuela, adaptándolos a las condiciones locales e integrándolos en el diseño mismo de las edificaciones, con lo cual se verificaría no sólo su potencial, sino también sus particularidades operativas. Para ello se requiere la verificación de la metodología propuesta, su actualización y adaptación al caso venezolano”, Figura 2 (Hobaica et al, 2001:11). Bajo estas premisas y dentro de las estrategias para un hábitat sostenible (Acosta y Cilento, 2005), se pretende a partir del estudio de los antecedentes, conocer su funcionamiento y los procesos que en él intervienen, diseñar un prototipo experimental que permita evaluar y conocer sus prestaciones en cuanto a mejoramiento de la calidad del aire en espacios interiores, y caracterizar un sistema tecnológico vegetal ventilado, adaptado a nuestro contexto.

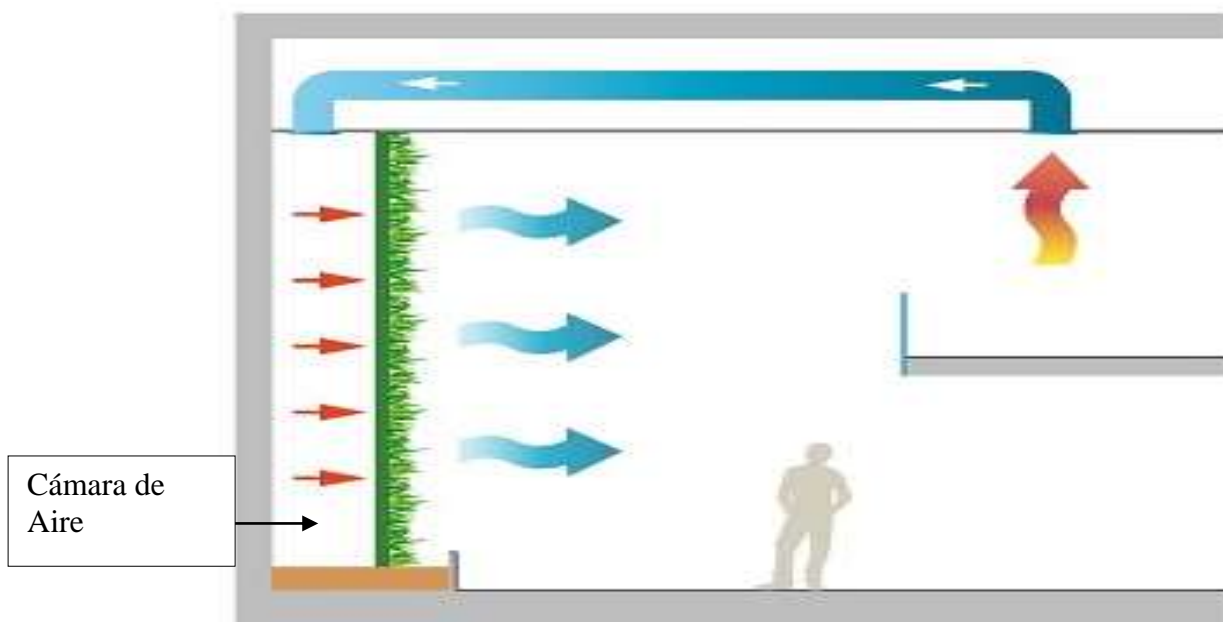


Figura 1: Muro vegetal ventilado en espacios interiores.  
Fuente: [www.terapiaurbana.com](http://www.terapiaurbana.com)

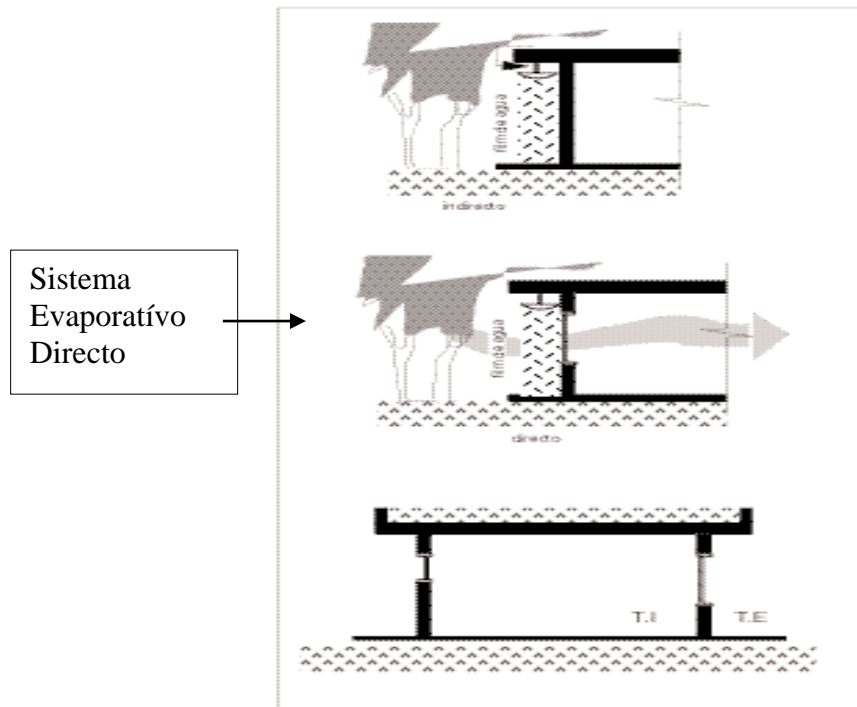


Figura 2: Sistemas de refrescamiento evaporativos. Fuente: Hobaica et al,2001.

## 1. DESARROLLO

### 1.1. Metodología utilizada:

Una vez precisado el propósito de la investigación, se requiere conocer el modo de desarrollarla. Para ello se implementan técnicas como observar y comprender el objeto desde distintos puntos de vista y formular preguntas desde las más generales hasta las más específicas. El proceso de dar respuesta a las preguntas va construyendo las hipótesis y la manera de desarrollar la propuesta del Sistema, siempre desde las nociones del Desarrollo Sustentable. Para el Desarrollo del Sistema se requiere caracterizar los elementos que lo conforman: Componentes, Funcionamiento y Procesos involucrados, Tabla 1, y para comprobar las hipótesis formuladas, es necesario un método que permita simular y medir su comportamiento. La naturaleza de los elementos que conforman la investigación es de tipo cuantitativa y requiere de un método experimental para su comprobación.

En esta ponencia se presenta el diseño de la experimentación, conformada por los experimentos 1 y 2, y resultados parciales del experimento N° 1. De los resultados de la experimentación se espera la obtención de datos en referencia al potencial de este tipo de sistemas para nuestro contexto e información que aporte lineamientos para el diseño y caracterización del sistema a desarrollar.

Tabla 1: Antecedentes de Sistemas de Muros Verdes Ventilados. Fuente: Elaboración propia.

		PATENTES DE M.V.V.			
		CANEVAFLOR	TERAPIA URBANA	URBANARBORESMO	AMPS
COMPONENTES	CAMARA DE AIRE CON SISTEMA DE VENTILACION FORZADA	red de ventilación que guía el aire contaminado hacia el sustrato	40-80 cm profundidad / velocidad paso del aire a través del sustrato 0.1 - 0.3 m/s	conduccion de aire mediante ventilador	Conducciones plásticas fabricadas en base a un molde especial, aire mediante mini ventiladores
	ESTRUCTURA PORTANTE	estructura metálica galvanizada	estructura portante de acero y soporte para sustrato.	Perfiles de aluminio	
	PANEL CON SUSTRATO	Espejes de 20 a 40 cm./ Sustrato de fibra vegetal reciclada	sustrato patentado Fitobestil	panel perforado con filtro húmedo, espesor 12-17 cm/peso total sistema saturado 45-60 kg/m <sup>2</sup>	
	SISTEMA DE RIEGO	Sistema de riego automatizado y eficiente	Automatización y recirculación del agua /fertilización / temperatura del agua 15-20 °C	sistema de control de humedad y riego por goteo/ Caudal: 1,75-10 litros/hora/metro	sistema de control de humedad y riego por goteo
	PLANTAS	Vegetación adaptada a la zona de instalación	seleccionadas según temperatura, humedad, luz), especies de pequeño porte adaptables a hidroponía.		proporvee habitat para multiples tipos de plantas hidroponicas.
PRESTACIONES (CONFORT)	AHORRO ENERGETICO		30-50% ahorro en climatización	consume 1/6 de sist. a/c convencional	proporciona gran ahorro en costos
	ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO		reduce temp. 5-10 °C. Cada gramo de agua evaporado por segundo (aprox. 2400 l/g), proporciona 2,8 kW.	reduce temp. hasta 10 °C. 1 m <sup>2</sup> produce 0,64 kWh	propvee 60% de aire fresco requerido por ASHRAE 62.1.
	CALIDAD DEL AIRE	limpia 70-99% BTX, elimina 97% material particulado.	Produce Oxígeno, fija el CO2 y más de 300 COV. / reduce Síndrome Edif. Enfermo	fija CO2, libera oxígeno, absorbe contaminantes químicos/ reduce Síndrome Edif. Enfermo	absorve 200 veces los contaminantes
	SONIDO/OLORS			metaboliza en compuestos inodoros	
	PSICOAMBIENTAL		mejora experiencia y motivación de los usuarios		cuatro módulos crean efecto de entre 800 y 1200 plantas de interior.
<p>NOTAS: COV corresponden orgánicos volátiles                      BTX: Benceno Tolueno Xileno Etilbenzeno                      La reducción de temperatura del aire dependerá de condiciones ambientales (Temperatura y Humedad Relativa)                      FUENTE: www.canevaflor.cl, www.terapiasurbanas.es, www.urbanarboresmo.es, WWW.CASE.RPI.EDU</p>					

## 1.2. Diseño de la experimentación.

Al diseñar la experimentación se requiere definir las incógnitas que se desean responder y cómo se van a responder. Para el diseño experimental de la investigación se han considerado dos experimentos estructurados de la siguiente manera:

### 1.2.1. Experimento 1.

Tiene como propósito conocer la permeabilidad del sustrato a través del cual se fuerza el paso del aire en estos sistemas. La experimentación se realizó en un ambiente cerrado y climatizado bajo condiciones controladas. Las variables evaluadas fueron la presión del aire, antes y después de atravesar el sustrato y la velocidad del aire luego de atravesar el sustrato, Figuras 3 y 4. Para forzar el paso del aire se utilizó un equipo tipo extractor axial

de 8" no industrial, y con respecto a los instrumentos, para las mediciones de presión del aire se utilizaron un manómetro diferencial en U y en V, y para las mediciones de velocidad del aire, un anemómetro y un tubo de Pitot. El manómetro y tubo de Pitot, de confección casera bajo las indicaciones del asesor. Se consideró hacer la toma de mediciones a tres tipos de muestras de sustratos: orgánico (fibra de coco), inorgánico (aliven) y sintético (guata), en estado seco y húmedo. Los sustratos seleccionados son usualmente implementados en sistemas hidropónicos y de producción nacional. Los resultados de esta experimentación contribuyen a la caracterización de los sustratos con respecto a su propiedad de permeabilidad, al cálculo de la potencia de equipos y componentes del sistema de ventilación forzada para lograr la velocidad de aire requerida a la salida del sistema (0.1 a 0.3 m/s) y a la selección del sustrato más indicado a implementar en el experimento 2. Para esta etapa de la experimentación y en el área de ingeniería mecánica, hemos contado con la asesoría del Prof. MSc Johanne Bracamonte.

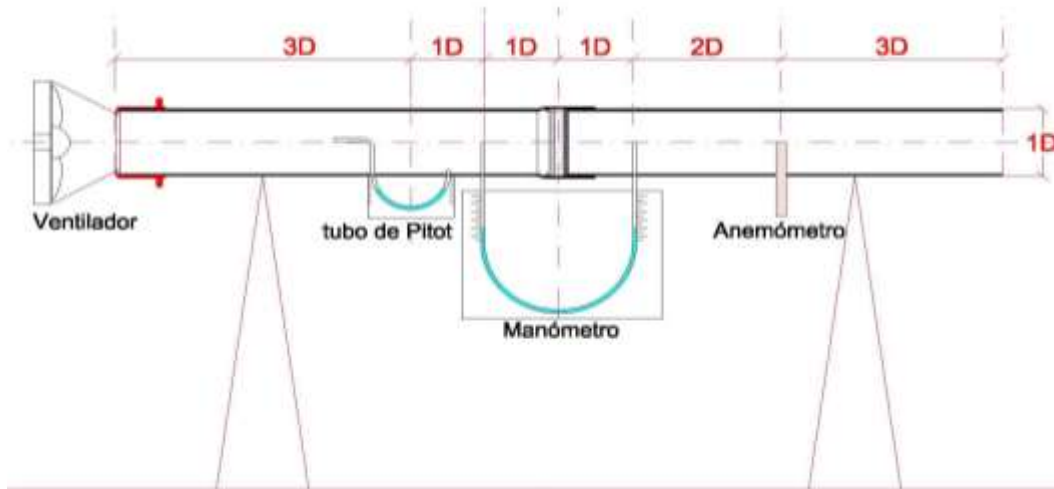


Figura 3: Esquema detallado 1- Experimento 1. Fuente: Prof. MSc Johanne Bracamonte

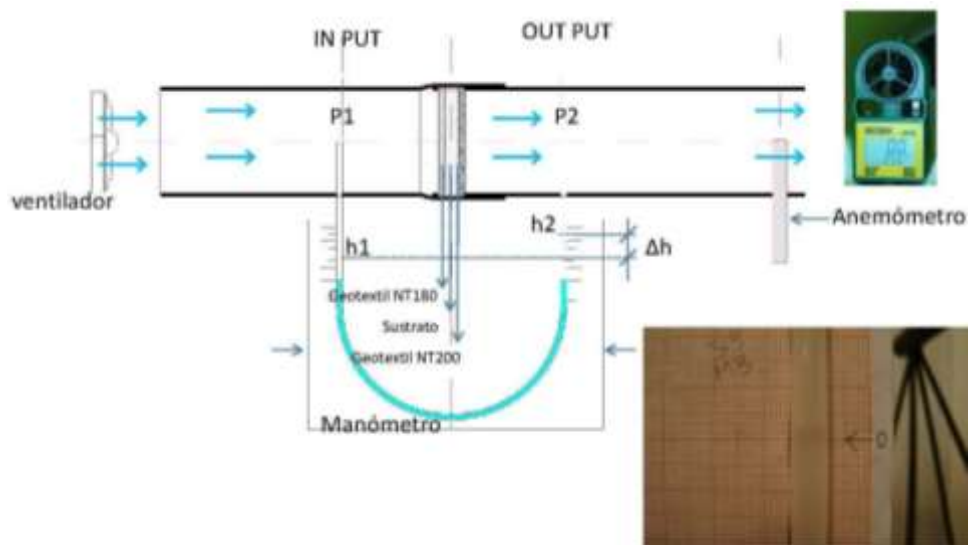


Figura 4: Esquema detallado 2- Experimento 1.



**1.2.2. Experimento 2.**

Este segundo experimento (actualmente en etapa de armado), contempla mediante un Prototipo Experimental conformado por 3 Módulos: M. Control, M. Experimental Vegetado No Ventilado y M. Experimental Vegetado Ventilado, Figura 5, conocer las prestaciones del sistema de ventilación forzada para estos sistemas al comparar el comportamiento de un sistema no ventilado con un sistema ventilado. Las variables a medir son: temperatura y humedad relativas con termo higrómetros, velocidad del aire con un anemómetro, polvo, bacterias y hongos totales con un medio de cultivo en placas de Petri, Tabla 2. Para esta etapa de los estudios de microbiología y de calidad del aire se cuenta con el apoyo del laboratorio de Biología Sanitaria a cargo de la Profesora Yuraima Córdova.

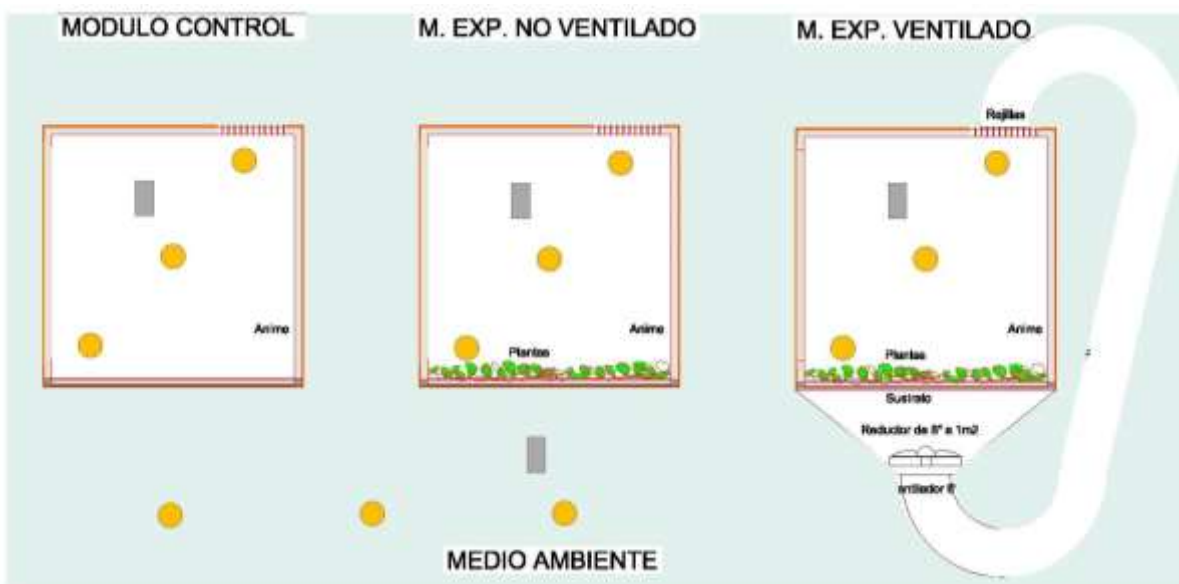


Figura 5: Esquema detallado - Experimento 2. Fuente: Profes. Rosales, Lorenzo y Córdova.

Tabla 2: Variables a evaluar en Experimento 2. Fuente: Elaboración propia.

	Variables	Símbolo	Unidad	Instrumentos	Mediciones por muestra diaria.					
					Modulo Control	Modulo Experimental No Ventilado	Modulo Experimental Ventilado	Medio ambiente	Control Lab.	Total día
Estudio microbiológico del aire	Humedad Relativa	HR	%	Termo higrómetro	1	1	1	1		4
	Temperatura	T	°C							
	Velocidad del aire	V	m/s	Anemómetro	1	1	1			3
	Bacterias totales		UFC/m <sup>3</sup>	Placas de Petri	3	3	3	3	1	13
Medición de gases	Hongos totales									
	Monóxido de Carbono	CO	ppm	Medidor de CO y CO2	1	1	1	1		4
	Dióxido de Carbono	CO2								

UFC/m<sup>3</sup>: unidades formadoras de colonias por metro cúbico

ppm: partículas por millón

Ambos experimentos contemplan:

FASE 1. Diseño del Esquema Detallado del Experimento en el que se define como construir el experimento para forzar el paso del aire a través del sustrato. Se listan las

variables a medir, materiales, equipos e instrumentos de medición indicando dimensiones y detalles constructivos y se establece el protocolo para toma de mediciones.

FASE 2. Armado. En un espacio con condiciones controladas, se procede a armar el experimento con cada una de las partes que lo conforman y las muestras seleccionadas y que serán objeto de las mediciones.

FASE 3. Toma de mediciones. Una vez instalados los instrumentos de medición y establecida la forma de registrar los datos, se inicia con el proceso de calibración y luego el de toma de mediciones y registro de datos.

FASE 4. Procesamiento de datos. Una vez obtenidos los datos, se organiza la información de modo de poder contrastar y transmitir los resultados.

**Nota:** en la etapa experimental se diseñan los experimentos en base a los datos a recolectar, a los instrumentos de medición accesibles, a las posibilidades presupuestarias, según indicaciones consultadas al tutor y asesores familiarizados con los métodos experimentales y a las posibilidades técnicas del IDEC.

### 1.3 Resultados de la Experimentación. Experimento 1:

#### 1.3.1 Justificación:

Durante la experimentación 1 hubo limitaciones en cuanto a los instrumentos de medición y equipos disponibles, específicamente los referidos a las tomas de mediciones de velocidad del aire, por cuanto se exploraron varias alternativas para procurar obtener la medición, pero no hubo registro de velocidad del aire a pesar de comprobar visualmente que el aire logra pasar a través del sustrato.

#### 1.3.2. Conclusiones:

- Los sustratos utilizados en la experimentación ofrecen una importante resistencia al flujo del aire.
- Por las mediciones de caída de presión registradas, los sustratos húmedos ofrecen mayor resistencia al flujo del aire que los sustratos secos. Tablas 3,4 y 5. Figura 6.
- Los Sustratos S1 (orgánico) y S3 (sintético), tuvieron comportamientos muy similares, siendo el Sustrato S2 (inorgánico) el que no mostrara variación en sus estados seco y húmedo. Tablas 3, 4 y 5. Figura 6.
- Las velocidades del flujo del aire en estos sistemas se deduce son menores a 0.5m/s, dado q los instrumentos utilizados no registran mediciones menores a 0,5m/s.
- Se recomienda para este tipo de sistemas la implementación de ventiladores radiales, capaces de vencer la resistencia que ofrece el sustrato.
- En la experimentación 1 se utilizará el S3 por su comportamiento similar al S1 y por ser inerte, considerando esta condición más conveniente para la obtención de datos no alterados por el posible comportamiento del sustrato.

Tabla 3: Resultado de las Mediciones Manométricas y Anemométricas.

	SUSTRATO SECO	SUSTRATO HUMEDO + VEGETACION	INSTRUMENTO								
			Manómetro V			Anemómetro		Tubo de Pitot			
			h1	h2	Δh	V	Temp.	h1	h2	Δh	
			mm			m/s	°C	mm			
S/ Orgánico. FIBRA DE COCO	S1		-1,5	1,5	3	0.0					0.0
		S1	-2	2	4	0.0					0.0
S/ Inorgánico. ARCILLA	S2		-2	2	4	0.0					0.0
		S2	-2	2	4	0.0					0.0
S/ Sintético. GUATA	S3		-1,5	1,5	3	0.0					0.0
		S3	-2	2	4	0.0					0.0

Tabla 3: Muestras.

MUESTRAS		
	SUSTRATO SECO	SUSTRATO HUMEDO + VEGETACION
S1	S/ Orgánico. FIBRA DE COCO	S/ Orgánico. FIBRA DE COCO
S2	S/ Inorgánico. ARCILLA EXPANDIDA	S/ Inorgánico. ARCILLA EXPANDIDA
S3	S/ Sintético. GUATA	S/ Sintético. GUATA

Tabla 4: Resultados de las Diferencias de Presión.

S/SECO	S/HUMEDO	Δh	Δp
S1		3	29,43
	S1	4	39,24
			0
S2		4	39,24
	S2	4	39,24
			0
S3		3	29,43
	S3	4	39,24

$\Delta p = \Delta h \cdot \rho \cdot g$

densidad del agua  $\rho$  1000 kg/m<sup>3</sup>  
 gravedad g 9,81 m/s<sup>2</sup>  
 diferencia altura  $\Delta h$  mm  
 diferencia de presión  $\Delta p$  Pa

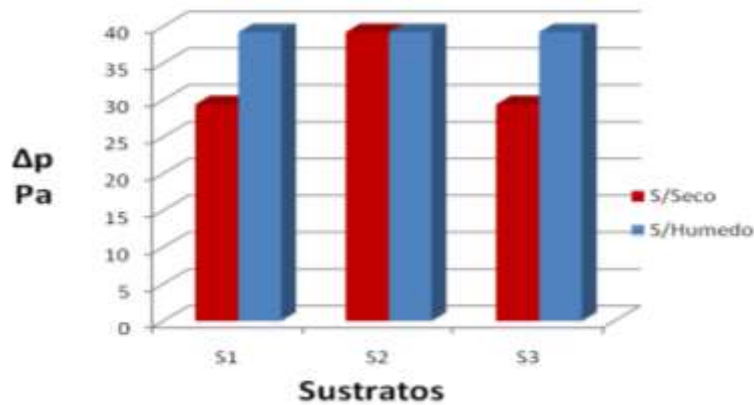


Figura 6: Grafico de Diferencias de Presión registradas. Fuente: Elaboración Propia.

#### 1.4 Desarrollo del Sistema:

El desarrollo del sistema consiste en la caracterización de un sistema de muro vegetal ventilado para espacios interiores, a ser construido con especies de plantas, materiales y equipos locales y/o de fácil acceso en nuestro país. Del estudiar referentes de sistemas existentes, del comportamiento de plantas hidropónicas y su adaptación a los sistemas



verticales como parte del proceso de diseño, surge la vinculación de una aplicación de superficies vegetales de Patric Blanc en el Museo de Arte de Miami, Figura 6, a la de imágenes de algunas plantas en su hábitat natural, Figura 7, y a la idea de un posible modo de ventilar el sistema a través de tubos perforados para innovar con respecto al funcionamiento de ventilación de estos sistemas, Figura 8.



Figura 6: Museo de Arte de Miami, Patric Blanc.  
Fuente: [www.verticalgardenpatricblanc.com](http://www.verticalgardenpatricblanc.com)



Figura 7: Plantas en su hábitat natural.  
Fuente: elaboración propia. Anzoategui, 2013.



Figura 8: visualización de modo de ventilar la superficie vegetal mediante tubos perforados al observar una aplicación de Patric Blanc sobre un tronco.  
Fuente: [www.verticalgardenpatricblanc.com](http://www.verticalgardenpatricblanc.com)

Propuesta de posible modo de ventilar el sistema a través de tubos perforados, procurando optimizar aspectos del sistema de ventilación y desarrollar un sistema flexible que permita no solo la conformación de muros verticales, sino su adaptación a distintas superficies y propuestas de diseño. Figuras 9, 10, 11, 12 y 13.

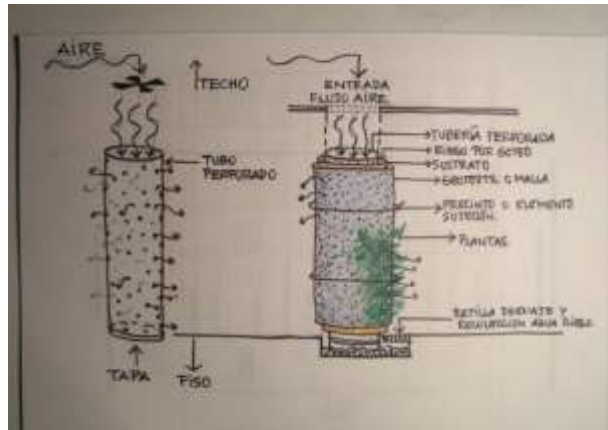


Figura 9: esquema inicial de propuesta del uso de tubos perforados para ventilar el sistema vegetal.

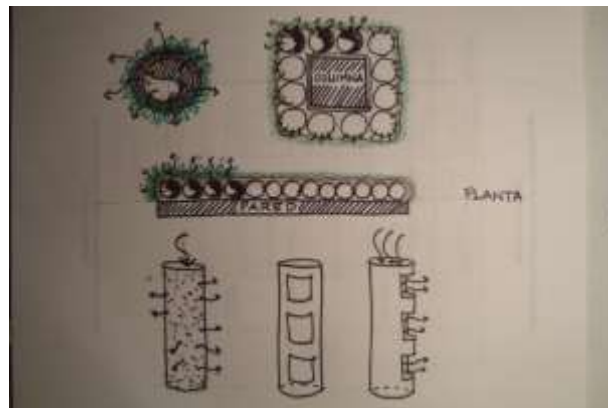


Figura 10: alternativas de armado y perforado de los tubos.

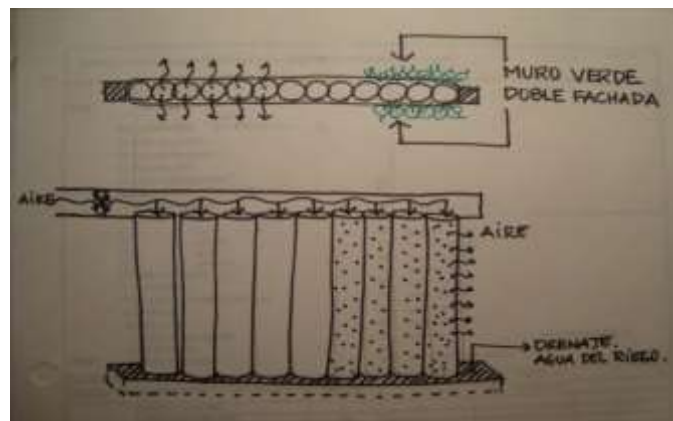


Figura 11: armado del sistema de tubos para conformar un muro vegetal ventilado.

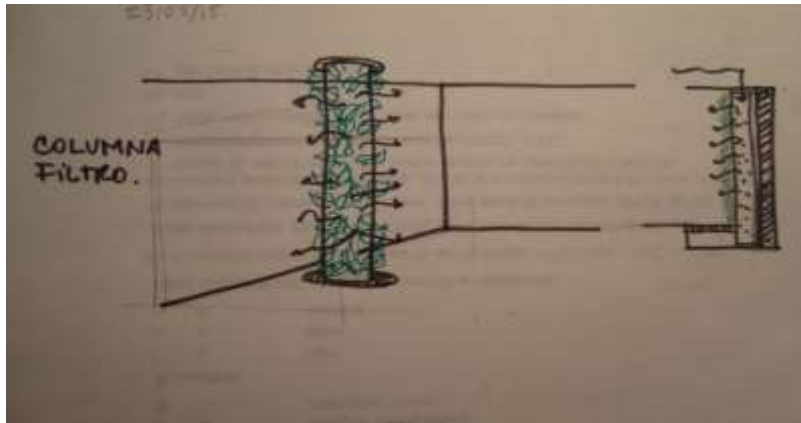


Figura 12: boceto de alternativa de ventilar desde los techos.

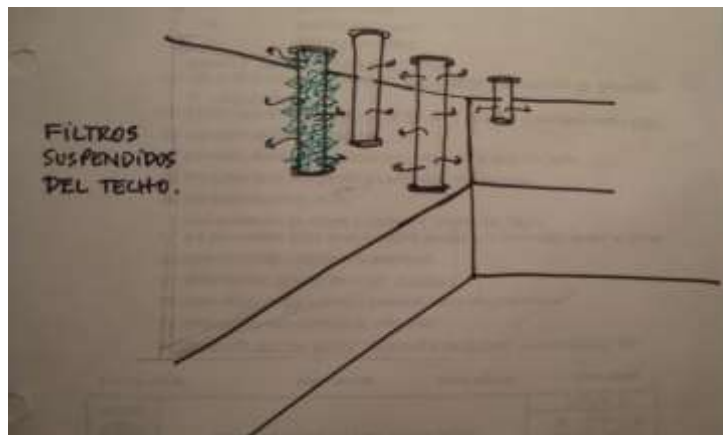


Figura 13: boceto de alternativa de conformar columnas vegetales ventiladas.

**1.5 Propuesta de caracterización del Sistema Vegetal Ventilado mediante el uso de tubos perforados. Figuras 14, 15 y 16.**

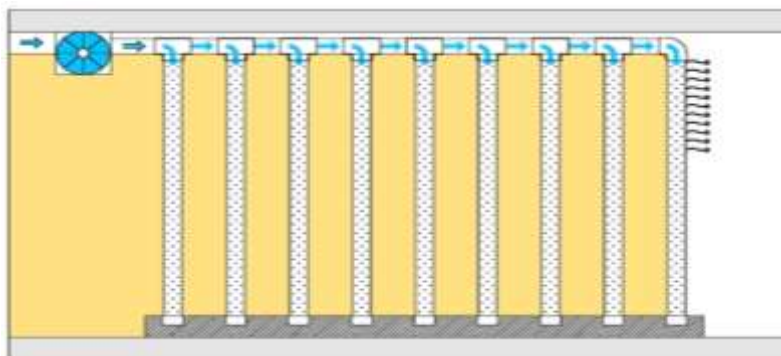


Figura 14: Paso 1 del armado del Sistema. Instalación de los tubos perforados, de las conexiones del sistema de ventilación forzada y sistema de drenaje.



Figura 15: Paso 2 del armado del Sistema. Instalación de sustrato, geotextil y sistema de riego.

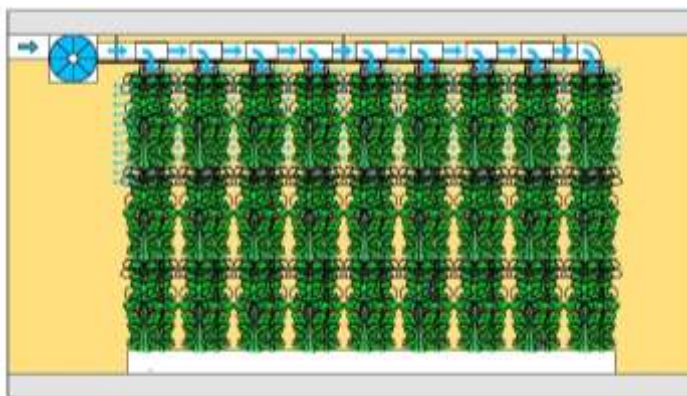


Figura 16: Paso 3 del armado del Sistema. Incorporación de las especies de plantas preplantadas.

## 2. CONCLUSIONES

Los muros verdes ventilados son sistemas que forman parte de las respuestas desarrolladas internacionalmente de incorporación de áreas verdes en la envolvente e interior de las edificaciones, con los que se han logrado objetivos de disminución de consumo energético y mejoramiento de la calidad del aire. El funcionamiento de estos sistemas consiste en forzar el paso de aire proveniente del exterior o interior de la edificación a través del sustrato húmedo y de las plantas, conformando un sistema de enfriamiento evaporativo en el que las funciones termorreguladoras de las plantas modifican propiedades de temperatura, humedad y calidad microbiológica del aire. Estos sistemas al instalarse en espacios interiores climatizados, constituyen un apoyo al funcionamiento de los equipos de climatización, ya que al mejorar las condiciones del aire del ambiente, reducen el salto térmico y los requerimientos de renovación de aire, optimizando el funcionamiento y consumo energético de los sistemas de climatización (elaireacondicionado, 2011).

Las investigaciones sobre sistemas evaporativos han reflejado un potencial significativo en el ámbito europeo, sin embargo aun no han sido evaluados en países cálidos como Venezuela (Hobaica et al, 2001:11). Es por ello que se pretende evaluar el comportamiento de estos sistemas vegetados mediante el diseño de un método experimental que constituya



un aporte al conocimiento del potencial de éstos sistemas para nuestro contexto, y generar una propuesta innovadora adaptada a nuestra tecnología.

### 3. AGRADECIMIENTOS

Para la presente investigación son muy valiosas las intervenciones de profesores universitarios que gracias a sus amplios y profundos conocimientos técnicos y vivenciales han contribuyen de manera notable con el mejoramiento de la propuesta y con la obtención de resultados en cada etapa de la investigación. Se extiende un sincero agradecimiento a los profesores Alfredo Cilento, Beatriz Hernández, Beverly Hernández, Luis Rosales, Mary Ruth Jiménez y Sigfrido Loges. Al tutor, Ernesto Lorenzo. A los asesores para las áreas de ingeniería mecánica y de calidad ambiental interior, profesores Johanne Bracamonte y Yuraima Córdova respectivamente, y a mis compañeros de Maestría, quienes me acompañan en esta enriquecedora etapa de mi formación profesional.

### 4. REFERENCIAS

Acosta, Domingo; Cilento Sarli, Alfredo (2005). Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo. *Tecnología y Construcción*. Vol. 21-I, pp.15-30. IDEC/FAU-UCV.

Hobaica, María Elena; Belarbi, Rafik; Rosales, Luis (2001). Los sistemas pasivos de refrescamiento de edificaciones en clima tropical húmedo. Posibilidades de aplicación en Venezuela. Programa de Cooperación PCU-ECOSNORD/FONACIT. *Tecnología y Construcción*. Vol.17-1, pp. 57-68.

ElAireAcondicionado.com (2015). *Acondicionamiento bioclimático de edificios mediante jardines verticales*. Extraído el 14 de Marzo de 2015 de <http://www.Elaireacondicionado.com/noticias/acondicionamiento-bioclimatico-de-edificios-mediante-jardines-verticales-06052011>

Lau, W. (2015). *Breathe In: CASE Puts Its Green Wall System to the Test*. Extraído el 24 de Octubre de 2015 de [http://www.architectmagazine.com/technology/breathe-in-case-puts-its-green-wall-system-to-the-test\\_o](http://www.architectmagazine.com/technology/breathe-in-case-puts-its-green-wall-system-to-the-test_o)

Plataformaarquitectura (2013). *Jardín Vertical Descontaminante Canevaflor ®/Hidrosym*. Extraído el 4 de Marzo de 2015 de <http://www.plataformaarquitectura.cl/catalog/cl/products/1972/jardin-vertical-descontaminante-canevaflor-hidrosym>

Terapia Urbana (2011). Jardín Vertical Activo en el edificio de la EUITA (U.S.). Extraído el 12 de Abril de 2015 de <http://www.terapiaurbana.es/sistemas-y-productos-jardin-vertical/jardin-vertical-activo/>

Urbanarbolismo (2013). *Jardines verticales Urbanarbolismo*. Extraído el 10 de Abril de 2015 de <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachadas-vegetales-urbanarbolismo>